

Fosfortab fra våde lavbundslande

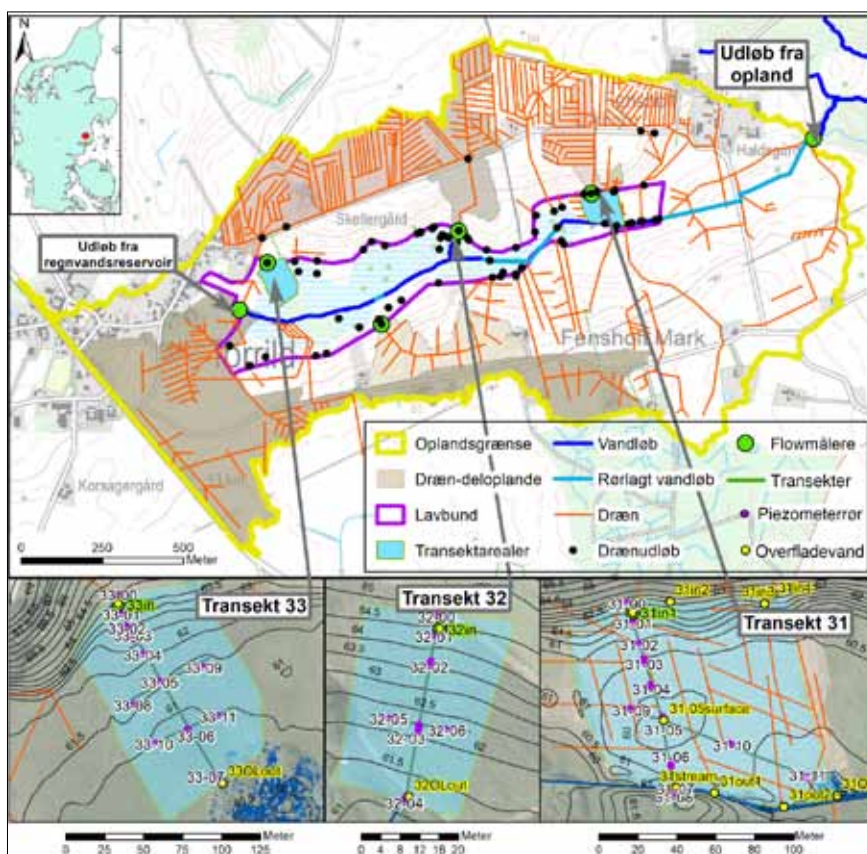
Der er risiko for fosfortab fra våde lavbundslande, men en vurdering af denne risiko er kompleks og kræver viden om vandets strømningsveje og jordens geokemi. Generelt er der begrænset viden om de faktiske fosfortab fra våde lavbundsarealer, og spørgsmålet er om vi kan estimere de faktiske fosfortab. Denne artikel sammenholder målte og model-beregnete fosfortab fra tre våde lavbundsarealer.

RASMUS J. PETERSEN, CHRISTIAN PRINDS,
BO V. IVERSEN &
CHARLOTTE KJÆRGAARD

Reetablering af vådområder på lavbundsarealer i ådalen er et vigtigt virkemiddel i indsatsen for at nå vandplanernes kvælstof-(N)-målsætning. Kvælstofeffekten opnås, når de drænedes lavbundslande gøres våde, ofte ved at dræn og grøfter fjernes, så drænvand og grundvand fra oplandet kan strømme igennem ådalsmagasinet, hvor bakterier under iltfrie (anaerobe) forhold omdanner nitrat-N til frit atmosfærisk N_2 . De forhold, der fremmer reduktion af N, har dog ofte den modsatte effekt på fosfor (P).

Mange danske drænedes lavbundslande har akkumuleret store mængder P /2/. Det er vel-dokumenteret, at reetablering af vådområder på arealer med jernbundet-P kan medføre risiko for øget P-tab /3,4/. En vurdering og kvantificering af risikoen for P-tab er dog ganske kompliceret og kræver dels viden om vandets strømningsvej igennem ådalsmagasinet og dels viden om de geokemiske forhold. Den nuværende vejledning, der anvendes til vurdering af risiko for P-tab ved reetablering af vådområder er baseret på et simpel "worst case" approach. Her antages topjordens indhold af jern (Fe) og P (Fe:P-forholdet) repræsentativ for hele jordprofilen og anvendes sammen med den hydrauliske belastning fra oplandet til at estimere det potentielle P-tab (Boks 1) /5/. Mange vådområdeprojekter realiseres ikke, hvis der er en høj risiko for P-tab.

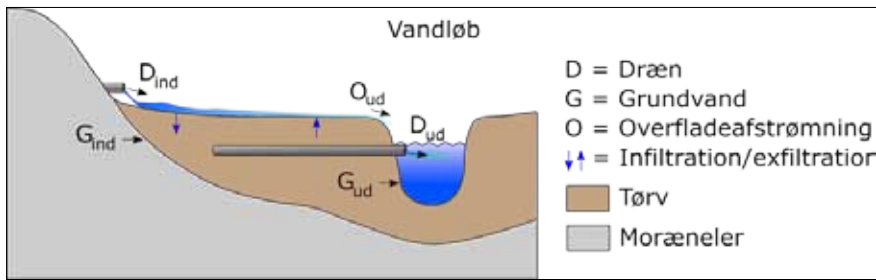
I GUDP-projektet iDRÆN (www.idraen.dk) samt Innovationsfondsprojektet TRENDIS (www.trends.nitrat.dk) har der været fokus på



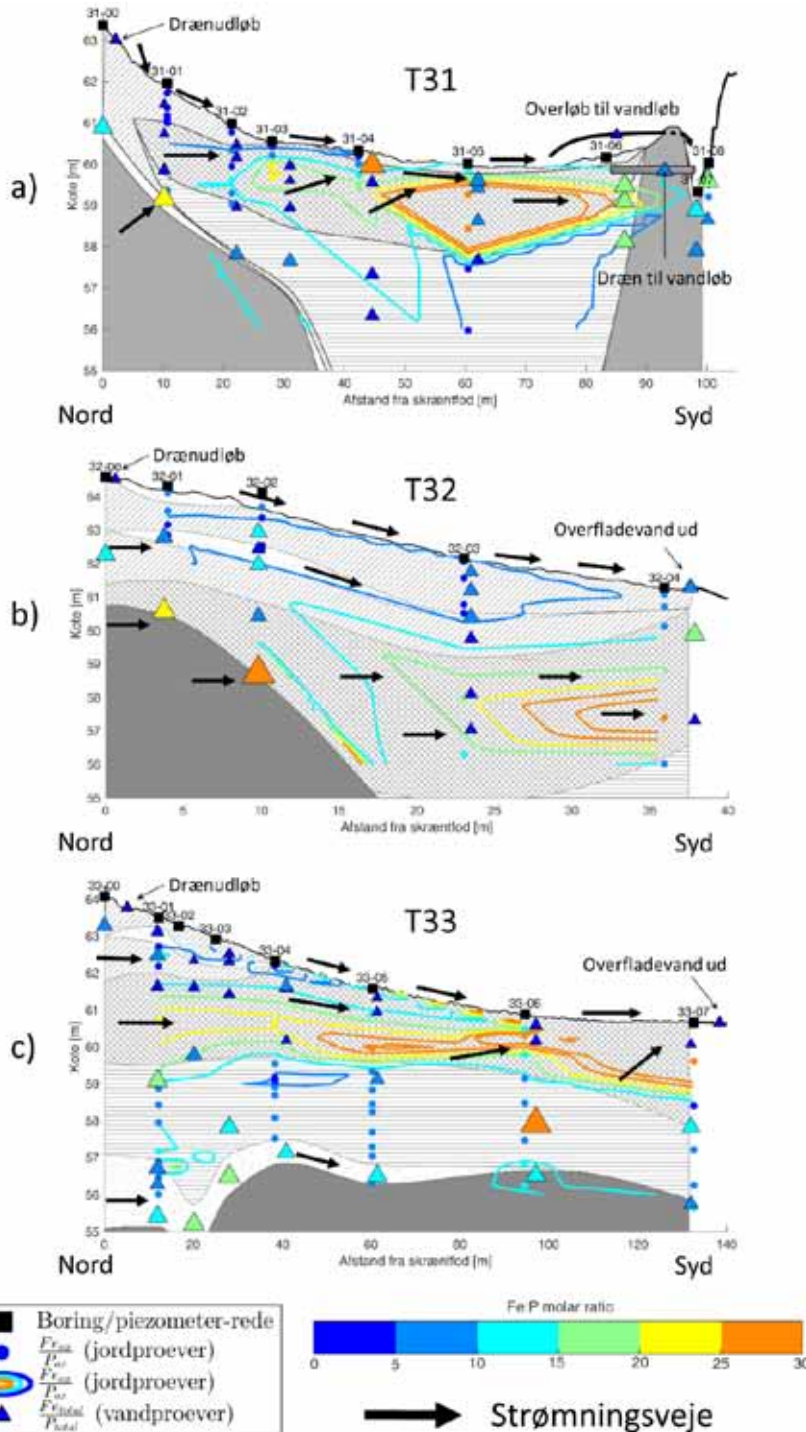
Figur 1. Delopland mellem Torrild og Fensholt i oplandet til Norsminde Fjord. Kortudsnit viser projektområder på hhv. 1.15, 0.113 og 1.17 ha for T31, T32 og T33 med drænoplande på hhv. 3.9, 7.6 og 13.6 ha. Kort viser endvidere placeringen af piezometerrør, flowmålere, dræn samt prøvetagningspunkter for overfladevand. Figur gengivet fra /1/.

at opnå en bedre forståelse af N- og P-transport og omsætning i drænedes moræne-landskaber med lavbundsarealer i ådalen. Udgangspunktet for begge projekter har været deloplandet Fensholt i oplandet til Norsminde Fjord. Undersøgelser fra iDRÆN-projektet viste en lavere N-transport men højere total P (TP) transport i vandløbet sammenholdt med

markdræn i dette delopland. Disse resultater blev tilskrevet reduktion af nitrat-N og frigivelse af P fra de våde tørveholdige lavbundslande /6/. I regi af TRENDIS-projektet er lavbundsarealernes betydning for deloplandets N-balance undersøgt detaljeret /1,7/, og samtidig er der blevet foretaget parallelle målinger af P-tab fra arealerne.



Figur 2. Principskitse af strømningsveje i vandløbsnære lavbundsarealer. Dræn- og grundvand kan gennemstrømme jorden i lavbundsarealet, afstrømme via dræn eller afstrømme overfladisk.



Figur 3. Markering af strømningsveje (pile) i transekterne T31-T33. Derudover Fe:P-molforholdet mellem oxalat-ekstraherbart jern (Fe_{ox}) og fosfor (P_{ox}) i jordprøver (cirkler og konturer), samt forholdet mellem total jern (Fe_{total}) og total P (P_{total}) i vandprøver (trekanter).

Projektområde

Projektområdet mellem Torrild og Fensholt i Østjylland er et 194 ha stort delopland, som udgør en del af det samlede opland til Norsminde Fjord (Fig. 1). Deloplandet består hovedsagligt af omdriftsjord (77%) samt udyrkede tørveholdige lavbundsarealer (13%) centreret omkring et vandløb som leder vand fra Torrild i vest mod deloplandets udløb ved Fensholt i øst. Landbrugsarealerne er dræned og afvander via lavbundsarealerne til vandløbet. Størstedelen af markernes dræn er afskåret i skræntfoden, og drænvandet overrisler og gennemstrømmer således lavbundsajorden. Lavbundsarealerne afgræsses delvist, men er vandmættede i vinterhalvåret og fremstår som våde enge og vådområder med sumpplanter. Udlagte transekter (T31, T32, T33) med tilhørende arealer udgør projektområder for større drænuvløb hhv. 31_{in} , 32_{in} og 33_{in} (Fig. 1).

Strømningsveje

I TRENDS-projektet er vandets strømningsveje i T31, T32 og T33 blevet kortlagt vha. geologisk og geofysisk kortlægning, flowmålinger, tracerforsøg og modellering /1,7/ samt termiske fotos /8/. Drænvand fra de afskårne dræn udgør størstedelen af vandtilførslen til arealerne (35-86%), mens grundvand kun udgør en mindre del (2-8%) /1/. Drænvand, der overrisler lavbund, kan enten (i) afstrømme overfladisk direkte til vandløbet, (ii) infiltrere i tørvjorden og afstrømme via dræn til vandløb (kun T31), (iii) infiltrere og strømme som grundvand til vandløb, (iv) infiltrere til dybere grundvandslag og/eller (v) infiltrere til grundvand og efterfølgende trykkes op (exfiltrere) og afstrømme overfladisk til vandløb. Tilsvarende kan grundvand fra oplandet (vi) trykkes op i skræntfoden og følge samme transportveje som drænvand (i-v), (vii) tilstrømme vandløbet direkte via dybere grundvandslag, og (viii) strømme igennem ådalsmagasinet til vandløb og/eller exfiltrere og afstrømme overfladisk (Fig. 2).

Opdeling og kvantificering af disse strømningsveje er særdeles kompliceret og usikkert, men også af stor betydning for en kvantificering af lavbundarealers effekt på N og P /1/. I projektet er strømningsbidraget bestemt på basis af målinger kombineret med en vandbalancemodel, hvor der på timebasis redegøres for bidrag fra nedbør, dræn- og grundvand samt transport af vand til grundvandsafstrømning, lækage, drænastrømning, fordampning og opmagasinering i lavbundsajorden. Overskydende vandmængder i denne vandbalance tildeles afstrømning som overfladevand. De dominerede strømningsbidrag for projektom-

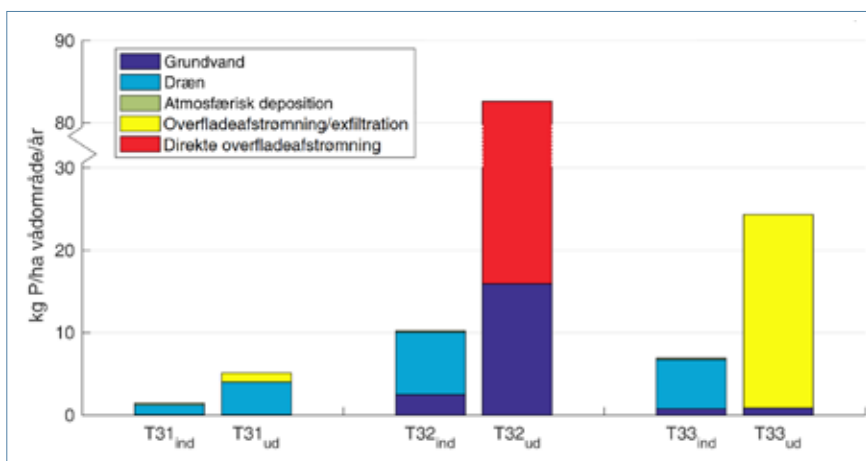
råderne er hhv. drænastrømning og exfiltration/overfladeafstrømning (T31), overfladeafstrømning og grundvandsstrømning (T32), og grundvandsstrømning kombineret med exfiltration/overfladeafstrømning (T33) /1/.

Rumlig variation i indhold af jernbundet P

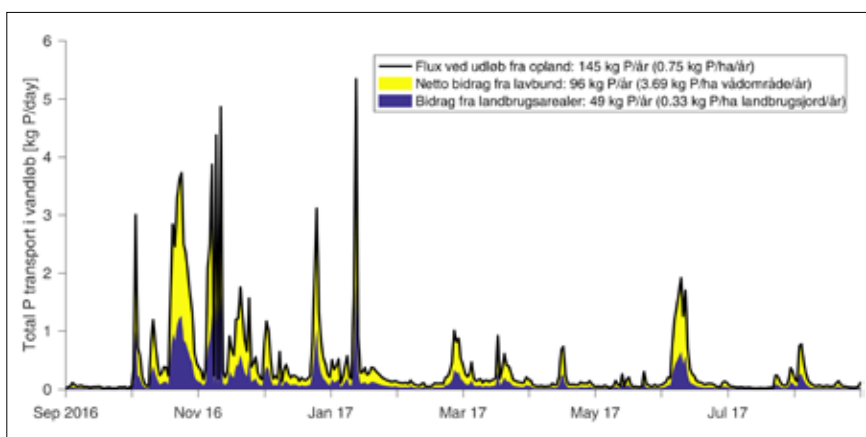
Jern(III)-oxider er den primære adsorbent for P i det tørreholdige sediment. Fosfor bindes generelt stærkt til Fe(III), men under vandmættede iltfrie (anaerobe) forhold reducerer bakterier Fe(III)-oxider til opløst Fe(II) /3/. Samtidig med at jernoxiderne går i opløsning frigives også jernbundet P til jordvandet. Fosfor-frigivelsesraten er kontrolleret af jordens Fe:P-molforhold, som er et udtryk for, hvor mættet jernfraktionen er med P. Fosforfrigivelsesraten stiger i takt med at Fe:P-forholdet falder. Ved et Fe:P-forhold på omkring 10 er Fe-fraktionen mættet med P. Fe:P-forhold mindre end 10 resulterer således i høje P-frigivelsesrater /4/. Jordens Fe:P-forhold kan bestemmes ved ekstraktion med både bicarbonat-dithionit (BD) og oxalat (ox), hvor $Fe_{BD}:P_{BD}$ dog har en bedre forklaringsgrad /4/. I projektet anvendes Fe_{ox} og P_{ox} som proxy for Fe:P-molforholdet, da P_{BD} ikke er bestemt. Generelt er Fe:P-forholdet højere i de strømningsaktive grundvandslag, mens Fe:P-forholdet er lavt (< 11) i toplaget (Fig. 3). Den større P-mætning i toplaget skyldes et højere indhold af jernbundet P kombineret med et gennemsnitligt lavere Fe-indhold. Indholdet af Fe(III) i de underliggende strømningslag er generelt højere, hvilket til dels kan skyldes det højere indhold af opløst Fe_{tot} i grundvandet, der tilstrømmer lavbundsarealerne ($Fe_{tot}:P_{tot}$ mellem 15 og 30), mens drænvandet har et meget lavt $Fe_{tot}:P_{tot}$ -forhold (< 4). I lavbundsarealerne er vandfasen såvel grundvand, drænvand (T31) og overfladevand med enkelte undtagelser generelt fosforberiget med $Fe_{tot}:P_{tot}$ -forhold < 10 .

Målinger af fosfortab

Målingerne viser for alle tre projektområder en netto eksport af P fra lavbundsarealerne (Fig. 4). Den største P tilførsel til lavbundsarealerne stammer fra markdræn, mens P-tabet fra de våde lavbundsarealer sker via forskellige transportveje (Fig. 3). I T31 og T33 udledes ca. 4 gange mere P end der tilføres. Den største eksport i T31 sker via infiltration og strømning til dræn i lavbunden, mens udledningen i T33 primært sker via grundvands-exfiltration og overfladeafstrømning (Tabel 1). I T32 udledes ca. 8 gange mere P end der tilføres, med store tab ved både transport i grundvand og overfladeafstrømning.



Figur 4. Fosfortilførsel (ind) samt fosfortabsveje (ud) fordelt på dræn- og grundvand, exfiltration og overfladestrømning, samt direkte overfladeafstrømning i de tre transektområder. Afstrømningsveje og vandbalancer er beskrevet i /1/.



Figur 5. Transport af total P (TP) i vandløb (kg/dag) målt ved deloplandets udløb. TP-transporten er opdelt i bidrag fra hhv. højbunds landbrugsarealer og de udyrkede lavbundsarealer.

ning. Lavbundsarealerne er dermed en stor kilde til P i vandløbet. Hvis det gennemsnitlige P tab fra de tre drænoplande (0.33 kg P/ha/år) antages repræsentativt for deloplandets landbrugsareal (150 ha) for dette afstrømningsår, kan det samlede bidrag fra landbrugsarealer estimeres til 49 kg P/år. Sammenholdes dette med den målte vandløbstransport ved deloplandsgrensen (145 kg P/år) kan bidraget fra det samlede vådbundsareal estimeres til 96 kg P/år, svarende til 66 % af det samlede P tab fra deloplandet (Fig. 5).

Estimering af risiko for fosfortab

Ved reetablering af danske vådområder foretages der i forbindelse med forundersøgelserne en vurdering af risikoen for P-tab på baggrund af den empiriske sammenhæng mellem P-frigivelsesraten og jordens $Fe_{BD}:P_{BD}$ -molforhold (Boks 1) /5/. En begrænsning ved forundersøgelserne er dog at $Fe_{BD}:P_{BD}$ -forholdet kun er baseret på jordprøver fra toplaget (0-30 cm) /5/.

En korrekt vurdering af risikoen for P tab bør baseres på estimater for Fe:P-forholdet i

de jordlag, hvor strømmingen foregår. Dette er belyst ved estimering af P-tabet for de tre projektområder med anvendelse af: (i) det gennemsnitlige Fe:P-forhold baseret på jordprøver fra toplaget (0-30 cm) og (ii) det gennemsnitlige Fe:P-forhold baseret på jordprøver fra strømningslagene (Tabel 1). For alle tre arealer er det gennemsnitlige Fe:P-forhold mindre end 10 i topjorden og en faktor 2 til 3 højere i strømningslagene, hvilket giver anledning til forskelle i P-tabsrater. Estimeres det samlede årlige P-tab på baggrund af den målte hydrauliske belastning fås således markant højere P-tab, når der tages udgangspunkt i Fe:P-forhold fra toplaget. Anvendelse af Fe:P-forhold fra toplaget overestimerer P-tabet i forhold til de faktisk målte P-tab, mens der ved anvendelse af Fe:P-forhold fra strømningslagene opnås estimater svarende til de faktisk målte P-tab. P-modellen giver således et godt estimat for P-tabet, når beregningen baseres på Fe:P-forhold fra strømningslaget.

Modellens begrænsninger

P-modellen er udviklet til at estimere P-frigiv-

Tabel 1. Målte P-tab fra transekter (T31, T32, T33) sammenholdes med model-estimerede P-tab ved anvendelse af gennemsnitlige Fe:P estimater fra (i) strømningssvej og (ii) topjorden (0-30 cm).

	Fe _{ox} :P _{ox} molforhold	P-model P-tabsrate kg/ha/mm	P-tab total kg/ ha/år	P-tab grundvand kg/ha/år	P-tab overflade afstrømning kg/ha/år
T31_målt	-	-	8,5	7,70	0,87
T31_P-model Strømningssvej	13,38	0,0110	8,3		
T31_P-model Topjord	7,94	0,0181	13,7		
T33_målt	-	-	25,3	0,9	24,5
T33_P-model Strømningssvej	22,1	0,006845	27,9		
T33_P-model Topjord	7,80	0,01847	75		
T32_målt	-	-	83,2	15,9	67,0
T32_P-model Strømningssvej	22,5	0,006711	90,0		
T32_P-model Topjord	6,08	0,02344	314		

Boks 1.

Opdateret beregning af afstrømningsnormaliseret TP-frigivelsesrate som funktion af jordens Fe_{BD}:P_{BD}-molforhold (kg/ha/mm) i henhold til vejledningen til kvantificering af fosfortab fra N og P vådområder /5/

$$TP_{\text{release}} = 0,1313 \times [Fe_{BD}:P_{BD} - \text{molforhold}]^{-0,955} \quad (R^2 = 0,745)$$

elsen ved gennemstrømning af lavbunds-jorden /5/. For lokaliteterne T31 og T33 er denne forudsætning tilstede. For disse lokaliteter bidrager infiltration og grundvandsstrømning til en transport af opløst P i jordvandet til hhv. dræn samt exfiltration over sedimentgrænsefladen. Fe_{tot}:P_{tot}-forholdet i jordvandet er lavt (< 10), og samtidig er Fe_{ox}:P_{ox} forholdet i topjorden meget lavt. Der er således ikke Fe-bindingskapacitet til at tilbageholde P ved transport over sedimentgrænsefladen. I T32 er strømmingen fordelt på enten grundvands-transport eller en direkte overfladetransport, hvor overfladetransporten bidrager til et markant højere P-tab (Tabel 1). Her er det væsentligt at være opmærksom på, at forudsætningen for at anvende P-modellen gælder for grundvandstransporten, mens dette ikke er tilfældet for den direkte overfladetransport. Fosfortabet ved direkte transport på jordoverfladen vil påvirkes af desorption samt udveksling af opløst P mellem jordvand og overfladevand. Tabet kan derudover være styret af andre frigivelsesmekanismer såsom erosion af sediment og biomasse, kolloid dispergering samt P fra nedbrydning af plantebiomasse.

Perspektiver for fremtidige vådområdeprojekter

Reetablering af vådområder er væsentlige virkemidler til at opnå kvælstofmålsætninger, men det er samtidig væsentligt at få realistiske vurderinger af, i hvilket omfang reetablering

af vådområder øger belastningen af P til vandmiljøet. Resultaterne her viser, at en mere korrekt vurdering af risikoen for P-tab i fremtidige vådområdeprojekter i højere grad bør baseres på viden om de primære strømningssveje, samt estimering af P-tab baseret på Fe:P-forhold, der er repræsentative for strømningsslagene. P-modellens anvendelse forudsætter gennemstrømning af lavbunds-jorden, men resultaterne viste, at også at den direkte overfladetransport, uden gennemstrømning af sedimentet, kan være en meget betydelig kilde til P-tab.

Resultaterne i dette projekt viser, at de udyrkede tørvholdige våde lavbundsarealer udgør den primære kilde til P-tab (ca. 66%) i det konkrete delopland, hvor lavbundsarealet udgør ca. 10% af det samlede areal. Fosfortabet pågår fra våde lavbundsarealer, der ikke har været i landbrugsmæssig omdrift i årtier. Bortgravning af topjord er her ikke en løsning, da P tabet pågår ved gennemstrømning under top-laget. Der vil således være behov for at se på andre afværge foranstaltninger, hvis omfanget af P-tab er kritisk for nedstrøms recipienter.

Referencer

- /1/ Petersen, R. J., Prinds, C., Iversen, B. V., Engesgaard, P., Jessen, S., and Kjaergaard, C. Submitted 2018. Nitrogen reduction along variable flow pathways in riparian lowland transects. Submitted to WRS.
- /2/ Kjaergaard, C., Hoffmann, C.C., Greve, M.H. 2007. Fosforstatus, binding og tabsrisiko fra danske organo-

gene lavbunds-jorde. I: Udpegning af risikområder for fosfortab til overfladevand. DFFE-projekt under VMPIII.

- /3/ Kjaergaard, 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.
- /4/ Forsmann, D.M. & Kjaergaard, 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.
- /5/ Hoffmann, C.C., Kronvang, B., Andersen, H.E., Kjaergaard, C. 2018. Kvantificering af fosfortab fra N og P-vådområder. 48 sider. Notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi.
- /6/ Kjaergaard, C., Thierry, A.M., Vestergaard, C.H., Iversen, B.V. 2015. Måltret virkemiddelsplanlægning – en deloplandsanalyse. Vand & Jord, 2015, nr. 1:30-33
- /7/ Prinds, C. P., R.J., Greve, M. K., C., and Iversen, B. V. (in preparation), Geological characterization of a Danish riparian lowland using a multigeophysical approach.
- /8/ Prinds, C., Petersen, R. J., Greve, M., and Iversen, B. V. (submitted), Locating Tile Drainage Outlets and Surface Flow in Riparian Lowlands Using Thermal Infrared and RGB-NIR Remote Sensing.
- RASMUS J. PETERSEN (jes@agro.au.dk) og CHRISTIAN PRINDS er PhD studerende og Bo VANGSØ IVERSEN er PhD og lektor ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet. CHARLOTTE KJÆRGAARD er PhD og chefforsker ved SEGES, Agro Food Park, Aarhus. E-mail: chkj@seges.dk