

NOTAT



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Tilskud
J.nr. 2020 - 8677
Ref. KREMU
Den 30. april 2020

Notat om fosforstrategi og vidensbehov - fra arbejdsgruppe nedsat under Den Nationale Styregruppe for kollektive virkemidler.

Problemstilling

Udfordringer med frigivelse af fosfor fra vådområde- og lavbundsprojekter udgør en væsentlig barriere i arbejdet med udtag af lavbundsgrunde og mulighederne for at opnå målopfyldelse ved de kollektive virkemidler.

For at belyse problemstillingen, finde løsninger og identificere et eventuelt vidensbehov blev der nedsat en arbejdsgruppe under den Nationale Styregruppe for kollektive virkemidler. Arbejdsgruppen koordineres af MST og består desuden af medarbejdere fra NST og SEGES, samt forskere fra SDU og AU.

Baggrund

Arbejdsgruppen er nedsat på baggrund af møde d. 06.02.20 i den Nationale Styregruppe for kollektive virkemidler. Af referatet fra mødet fremgår følgende:

Analyse af fosforproblematikken

Departementet oplyste, at der er et nyt virkemiddelkatalog for fosfor på vej og heri vil indgå flere mulige virkemidler i forhold til at reducere udledning af fosfor. Nogle er kendte: høst af biomasse og fjernelse af topjord før etablering – andre er nye: paludikultur, dybdepløjning før etablering og tilsætning af sorbenter før etablering. Når virkemiddelkataloget er udarbejdet, har vi en ny værktøjskasse, som evt. kan afprøves og tages i brug i forbindelse med vådområde- og lavbundsprojekterne. SEGES bemærkede, at der mangler konkret viden, herunder om virkemidlerne virker. L&F pegede på tidsfaktoren – kender man effekten på recipienten ved kortvarig udledning af fosfor? Kan man planlægge eller designe sig ud af problemet? Tilskudsordningerne skal kunne rumme designløsninger. Departementet oplyste, at der er et forskningsprojekt i gang om recipientsårbarhed for fosfor, men at dette næppe vil give flere muligheder for fosforfrigivelse. Afværgeforanstaltninger bliver nødvendige.

Generelt var der i styregruppen enighed om, at der mangler viden om fosfor. Til næste møde udarbejdes et nyt oplæg med en videnssyntese om fosforproblematikken, så den manglende viden kan identificeres og en strategi kan formuleres for løsninger i forhold til vådområde- og lavbundsprojekter. KL foreslog, at der bliver afsat midler til forskning i fosforproblematikken (fra puljen til udtagning). P-regnearket blev også drøftet i forhold til, om det er retvisende for de reelle effekter, idet der findes eksempler på flere vådområder ved Odense Fjord, som ikke har ført til udledning af fosfor. L&F foreslog en vurdering af, hvad der kan gøres på kort sigt og på langt sigt, hvilket kan indgå i en fremadrettet strategi på området. I betragtning af problemets lange varighed (snart 10 år) og betydning for indsatsen foreslog KL, at der afsættes et 2-cifret millionbeløb fra den

nye pulje (200 mio. kr./år i 2020-2029) til udtagning af lavbundsjord – med henblik på at sikre finansiering til at fjerne P-jord fra særlige jorder og projekter.

Der var enighed om til næste møde at udarbejde en videnssynthese om fosforproblematikken – med henblik på en strategi for løsninger i forhold til vådområde- og lavbundsprojekter. Der etableres en lille arbejdsgruppe med deltagelse af MST og SEGES.

Arbejdsgruppen består af følgende:

MST: Kristine Elisabeth Mulbjerg (Tovholder)

NST: Jørgen Bidstrup

SEGES: Charlotte Kjærgaard

AU: Carl Christian Hoffmann og Dominik Zak

SDU: Henning S. Jensen

Løsning

Arbejdsgruppen har i perioden 14.03.20 – 11.05.20 afholdt en række arbejds møder, hvor problemstillingen omkring fosfor er blevet drøftet. Møderne er mundet ud i nedenstående anbefalinger til det videre arbejde.

Vurdering af risiko for fosfortab ved reetablering af vådområder

Der er flere usikkerhedselementer knyttet til estimering af risikoen for fosfor(P)-tab ved reetablering af vådområder på lavbundsarealer der har været i landbrugsmæssig anvendelse. Usikkerhederne ved en P-risikovurdering er især relateret til usikkerheder i vandets strømningsvej gennem lavbundsarealet, rumlige variationer i P-indhold og P-mætningsgrad, samt de biogeokemiske processer der påvirker P-frigivelse eller tilbageholdelse i redox-aktive miljøer. Da denne kompleksitet ikke kendes for de konkrete projekter og ofte ikke kan belyses ved simple forundersøgelser, er praksis for den nuværende P-risikovurdering, jf. den oprindelige aftale, baseret på en simplificering ved antagelse af ”worst-case” betingelser for P-frigivelse (Kronvang et al., 2013; Hoffmann et al., 2018).

Den nuværende worst-case model (M1) estimerer således risikoen for P-tab baseret på en antagelse om: (i) at jorden er vandmættet og anaerob (iltfri), (ii) at der foregår en aktiv (konvektiv) gennemstrømning af de fosforholdige jordlag og (iii) P-frigivelsen fra hver enkelt prøvefelt sker uafhængigt af P-frigivelsen i det forudgående felt. Ved antagelsen om ”worst-case” betingelser overestimeres risikoen for P-tab for projekter der afviger fra ovennævnte forhold. Dette har givet anledning til et ønske om at P-risikovurderingen afspejler variationen i de forhold der kan give anledning til P-tab med den nuværende ”worst-case” beregningen som et potentielt maksimum. Estimering af variationer i P-tabsrisiko vil i første omgang omfatte:

- Fase-I: At der i P-risikovurderingen tages højde for at der kan ske en potentiel tilbageholdelse af P i en aerob (iltet) grænseflade
- Fase-II: Beregning af P-frigivelsen på transekt-niveau som alternativ til beregning på enkelt prøvefelter (grids).

Opdateringen af det nuværende P-risikovurderingsværktøj vil foregå i to faser. Fase-I opdateringen vil kunne ske med den eksisterende forundersøgelingspraksis/måleprogram og beregningsgrundlag, hvor der indarbejdes en supplerende P-model (M2) der sammen med den nuværende model (M1) beskriver variationen i potentielt P-tab uden og med en aerob grænseflade. Fase-II opdateringen fordrer en revidering af såvel forundersøgelingspraksis samt beregningsmetoden, mens modellerne (M1 og M2) fastholdes. En nærmere beskrivelse af Fase-I og Fase-II opdateringerne fremgår i efterfølgende afsnit.

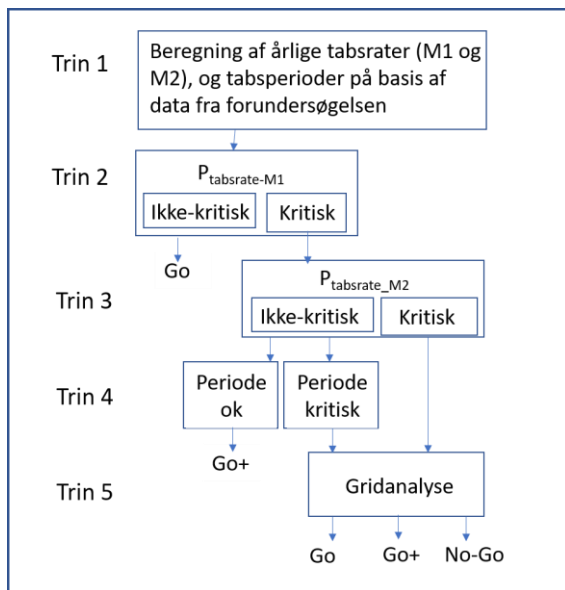
Anvendelse: Det bør bemærkes at den nuværende model M1 er udviklet til arealer med konvektiv vandgennemstrømning, og modellen er således ikke anvendelig til sø-reetableringsprojekter, hvis der er tale om diffusiv P-frigivelse fra søbund til vandfasen. Dette fremgår af den nuværende vejledning (Kronvang et al., 2013; Hoffmann et al., 2018). Tilsvarende betingelser for anvendelse gælder fortsat for såvel Fase-I og Fase-II opdateringen. P-risikovurdering ved re-etablering af søer, hvor transporten over sediment:vand grænsefladen sker diffusivt skal håndteres med en model for diffusiv transport.

Begrænsning: Det bør bemærkes at den nuværende forundersøgelingspraksis samt P-risikovurdering alene vurderer risikoen for P-tab fra jordlaget 0-0.3 m, mens potentialet for P-tab fra underjorden (0.3-1 m) ikke indgår i vurderingen. Tidligere undersøgelser viser at P-indholdet kan være højt i hele jordprofilen (Kjærsgaard, 2007) og feltundersøgelser har vist at P i underjorden udgør en kilde til tab til overfladevand, når vandet gennemstrømmer disse jordlag (fx Petersen et al., 2018). Særligt ved vurdering af tidsperioden for kritiske P-tab og i særdeleshed ved valg af virkemidler til at modvirke P-tab skal indholdet af P i underjorden tages i betragtning.

Fase-I: P-risikovurdering for den kommende indsatsperiode (2020/21)

For den kommende indsatsperiode anvendes den nuværende forundersøgelingspraksis samt det nuværende P-regneark, hvor "worst-case" beregningen (M1) suppleres med en ny model (M2) der estimerer fosfortabet under forhold hvor man har en aerob grænseflade. Risikovurderingen for P-tab følger herefter den trinvis tilgang (Figur 1):

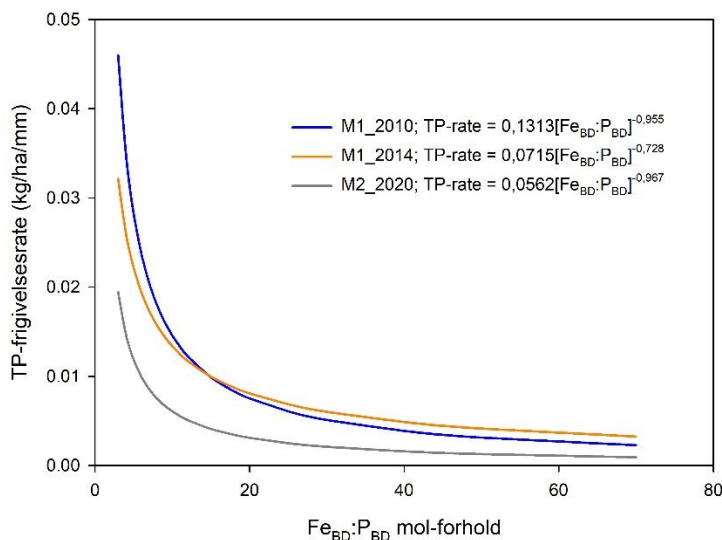
- Trin 1: På baggrund af data fra forundersøgelsen estimeres årlige P-tabsrater vha model M1 og M2 ($P_{\text{tab-M1}}$, $P_{\text{tab-M2}}$) samt perioder for P-tab ved de respektive tabsrater ($P_{\text{periode-M1}}$, $P_{\text{periode-M2}}$).
- Trin 2: P-tabsraten (kg P/år) beregnet fra M1 sammenholdes med recipientmålsætningen for den aktuelle recipient. Vurderes P_{tab} ikke-kritisk gives "go" til realisering af projektet. Vurderes P_{tab} kritisk for recipienten fortsættes til trin-3.
- Trin 3: P-tabsraten (kg P/år) beregnet fra M2 sammenholdes med recipientmålsætningen for den aktuelle recipient. Vurderes P_{tab} ikke-kritisk fortsættes til trin-4. Vurderes P_{tab} kritisk for recipienten fortsættes til trin-5.
- Trin 4: P-tabsperioden (antal år med estimeret P-tab) beregnet fra M2 sammenholdes med recipient-målsætningen for den aktuelle recipient. Vurderes P_{periode} ikke-kritisk kan der gives "go" til realisering af projektet med den nødvendige afværgeforanstaltning. Vurderes P_{periode} kritisk for recipienten fortsættes til trin-5.
- Trin 5: Omfatter projekter hvor der i den kvantitative P-risikovurdering er estimeret kritisk høje årlige P-tabsrater eller kritisk lange P-tabsperioder i forhold til den aktuelle recipient-målsætning. En eventuel realisering af projekterne vil bero på en detaljeret grid-analyse af projektarealet. På baggrund af Grid-analysen vil projekterne blive vurderet i forhold til: (i) "Go" med eventuelle forbehold, (ii) "Go+" hvor der gives grønt lys til projektet, hvis der etableres de nødvendige virkemidler for at modvirke P-tab (se virkemidler) eller (iii) "No go" hvis risikoen for P-tab til recipienten er kritisk og der ikke er mulighed for at etablere tilstrækkeligt effektive virkemidler.



Figur 1. Trinvis vurdering af risiko for fosfortab ved realisering af vådområdeprojekter. Risikovurderingen baseres på beregninger fra den nuværende worst-case model (M1) og en ny supplerende model med aerob grænseflade (M2), hvor tabsrater og tabsperioder sammenholdes med recipientmålsætninger.

Trin 1: Estimering af P-tabsrater

P-tabsrater beregnes som "min-max" estimater, hvor den nuværende worst-case model (M1-2013) antages at repræsentere potentielt maksimum og den supplerende model (M2-2020) med aerob grænseflade potentielt minimum. Model M1-2013 er udviklet på basis af 24 bredt dækkende organogene og minerogene lavbundsjordede ved forsøg uden aerob-grænseflade (Kjærgaard & Kristensen, 2010). Model M2-2020 er udviklet på basis af forsøg med 10 organogene lavbundsjordede med aerob grænseflade (Forsmann et al., 2020), og hvor der parallelt blev kørt forsøg på samme jorde med aerob-grænseflade (M1-2014) (Forsmann & Kjærgaard, 2014). Sammenholdes modellerne ses en mindre forskel mellem modellerne uden aerob-grænseflade (M1-2013 og M1-2014), der repræsenterer forskellige jordtyper, mens M2-2020 viser den lavere P-frigivelse ved tilstedeværelse af en aerob grænseflade (Figur 2).



Figur 2. Modeller til estimering af strømningsnormaliserede TP-frigivelsesrater som funktion af $\text{Fe}_{\text{BD}}:\text{P}_{\text{BD}}$ -forhold. Model M1-2013 uden aerob-grænseflade (Kjærgaard & Kristensen, 2010), Model M1-2014 uden aerob-grænseflade (Forsmann & Kjærgaard, 2014), og Model M2-2020 med aerob grænseflade (Forsmann et al., 2020).

Ved konvektiv transport af opløst ferro-jern (Fe^{2+}) og opløst P ($\text{PO}_4\text{-P}$) over den aerobe grænseflade begrænses P-tabet, når ferro-jern re-oxideres og genudfældes til ferri-jern (FeIII), hvorved P kan readsorberes. Modellen er oprindeligt udviklet og beskrevet i 2013, men er efter revision først genfremsendt til publicering i 2020 (Forsmann et al., 2020).

Det er væsentligt at være opmærksom på begrænsningerne ved anvendelse af model M2. Effekten af en aerob grænseflade på tilbageholdelsen af P er baseret på at der sker en samtidig transport af Fe og P til den aerobe grænseflade. Vådområder med sulfatreduktion og dannelse af jern-sulfider (FeS , FeS_2) vil begrænse transporten af Fe til den aerobe grænseflade, og dermed begrænses/hindres muligheden for at readsorbere P. Tabsrater estimeret med M2 kan således underestimere P-tabet under forhold med jern-sulfid dannelse i vådbundssedimentet. Samtidig kan en proportionalt større transport/tilførsel af P sammenholdt med Fe bevirke, at der over tid vil ske en P-mætning i toplaget. Dette vil medvirke til et lavere Fe:P-forhold og dermed en højere P-frigivelsesrate, og samtidig vil effekten af den aerobe grænseflade aftage for til sidst at ophøre. Eksempler på at der ikke er fundet nogle dokumenterede effekter af en aerob grænseflade på P-tilbageholdelsen findes i feltundersøgelser beskrevet i Petersen et al. (2018). Det er således væsentligt at være opmærksom på betingelserne for estimering af P-tabsrater ved hhv. model M1 og M2.

Trin 2 -4: Vurdering af P-tabsrater og periode sammenholdt med recipientmålsætning

Miljøstyrelsen har ansvaret for at sammenholde beregnede P-tabsrater og tabsperiode med de aktuelle recipientmålsætninger.

Trin 5: Gridanalyse

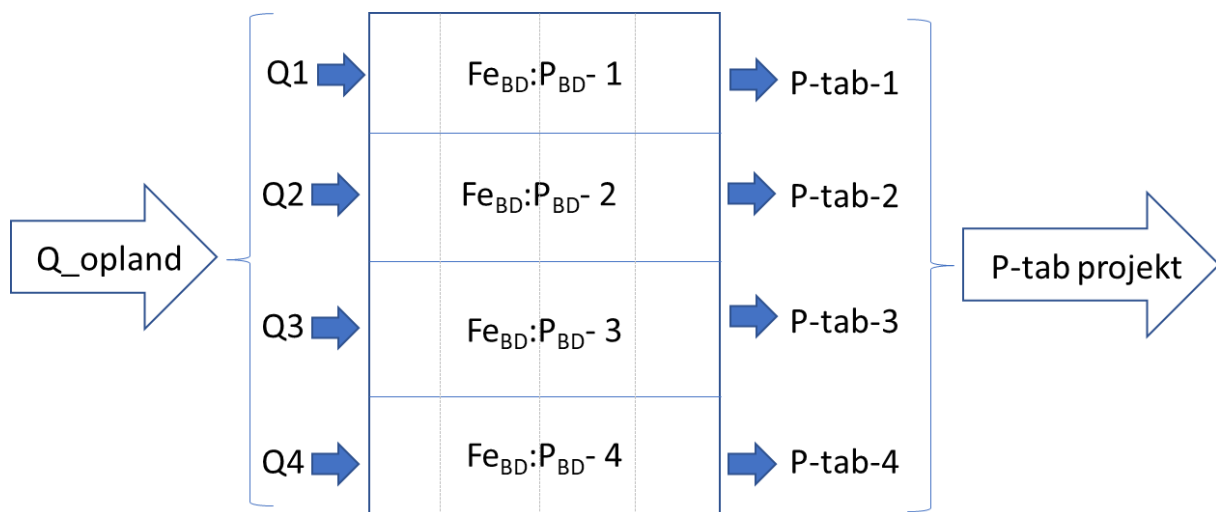
For projekter hvor P-risikovurderingen viser en samlet kritisk høj P-tabsrate eller en samlet kritisk lang tabsperiode i forhold til den aktuelle recipientmålsætning foretages afslutningsvist en detaljeret grid-analyse af projektarealet. Grid-analysen tager på enkelt-grid niveau udgangspunkt i de M1- og M2-beregnete P-tabsrater og tabsperioder i det opdaterede P-regneark. På basis af P-regnearket foretages følgende vurderinger og beslutning for projektet:

- I.** Projektarealet har prøvelfelter der adskiller sig fra det øvrige projektområde ved markant højere P-tabsrater og/eller kritisk lange P-tabsperioder
 - Det samlede P-tab og tabsperiode genberegnes hvor de "kritiske" prøvelfelter ikke medregnes. Giver denne genberegning anledning til acceptable P-tab og tabsperioder i forhold til recipientmålsætningen, vil projektet kunne realiseres såfremt disse prøvelfelter kan udelades af det samlede projektområder (Go), eller der kan iværksættes virkemidler der modvirker P-tab (Go+). Virkemidlerne kan her anvendes lokalt på de kritiske prøvelfelter fx. bortgravning af topjord eller lokal dybdepløjning, hvis forudsætningerne for anvendelse af disse i øvrigt er tilstede (se virkemidler mod P-tab ved reeablering af vådområder). Alternativt realiseres projektet ikke (No-Go).
- II.** Projektareal med generelt høje P-tabsrater og/eller kritisk lange tabsperioder for hele eller størstedelen af arealet
 - En realisering af projektet vil forudsætte virkemidler der modvirker P-tab til recipienten for hele projektområdet (Go+). Virkemidlerne skal her virke effektivt på hele arealet (se virkemidler mod P-tab ved reetablering af vådområder). Alternativt kan projektet ikke realiseres (No-Go).

Fase-II: Videreudvikling af P-risikovurdering (indsatsperioden fra 2021)

Den nuværende worst-case beregningspraksis (Hoffmann et al., 2018) tager ikke højde for en begrænsning i P-frigivelsesraten, når den potentielle P-frigivelse beregnes for individuelle prøvefelter og summeres til et samlet P-tab. Dette vil give anledning til overestimering af risikoen for P-tab, når betingelserne for P-frigivelse afviger fra "worst-case".

Der foreslås i Fase-II et alternativ til den nuværende beregningspraksis, hvor beregning i enkelte prøvefelter erstattes af beregning i strømningstransektorer (Fig. 3). Princippet bag beregning på basis af transektorer er, at den hydrauliske belastning fra oplandet fordeles på definerede strømningstransektorer bestemt af de lokale topografiske og hydro-geologiske forhold, og at det potentielle P-tab for det enkelte transekt vil være bestemt af transektets hydrauliske belastning og det geometrisk gennemsnitlige $Fe_{BD}:P_{BD}$ -forhold repræsentativ for transektet. Tabsperioden for de enkelte transektorer vil derudover være bestemt af de beregnede tabsrater (M_1 og M_2) og den totale jernbundne P-pulje.



Figur 3. Beregningsmetode til estimering af risiko for P-tab baseret på strømningstransektorer.

Denne metode til at estimere P-tab er anvendt af Petersen et al. (2018), hvor de model-beregne estimater for P-frigivelse var i overensstemmelse med de faktisk målte P-tab i felten.

Estimering af P-tab på basis af strømningstransektorer vil give mere korrekte estimater for potentielle P-tab. Anvendelse af denne metode fordrer ændring i forundersøgelingspraksis og i de hydrauliske beregningsmetoder i P-vejledningen, mens P-frigivelsesmodellerne M_1 og M_2 kan fastholdes.

P-virkemidler i vådområde- og lavbundsprojekter

Virkemidler der modvirker fosfortab ved reetablering af vådområder eller lavbundsprojekter kan tages i anvendelse når dele af projektarealet har kritisk høje P-tab eller hvis hele projektarealet har høje P-tab, men alligevel ønskes realiseret af andre årsager ("Go+", Figur 1).

Virkemidler der kan anvendes i forbindelse med vådområdeprojekter er opsummeret i tabel 1 med angivelse af tidshorisont, forudsætninger, krav til vedligehold samt vidensgrundlag i forhold til anvendelse (Tabel 1).

Tabel 1. Virkemidler der modvirker fosfortab ved vådområde- og lavbundsprojekter

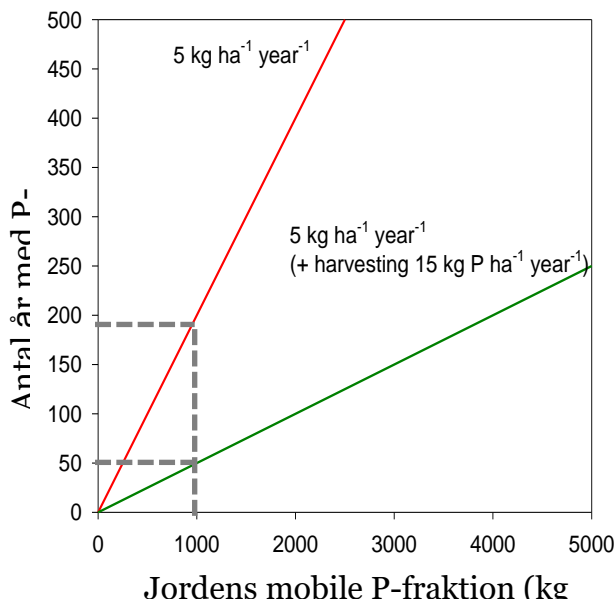
Virkemiddel	Tidshorisont	Forudsætning	Vedligehold	Anvendelse (vidensgrundlag)
Høst af biomasse	Mellem/langt	Høst med specialmaskiner	Ja** behov for årlig høst og bortkørsel af biomasse	+++ Sikker effekt
Dybdepløjning	Kort	P-fordeling i jordprofilen	Nej	+++ Kræver lokal forundersøgelse
Fjernelse af topjord	Kort	P-fordeling i jordprofilen	Nej	+++ Kræver lokal forundersøgelse
P-fældningsbassiner	Kort	Forhold egnet til etablering	Ja* der vil være behov for bortgravning af sediment med en given frekvens	+++ Dokumentation fra okkerfældningsbassiner
P-filter	Kort	Forhold egnet til etablering	Ja *** der vil være behov for jævnlig udskiftning af P-filter	Mangler dokumentation
Sorbent tilsætning	-	P-fordeling i jordprofilen og viden om strømningsveje	Ja *** Sorbent tilsætning	Mangler dokumentation

1. Høst af biomasse

Virkemidlet "Fjernelse af biomasse i randzoner og engarealer" er beskrevet af Carl Christian Hoffmann & Dominik Zak, AU, Bioscience i Andersen et al. (2020).

Virkemidlet

- **Funktion:** Ved høst af biomasse udtømmes jordens P pulje i hele jordprofilen på mellem- langt sigte. Virkemidlet vil ikke have en effekt på risikoen for udvaskning på kort sigt, da jordens P-pulje ofte vil være af en størrelsesorden, der kan forsyne både afgrøde vækst i vækstsæsonen samt udvaskning i vinterhalvåret (Figur 1). Høst af biomasse vil især være en fordel på arealer med en høj P-pulje, men med lav til moderat P-frigivelsesrate.
- **Effekt:** Ved høst af biomasse fjernes i gennemsnit 12-14 kg P/ha/år.
- **Forudsætninger:** Høst på både arealer kræver specielle maskiner. Høst af biomasse kan ikke erstattes af græsning. Græsning er ofte ønskeligt ift biodiversitet, men har begrænset P-effekt
- **Anvendelse:** Kan tages i anvendelse på det nuværende vidensgrundlag
- **Økonomi:** Økonomisk realiserbart



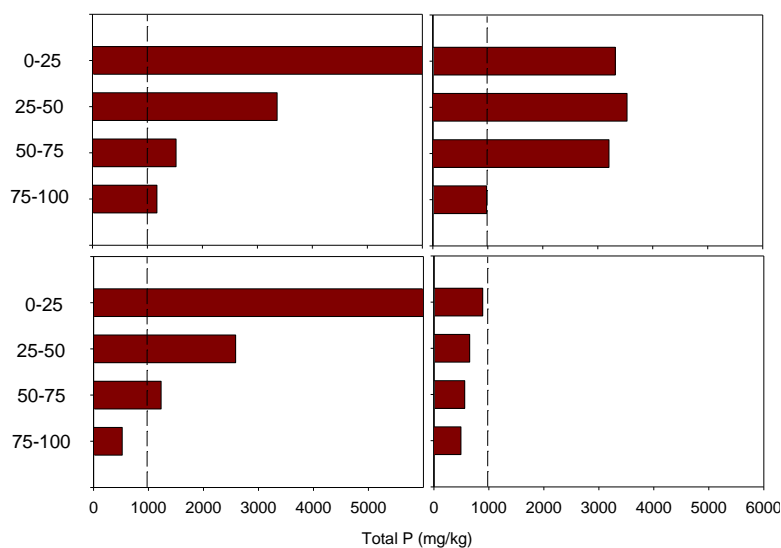
Figur 1. Eksempel på antal år med P frigivelse fra vådområde ved en konstant rate på 5 kg/ha/år med og uden høst af biomasse-P på 15 kg/ha/år.

2. Dybdepløjning for etablering af vådområde

Virkemidlet ”Dybdepløjning for etablering af vådområde” er beskrevet af Sara Egemose, Henning S. Jensen & Kasper Reitzel, SDU i Andersen et al. (2020).

Virkemidlet

- **Funktion:** Ved dybdepløjning vendes de P-berigede øvre jordlag ned i dybere jordlag i jordprofilen. Virkemidlets effekt forudsætter således at: (i) de P-berigede jordlag er begrænset til de øvre jordlag, og at underjordens P-indhold er ubetydeligt i udvaskningsmæssig sammenhæng, og (ii) at vandets strømning ikke forekommer i de P-holdige jordlag underjorden. Der findes en større dansk analyse af P-indhold i hele jordprofilen (0-0,75 m) – eksempler på fire forskellige profiler fremgår af figur 2.
- **Effekt:** Virkemiddelseffekten vil afhænge af forskellen i Fe:P-forholdet i strømningslaget før og efter dybdepløjning. Effekten vil således skulle opgøres på baggrund af en P-risikoberegning med de respektive Fe:P-forhold. Dette vil nemt kunne gøres i forbindelse med forundersøgelsen for at kvalificere valg af virkemiddel.
- **Forudsætning:** Vurdering af virkemidlets egnethed forudsætter at der i forbindelse med forundersøgelserne laves undersøgelser af P-indholdet i jordprofilen 0-0,75 m, samt en kvalificering af vandets strømningsveje
 - (i) For jordtyper med ler >12% og/eller gytje vil sedimentets hydrauliske ledningsevne være begrænsende, og dybdepløjning vil kunne anvendes, hvis underjordens P-indhold er begrænset
 - (ii) For jordtyper med tørv skal tørvens ledningsevne på den konkrete lokalitet sammen med trykgradienter vurderes for at kvalificere strømningsvejen
 - (iii) For sandede jordtyper (<12% ler) vurderes strømningsforhold på basis af lokale trykgradienter.
- **Anvendelse:** Kan tages i anvendelse på det nuværende vidensgrundlag, hvis forudsætningerne er tilstede.
- **Økonomi:** Økonomisk realiserbart



Figur 2. Eksempler på fordelingen af total-P i jordprofilen 0-1 m for fire forskellige lokaliteter. Den stiplede linje viser gennemsnitsindhold af total-P i landbrugsjord (Kjærgaard, 2007).

3. Fjernelse af topjord før etablering af vådområde

Virkemidlet ” Fjernelse af topjord før etablering af vådområde” er beskrevet af Dominik Zak og Carl Christian Hoffmann, AU, Bioscience i Andersen et al. (2020).

Virkemidlet

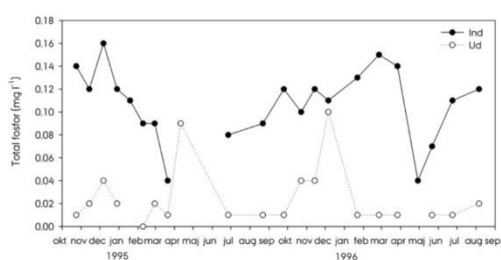
- **Funktion:** Ved fjernelse af topjord fjernes det P-berigede øvre jordlag. Virkemidlets effekt forudsætter, at underjordens P-indhold er ubetydeligt i udvaskningsmæssig sammenhæng.
- **Effekt:** Virkemiddelseffekten vil afhænge af forskellen i Fe:P-forholdet i strømningslaget før og efter fjernelse af topjorden. Effekten vil således skulle opgøres på baggrund af en P-risikoberegning med de respektive Fe:P-forhold. Dette vil nemt kunne gøres i forbindelse med forundersøgelsen for at kvalificere valg af virkemiddel.
- **Forudsætning:** Vurdering af virkemidlets egnethed forudsætter, at der i forbindelse med forundersøgelserne laves undersøgelser af P-indholdet i jordprofilen 0-0,75 m (Figur 2)
- **Anvendelse:** Kan tages i anvendelse på det nuværende vidensgrundlag, hvis forudsætningerne er tilstede.
- **Økonomi:** Kan være en dyr løsning afhængigt af de lokale forhold

4. Etablering af P-fældningsbassiner på afstrømning fra reetableret vådområde

Virkemidlet er ikke beskrevet som virkemiddel målrettet reetablering af vådområder, men virkemidlet er en modifikation af virkemidlet ”Okkerfældningsbassiner” og/eller ”Minivådområder” som er beskrevet i Andersen et al. (2020).

Virkemidlet

- **Funktion:** Ved P-frigivelse frigives fra reetablerede vådområder frigives samtidig opløst jern (Fe). Okkerfældningsbassiner med lavvandede grødefyldte zoner virker ved at ilte vandet, hvorved opløst ferro Fe(II) oxideres til partikulært ferri Fe(III) der sedimenterer. Ved denne proces kan Fe(III) samtidig binde opløst P.
- **Effekt:** Undersøgelser har vist at velfungerende okkerbassiner kan have en høj retention af P (op til 85%). Effekten vil være målbar på kort-sigt. Der forudsættes vedligehold i form af opgravning af det P-holdige okkersediment med samme frekvens som kendes fra okkerbassiner.
- **Forudsætning:** Forudsætningen for at anvende virkemidlet vil være at afstrømningen fra vådområdet kan samles i kanaler og ledes igennem iltningsbassinet. Dette vil i mange tilfælde kunne lade sig gøre ved at etablere grøfter parallelt med vandløb. Iltningsbassiner kan som okkerbassinerne også anlægges direkte i grøfter og vandindløb.
- **Anvendelse:** Kan tages i anvendelse på det nuværende vidensgrundlag fra okkerbassiner.
- **Økonomi:** Virkemidlet kan sidestilles med etablering af okkerbassiner og minivådområder og økonomien vil forventes at være i den størrelsesorden



Figur 4. Koncentration af total fosfor (TP) i ind- og udløb ved Hvidmose okkerfældningsanlæg i perioden oktober 1995 til august 1996. Data fra Ringkøbing Amt, 2001.



Figur 3. Effekt af P-retention i okkerfældningsbassinet Hvidmose (Data fra Ringkøbing Amt)

Vidensbehov

Lavbundsarealer og i særdeleshed reetablering af våde lavbundslande er blandt de største kilder til diffuse P-tab til vandmiljøet, men generelt er der mangel på viden i forhold til flere problematikker relateret til lavbunds- og vådområdeprojekter. Særlige vidensbehov omfatter:

- **Datagrundlag**

Flere overvågningsdata fra konkrete lavbunds- og vådområdeprojekter med henblik på at kvantificere N og i særdeleshed P-effekterne. Et forbedret data-grundlag vil give mulighed for en forbedret kildeopsplitning til gavn for den målrettede vandmiljøindsats, herunder en konkret evaluering af effekten af lavbunds- og vådområdeprojekter. Et forbedret datagrundlag vil samtidig give mulighed for validering og opdatering af de N og P modeller der i dag anvendes, og således forbedre den fremtidige lavbunds- og vådområdeindsats.

- **Ny national database**

Der foreslås endvidere opbygget en fælles national database, som samler viden fra de enkelte projekter. Der ligger meget viden gemt fra undersøgelser foretaget som led i den enkelte projekter. Denne viden om f.eks. jordbundsforhold, jern- og fosforindhold, geografisk placering, beregnet P-frigivelse mv. er under de nuværende forhold kun knyttet til enkeltsager og der findes således ikke en samlede oversigt. Det vil være nyttigt med en database, hvor alt viden fra fosforundersøgelserne er samlet, så denne viden kan inddrages i forbindelse med bla. den målrettede virkemiddelsindsats.

- **Pumpelag**

Grøftede lavbundsarealer hvor grundvandstanden holdes på et bestemt lavt niveau ved hjælp af en pumpe, der automatisk startes når vandstanden er steget nogle få centimeter, kaldes pumpede arealer. Når vandstanden kunstigt holdes nede vil der ske indsivning af grundvand fra de omkringliggende arealer. Indsivningen vil afhænge af trykforskellen mellem det omkringliggende areal og grundvandstanden på det pumpede areal. En markant forskel i topografi mellem det pumpede areal og de omgivende arealer kan medføre markant indsivning af vand fra de omkringliggende arealer. Tabet af næringsstoffer fra pumpede arealer kendes kun fra meget få undersøgelser. I øjeblikket er der en undersøgelse i gang ved Aborg Minde ved Assens. Nogle pumpelag har valgt at slukke for pumpen i vintermånederne for at spare udgiften til pumpning. Herved dækkes det pumpede areal med vand, og iltforholdene i jorden på det pumpede areal ændrer sig fra at være iltede til at være iltfattige (også kaldet reducerende forhold). I perioden med reducerende forhold vil jernbundet fosfor kunne frigives til vandfasen for derefter at blive pumpet ud når pumpen startes i det tidlige forår. Dette tab kendes ikke for nærværende, men der er igangsat en enkelt undersøgelse der prøver at afdække dette.

- **Saltpåvirkning**

Beskrivelse af vidensbehov vedrørende fosforfrigivelse fra tidligere landbrugsjord i lavbundsprojekter og vådområdeprojekter, hvor jorden bliver påvirket af saltvand.

Baggrund: (lidt omfattende skriv sammenholdt med de øvrige afsnit)

I dansk landbrugsjord er meget fosfor (P) bundet til iltet jern (Fe). Ofte 30-50% af total P i de øverste 30 cm af jorden. Denne pulje er redoxfølsom og kan potentielt frigives ved ilt- og nitratfrie forhold. Vi kvantificerer den ofte med BD-ekstraktion (bicarbonat-dithionit) fordi denne metode er rimeligt specifik for Fe-bundet P /1/. Det er på den baggrund at forundersøgelser af potentielt P-tab fra lavbundslande gør brug af BD-ekstraktionen til både at kvantificere iltet Fe og Fe-bundet P. Endvidere har det i forskellige sammenhænge (søsedimenter, lavbundslande) vist sig at forholdet mellem Fe og P i BD-ekstraktet kan bruges til at forudsige hastigheden af P-tab fra sedimentet hhv. jorden. Det er dog evidenter, at Fe-bundet P kan blive varigt tilbageholdt både i iltfri ferskvandssedimenter og i iltfri

lavbundjorde. Dels bliver mere krystallinske former af iltet jern ikke reduceret i disse miljøer og dels kan der dannes vivianit (P bundet til reduceret Fe), som er stabilt under iltfri forhold.

I marine sedimenter begravnes der ikke jernbundet P med mindre iltet jern er til stede i overskud i forhold til kulstof, hvilket er tilfældet med mindre man er langt ude i havet /1/. Dette skyldes at sulfatreduktion er den dominerende respirationsproces i iltfri havbund fordi sulfatkoncentrationen i havvand er 400 gange højere end i ferskvand, hvor nitratrespiration og metandannelse er de dominerende iltfri nedbrydningsprocesser. Slutproduktet af sulfatrespiration er svovlbrinte (H_2S), som danner sulfid (HS^-) ved opløsning i havvand. Sulfiden reagerer med iltet Fe og reducerer Fe^{3+} , der kan binde P til Fe^{2+} , som normalt ikke kan binde P. Yderligere vil sulfid danne ferrosulfid (FeS), som er stabilt ved iltfri forhold. Derved immobiliseres Fe i forhold til at kunne binde P senere. Ved langvarig saltvandspåvirkning kan al Fe-bundet P bliver frigivet hvis der er kulstof nok i sedimentet til at forsyne de sulfatreducerende bakterier.

Der eksisterer en undersøgelse af hvordan en overgang fra ferskvand til saltvand påvirkede fosforbalancen i Hjarbæk Fjord /2/ og en undersøgelse af hvordan fosfor blev frigivet fra tidligere landbrugsjord, som blev oversvømmet med saltvand ved genskabelse af Gyldensteenlagunen /3/. Desuden findes der en del international litteratur om P-omsætning i ferske og marine sedimenter. Hjarbæk Fjord (2400 ha) havde været en ferskvandssø i 25 år da man i 1991 besluttede at genskabe en fjord ved at åbne slusen så saltvand kunne strømme ind fra Lovns Bredning. Fjorden fik permanent salt-springlag og iltfrit bundvand i hele sommerhalvåret. Der kom en voldsom sulfatreduktion i sedimentet og gradvist blev al Fe-bundet P frigivet. I løbet af de første to år tabte Hjarbæk Fjord over 60 tons P til Limfjorden. Dette blev målt både som ændringer i sedimentets P-pulje og ved massebalanceberegninger. Den frigivne P kom udelukkende fra den Fe-bundne pulje i sedimentet. Fosfortabet svarede til 12-14 kg P ha^{-1} $år^{-1}$ og det fortsatte i øvrigt indtil 1998, hvor puljen var udtømt. Jeg mener, at det samlede tab blev 110 tons P.

Gyldensteen Enge blev sat under vand i 2013, hvor diget ud mod Kattégat blev fjernet på et stykke. Der blev skabt en saltvandslagune på 214 ha på den tidligere landbrugsjord. Jorden indeholdt ca. 1400 kg P ha^{-1} i de øverste 20 cm. I løbet af 2½ år blev 8% af denne pulje frigivet (beregnet ved undersøgelse af jorden i 2016). Dette svarer til et samlet P tab på ca. 24 tons. Massebalanceberegninger (målt og modelleret stoftransport) for næsten samme periode viste et P-tab på 26 tons. De to forskellige beregninger svarer til et årligt P-tab på 41 hhv. 44 kg P ha^{-1} $år^{-1}$.

For både Hjarbæk Fjord og Gyldensteenlagunen gælder at de er permanent påvirkede af saltvand med højt sulfatindhold. I mange kystnære lavbundprojekter kan der imidlertid forventes både spatial og sæsonmæssig variation i saltholdigheden og i naturlige jorde/sedimenter øges stabiliteten af jernbundet P med aftagende saltpåvirkning /4/. Dermed vil kun en del af den jernbundne P blive frigivet ved moderat saltvandspåvirkning.

Der er behov for at kunne sige mere præcist hvor stor en del af den jernbundne P-pulje der frigives og hvor hurtigt den frigives ved forskellige grader af saltvandspåvirkning.

Forslag til undersøgelser:

Det anbefales at øget viden om P-frigivelse fra saltvandspåvirkede jorde indsamles i forbindelse med nuværende eller fremtidige projekter hvor tidligere landbrugsjord sættes under vand med varierende saltholdighed. Der vil ofte være en gradient i saltpåvirkning af jorden indenfor det enkelte projektområde. Ved ansøgning af projektet vil der ofte være en hydrodynamisk model, som kan bruges til at estimere den årgennemsnitlige saltholdighed i de enkelte vanddækkede dele af projektområdet. Den letteste måde at indsamle viden om jordens P-tab vil være ved at følge indholdet af jernbundet-P i jorden på et mindre antal stationer i projektområdet. Disse udvælges så der opnås en variation i saltpåvirkning. Puljen er allerede målt i forundersøgelsen og denne måling kan gentages efter f.eks. 4 og 10 år. Kvaliteten af datamaterialet kan styrkes ved at placere salinitetsloggere på stationerne i det første år (eller mere) efter projektstart, så man får et mere sikkert billede af saltpåvirkningen.

Referencer:

1. Jensen, HS & B Thamdrup 1993: Iron-bound phosphorus in marine sediments as measured by bicarbonate-dithionite extraction. *Hydrobiologia* 253: 47-59.
2. Jensen, HS & M Holmer 1994. Saltvand, N og P i Hjarbæk Fjord. *Vand & Jord* 6: 243-246.
3. Kristensen m.fl. 2018. N og P udveksling ved Gyldensteen Kystlagune. *Vand & Jord* 3: 119-122.
4. Paludan, C & JT Morris 1999: Distribution and speciation of Phosphorus along a salinity gradient in intertidal marsh sediment. *Biogeochemistry* 45: 197-221.

Referencer:

Hans Estrup Andersen, Gitte Rubæk, Berit Hasler, Louise Martinsen og Brian H. Jacobsen (redaktører). 2020. Virkemidler til reduktion af fosforbelastningen af vandmiljøet.

Forsmann, D.M. & Kjærgaard, C. 2014. Phosphorus release from anaerobic peat soils during convective discharge – Effect of soil Fe:P molar ratio and preferential flow. *Geoderma* 223-225:21-32.

Forsmann, D.M., Hoffmann, C.C., & Kjaergaard, C. 2020. Phosphorus release across an aerobic soil-water interface during convective discharge in anaerobic peat soils along a geochemical gradient. Re-submitted after revision to *Geoderma*

Hoffmann, C.C., Kronvang, B., Andersen, H.E., Kjeldgaard, A., & Kjærgaard, C. 2018. Kvantificering af fosfortab fra N og P vådområder. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 48 s. Aarhus Universitet, 15. oktober 2018. <http://>

Kjærgaard, C. 2007. Organogene lavbundsjord – Fosforstatus, binding og tabsrisiko. Intern afrapportering af delprojekt under VMPIII. Udpegning af risikoområder for fosfortab til overfladevand. Institut for Jordbrugsproduktion og Miljø, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet, Februar 2007.

Kjærgaard, C. & Kristensen, K. 2010. Predicting phosphorus release following wetland restoration. International Phosphorus Workshop 6 (IPW6), September 2010, Sevilla

Kronvang, B., Søndergaard, M., Hoffmann, C.C., Thodsen, H., Ovesen, N.B., Stjernholm, M., Nielsen, C.B., Kjærgaard, C., Schönfeldt, B. & Levesen, B. 2011: Etablering af P-ådale. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 67 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 840. <http://www.dmu.dk/Pub/FR840.pdf>

Petersen, R.J., Prinds, C., Iversen, B. & Kjærgaard, C. 2018. Fosfortab fra våde lavbundsjord. *Vand & Jord*, nr. 3:131-134