

# Minivådområder reducerer fosfortab fra drænede marker

Resultater fra danske minivådområder viser, at minivådområder kan reducere fosfortab fra drænede arealer. Det kan umiddelbart synes at være et paradoks, at minivådområder kan reducere fosfortab, når det er velkendt at jernbundet-P ikke er stabilt i vådområder. Et nyligt afsluttet PhD-projektet giver svar på hvordan, hvorfor og hvor godt fosfor tilbageholdes i minivådområder.

LIPE R.D. MENDES, BO V. IVERSEN, &  
CHARLOTTE KJÆRGAARD

Konstruerede minivådområder med overfladestrømning er det første danske drænvirkemiddel til målrettet reduktion af næringsstofudledning i drænvand fra landbrugsarealer /1/. I regi af Fødevarer og Landbrugs-pakken skal etablering af mere end 1000 minivådområder i 2021 bidrage til en samlet reduktion på 900 ton N/år. Minivådområder etableres i regi af den kollektive ordning med det formål at reducere kvælstofudledningen, men minivådområder virker også ved at reducere udledningen af fosfor (P) i drænvand fra landbrugsarealer. I perioden 2013-2017 havde danske minivådområder en gennemsnitlig P-retention på 43 %, med variationer mellem minivådområder og år /1/.

Fosforretention i minivådområder kan umiddelbart synes at være et paradoks. Jern i form af Fe(III)-oxider er i de fleste danske jorde den primære P sorbent, og det er velkendt at P bundet til Fe(III) ikke er stabilt i

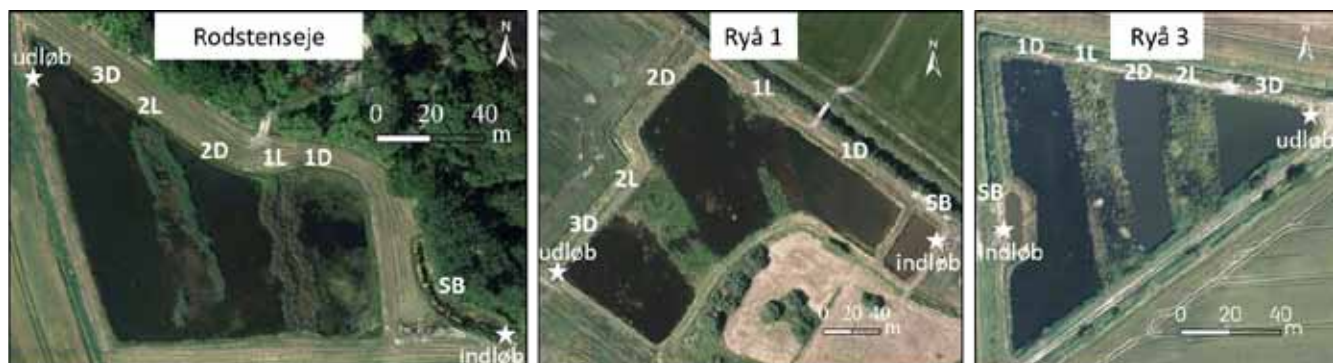
vådområder. Når Fe(III) under iltfrie (anaerobe) forhold opløses frigives samtidig jernbundet-P /2,3/, og ved vandstrømning gennem sådanne jordlag kan opløst P udvaskes til vandmiljøet /4/. Det var således nærliggende at undersøge minivådområdets effekt på P, hvordan P tilbageholdes og hvordan stabiliteten ændres over tid.

I regi af forskningsrådsprojektet Supreme-Tech ([www.supremetech.dk](http://www.supremetech.dk)) samt GUDP-projektet iDRÆN ([www.idraen.dk](http://www.idraen.dk)) blev der derfor i gangsat et PhD projekt, der med udgangspunkt i tre danske minivådområder skulle bidrage til en bedre forståelse af minivådområdets P-effekt /5,6,7/.

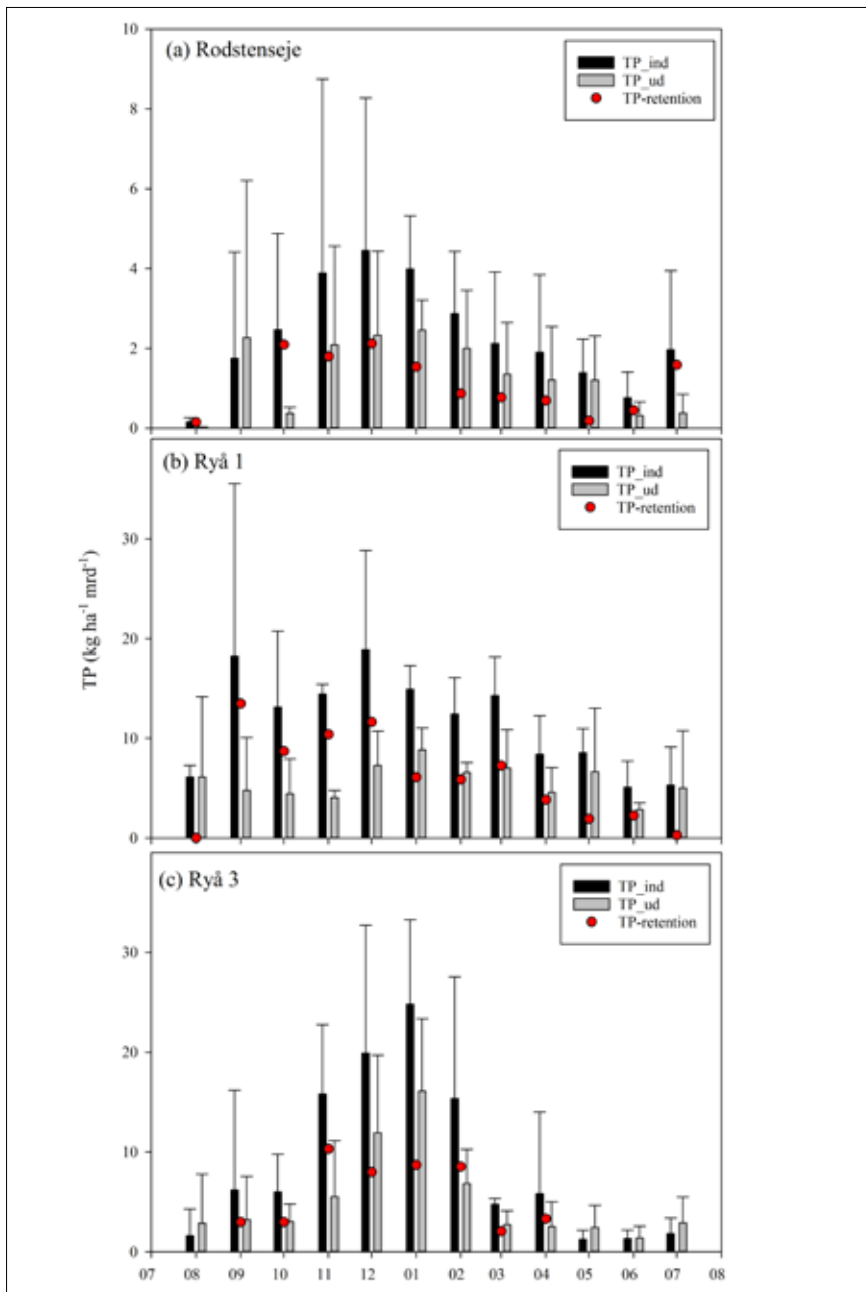
## Hvordan tilbageholdes fosfor i minivådområder?

Minivådområder tilføres P med drænvand i form af både opløst P og partikelbundet P (PP). Partikelbundet P kan tilbageholdes ved sedimentation, mens opløst P tilbageholdes ved sorptions- eller fældningsprocesser samt ved planteoptag. Sedimentation, sorption og fældning kan variere over året afhængigt af årstidsvariationer i afstrømning samt de

hydrokemiske forhold, mens planteoptag forekommer i planternes vækstperiode, hvor belastningen af P i drænvand generelt er lav /7/. Fosforoptag i planter og biomasse opfattes generelt som temporære puljer, da disse frigives igen ved nedbrydning af biomassen. Fosfor bundet i sedimentet ved sedimentation, sorption eller fældning anses således som de primære mekanismer, der tilbageholder P i minivådområder. Retention af fosfor i sedimentet er dog begrænset af P-adsorptionskapaciteten og graden af P-mætning. Grad af P-mætning kontrollerer sedimentets ligevægtskoncentration af opløst P og vil være styrende for hvorvidt opløst P, der tilføres minivådområdet med drænvand kan bindes i sedimentet, eller omvendt om sedimentet vil frigive P til vandfasen. Samtidig kan jernbundet-P frigives til vandfasen, hvis Fe(III)-oxider opløses under iltfrie forhold /2,3/. Retention af fosfor i minivådområder er således balancen mellem P-retention af det tilførte P og den interne P-frigivelse der kan forekomme fra det aflejrede sediment. Denne balance kan ændres over tid.



Figur 1. Oversigtsfoto af de tre minivådområder Rodstenseje, Ryå 1 og Ryå 3, der viser sedimentationsbassiner (SB), 1 m dybe (1D, 2D og 3D) og 0.3 m lavvandede (1L og 2L) zoner. Gengivet fra /5/.



Figur 2. Total P tilførsel (ind) og export (ud) for Rodstenseje (a), Ryå1 (b) og Ryå3 (c). Røde markeringer angiver TP-retentionen på månedsbasis.

## Årstidsvariationer

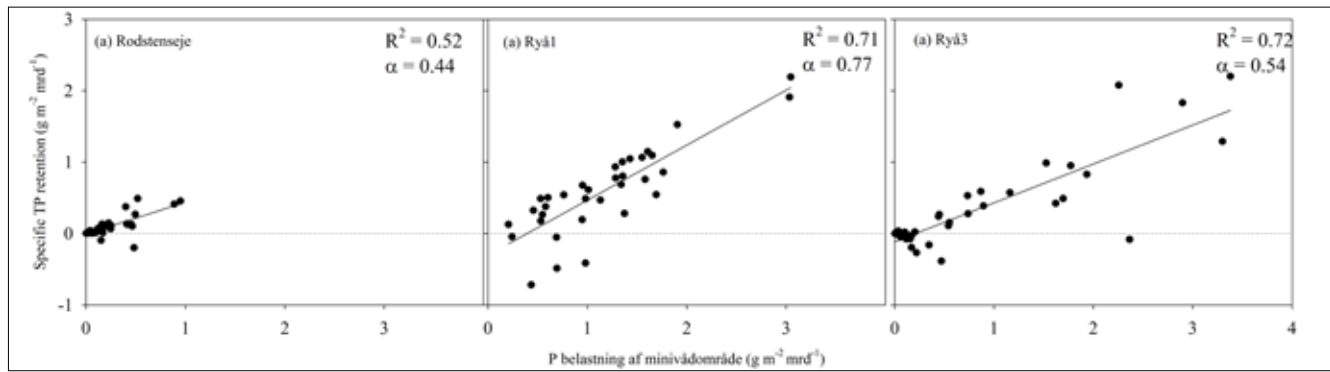
PhD-projektet omfattede detaljerede målinger af tre danske minivådområder i perioden 2013 til 2016 (Fig. 1). De tre minivådområder adskiller sig i geologi og strømningsskarakteristika /5/. Minivådområdet Rodstenseje er beliggende på moræneler i oplandet til Norsminde Fjord, mens minivådområderne Ryå1 og Ryå3 begge er beliggende i oplandet til Limfjorden på hhv. Litorina-sand og Litorina-ler (Tabel 1). Minivådområderne er opbygget efter samme grundlæggende princip og udgør 1 % af drænoptionsarealet /1/. Minivådområderne på Litorinafladen er etableret på fladt terræn, og drænvandet pumpes derfor til minivådområderne. Ryå1 adskiller sig fra de to øvrige ved at være karakteriseret af helårlig dræntilstrømning til minivådområdet med relativt høj basisvandføring i sommerhalvåret /5/. Den årlige hydrologiske belastning samt P-belastningen af minivådområderne er markant mindre på morænelokaliteten (gennemsnitlig 28 kg P/ha minivådområde) sammenholdt med de to Litorina lokaliteter (gennemsnitlig 105-135 kg P/ha minivådområde) /5/.

For alle lokaliteter var P-tilførslen til minivådområdet såvel som P-retentionen størst i efterårs- og vintermånederne (Fig. 2). Fosforretention var lineært korreleret med P-tilførslen, men såvel respons ( $\alpha$  fra 0,44-0,77) som forklaringsgrad ( $R^2$  fra 0,52-0,72) varierer mellem minivådområder (Fig. 3) /5/. I sommermånederne (juli, august, september), hvor P-tilførslen med drænvandet generelt var lav, sås for enkelte måneder et mindre netto P-tab fra minivådområdet (Fig. 2). Gennemsnitligt over de tre forsøgsår havde minivådområderne en årlig retention af P på 12-67 kg P/ha minivådområde svarende til 41-51 % af tilført P /5/.

## P akkumulering i aflejret sediment

Den beregnede P-retention, på basis af ind- og udløbsmålinger, var i overensstem-





Figur 3. Specifik TP retention som funktion af P belastning for Rodstenseje (a), Ryå1 (b) og Ryå3 (c). Hældningen ( $\alpha$ ) indikerer TP retentionens respons på P-belastningen.

melse med målinger af P i det sediment, der i løbet af minivådområdernes livstid var blevet aflejret /6/. Den årlige aflejringen af sediment varierede betydeligt fra 10 til 130 ton/ha minivådområde (Tabel 2). Sedimentet var P-beriget i forhold til den underliggende jord, og TP-indholdet var direkte korreleret med sedimentaflejringen ( $R^2 = 0,67$ ). Forklaringen på den betydelige TP-aflejring i sedimentet skulle findes i den meget stærke korrelation mellem sedimentets indhold af TP og jern ( $R^2 = 0,94$ ) (Tabel 2) /6/. Især de to Litorina-lokaliteter havde relativt høje tilførsler af jern med drænvandet, og samtidig viste målingerne en stor tilbageholdelse af jern i minivådområdet (Tabel 2) /5/. Den samtidige tilførsel af drænvand med relativt høje Fe-koncentrationer sammen med opløst og partikelbundet P giver mulighed for, at opløst P kan bindes til oxideret Fe og aflejres i sedimentet. Det betyder i praksis, at minivådområdet kontinueret får tilført ny P-bindingskapacitet, og dermed har et kontinuerligt potentiale for at binde P der tilføres med drænvandet. Fosforbindingskapaciteten var således væsentligt højere i det aflejrede sediment end i den underliggende jord /6/.

Tabel 1. Karakteristika for de tre undersøgte minivådområder \*

	Geologi	Etableringsår	Volumen	Areal	Vådområde: drænoiland
			m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	%
Rodstenseje	Moræne ler	2010	8.200	8.950	1,1
Ryå1	Litorina sand	2013	13.870	21.190	0,9
Ryå3	Litorina ler	2013	6.720	8.480	1,1

\*Gengivet fra /5/.

Tabel 2. Aflejring af sediment, total P (TP), jern ( $Fe_{tot}$ ) og det gennemsnitlige  $Fe_{BD}:P_{BD}$ -molforhold i det aflejrede sediment\*.

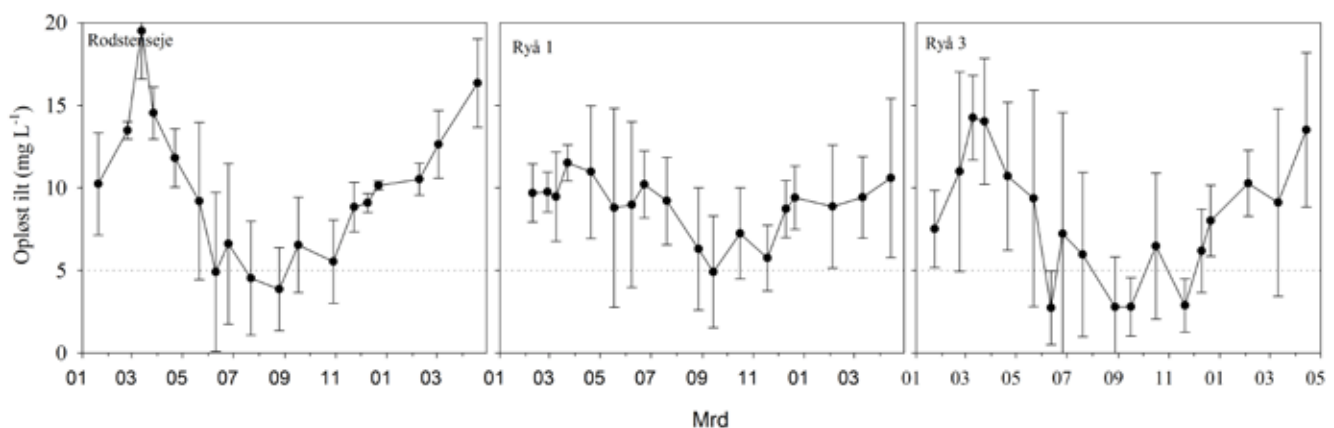
	Sediment	Total P	$Fe_{tot}$	$Fe_{BD}:P_{BD}$
	ton/ha/år	kg/ha/år	kg/ha/år	molforhold
Rodstenseje	10	9	110	22-46
Ryå1	34	41	490	21-36
Ryå3	130	87	630	23-49**

\*\*Gengivet fra /6/

\*\*Omfatter ikke sedimentationsbassinet, hvor  $Fe_{BD}:P_{BD}$  molforholdet var markant lavere ( $Fe_{BD}:P_{BD} = 8$ )

En væsentlig karakteristika ved det aflejrede sediment i alle bassiner i de tre minivådområder var endvidere det generelt meget høje  $Fe_{BD}:P_{BD}$  molforhold (Tabel 2)/6/. Tidligere studier af vådområdesediment har demonstreret, at P-frigivelsesrater kan estimeres fra sedimentets  $Fe_{BD}:P_{BD}$ -molforhold, hvor

resultater viser en markant stigning i P-frigivelsesraten ved  $Fe_{BD}:P_{BD} < 10$  /3/. Bortset fra sedimentationsbassinet i Ryå3 ( $Fe_{BD}:P_{BD} = 8$ ), indikerede det høje  $Fe_{BD}:P_{BD}$  molforhold således lave P-frigivelsesrater fra det aflejrede sediment i de tre minivådområder (Tabel 2).



Figur 4. Indhold af opløst ilt ved sedimentgrænsefladen som funktion af årstid for Rodstenseje (a), Ryå1 (b) og Ryå3 (c). Stiplede linje angiver en koncentration af opløst ilt på 5 mg/L..



### Kritiske parametre for P-frigivelse

Betingelserne for at tilbageholde jernbundet P i det aflejrede sediment synes generelt ikke optimale, idet redox-målinger i de øverste 5 cm dokumenterede, at der var tale om en stærkt reduceret (iltfri) zone hele året. Når jern-bundet P alligevel blev tilbageholdt i det aflejrede sediment, skyldes det formentligt en kombination af sedimentets høje  $Fe_{BD} : P_{BD}$ -molforhold samt iltforholdene ved sediment-grænsefladen (Fig. 4). Iltkoncentrationen (DO) ved sediment-grænsefladen var generelt over 5 mg/L, men i perioder i sommerhalvåret faldt DO til under 5 mg/L og i nogle tilfælde under 1 mg/L /6/. Tidligere studier har vist en klar sammenhæng mellem den diffusive Fe- og P-frigivelse over sedimentgrænsefladen ved DO under 1 mg/L /8/. Fosfortabet, der blev observeret i sommerperioden, kan således relateres til ændringer i iltindholdet ved sedimentgrænsefladen /6/. Samtidig er det væsentligt at påpege, at P-tabet fra det aflejrede sediment i minivådområder alene sker ved diffusion af fosfat, da drænvandet strømmer henover sedimentfladen og ikke igennem sedimentet som i mange vådområder. Fosforfrigivelse ved diffusion er en væsentligt langsommere proces end P-frigivelse ved konvektiv gennemstrømning.

### Minivådområder har perspektiver som P virkemiddel

Undersøgelser af danske minivådområder demonstrerer, at minivådområder etableret med henblik på at reducere udledningen af N i drænvand også bør medregnes som et P-virkemiddel målrettet reduktion af P-tab i drænen /1,5,6/. Den gennemsnitlige årlige klimanormaliserede P-retentionseffektivitet varierer typisk fra 40-50 %, men kan indenfor

enkelte år variere fra 20-80 %. Den specifikke P-retention er direkte korreleret med P-tilførslen til minivådområdet, mens variationer i P-retentionseffektiviteten er kontrolleret af den dominerende P-form samt drænvandets sammensætning herunder den kontinuerlige tilførsel af ny P-sorptionskapacitet i form af fx jern. Minivådområder, der modtager en høj andel af partikulært-bundet P og/eller har høje Fe-tilførsler med drænvandet, har således et stort potentiale for en høj P-retentionseffektivitet. Yderligere har minivådområder med et højt Fe:P molforhold et stort potentiale for at fastholde stabiliteten af P i det aflejrede sediment. Stabiliteten af jernbundet-P kan endvidere kontrolleres ved at sikre et højt iltindhold i vandet i minivådområdet. I forbindelse med minivådområdets vedligeholdelse skal der med en regelmæssig frekvens bortgraves sediment fra sedimentationsbassinet. PhD projektet viser, at P deponeres i stort set hele minivådområdet, omend markant højere P-depositions-rater blev fundet i sedimentationsbassinet /6/. Selv om sedimentationsbassinet udgør mindre end 5 % af minivådområdearealet deponeres ca. 22% af den total tilførte TP i denne zone /6/. Det giver således godt muligheder for at forlænge P-effekten yderligere ved at bortgrave sediment med en regelmæssig frekvens. Opgravet sediment indeholdende P skal blot udbringes på markarealet.

### Referencer

- /1/ Kjærsgaard, C., Hoffmann, C.C., Iversen, B. V. 2017. Minivådområder – et nyt kollektivt virkemiddel. I: Filtre i Landskabet. Vand & Jord, nr. 3:84-88.
- /2/ Kjærsgaard, C., Heiberg, L.; Jensen, H.S., Hansen, H.C.B. 2012. Phosphorus mobilization in rewetted peat and sand at variable flow rate and redox regimes.

Geoderma 173-174:311-321.

- /3/ Forsmann, D.M. & Kjærsgaard, C. 2014. Phosphorus release from anaerobic peat soils during convective discharge – effect of soil molar Fe:P ratio and preferential flow. Geoderma 223-225:21-32.
- /4/ Petersen, R.J., Prinds, C., Iversen, B.V., Kjærsgaard, C. 2018. Fosfortab fra våde lavbunds-jorde. Vand & Jord, nr. 3, 2018.
- /5/ Mendes, L.R.D., Tonderski, K., Iversen, B.V. & Kjærsgaard, C. 2018. Phosphorus retention in surface-flow constructed wetlands targeting agricultural drainage water. Ecological Engineering, 120:94-103
- /6/ Mendes, L.R.D., Tonderski, K. & Kjærsgaard, C. 2018. Phosphorus accumulation and stability in sediments of surface-flow constructed wetlands. Geoderma 331:109-120.
- /7/ Mendes, L.R.D. 2018. Surface-flow constructed wetlands retaining phosphorus from agricultural drainage water. Hydrological and biogeochemical factors controlling the retention of phosphorus and its stability in soils/sediments. PhD Thesis 144 pages, Science and Technology, Dept. of Agroecology, Aarhus University
- /8/ Zak, D., Wagner, C., Payer, B., Augustin, J., Gelbrecht, J. 2010. Phosphorus mobilization in rewetted fens: the effect of altered peat properties and implications for their restoration. Ecol. App. 20:1336-1349.

LIPE RENATO DANTAS MENDES har en PhD i "Fosforretention i minivådområder med overfladestømning målrettet drænvand" ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, og har endvidere arbejdet med konstruerede vådområder ved Wetland Research Centre, Halmstad University, Sverige. E-mail: liperenato@hotmail.com. BO VANGSØ IVERSEN er PhD og lektor ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet. E-mail: bo.v.iversen@agro.au.dk. CHARLOTTE KJÆRSGAARD er PhD og chefforsker ved SEGES, og var frem til juni 2017 ansat som seniorforsker ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet. E-mail: chkj@seges.dk