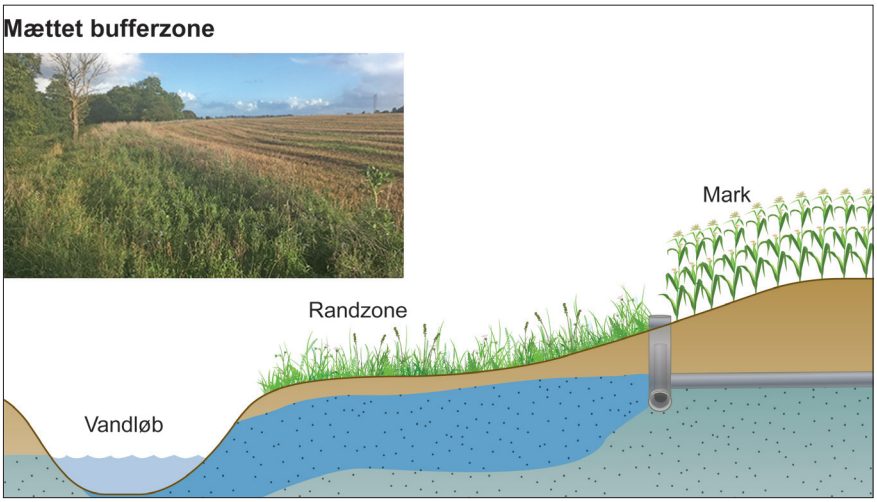
Næringsstofreduktion i vandmættede bufferzoner

Første resultater fra to vandmættede danske bufferzoner på henholdsvis organogen og mineraljord viser høj positiv effekt på reduktion af nitrat i drænvand. Retentionen af fosfor (P) afhænger af jordtypen og de biogeokemiske forhold. Mineraljorden fungerer som en effektiv P-sink, mens der er et potentielt tab af P fra den organogene jord.

Sophie Bæk Lyngaa, Dominik Henrik Zak, Charlotte Kjærgaard & Søren Munch Kristiansen

Vandmættede bufferzoner er et nyt drænvirkemiddel, som benyttes til at reducere næringsstoftab til overfladevand /1/. Virkemidlet er blevet testet i USA siden 2010, mens de første projekter med virkemidlet i Danmark er igangsat i 2018 /2/. Princippet i en vandmættet bufferzone er at drage nytte af de biogeokemiske processer, der virker i overgangszonen (den ripariske zone) mellem mark og vandløb, til at omsætte og/eller tilbageholde næringsstoffer kvælstof (N) og fosfor (P) fra drænvand.

I den vandmættede bufferzone ledes drænvandet gennem jordmatricen ved at afbryde drænrøret fra marken, inden det når vandløbet, og lade drænvandet gennemsive jorden via et nedgravet fordelerrør. Drænvandet infiltrerer og strømmer derved igennem jorden i den ripariske zone, inden det når vandløbet (Figur 1). De iltfrie forhold der opstår i den vandmættede bufferzone bidrager til en omsætning af kvælstof (N) ved biologisk omdannelse af nitrat (NO_3^-) til N_2 gas via denitrifikation. De iltfrie forhold, der er en forudsætning for N-reduktion, kan dog samtidig være kritiske for tilbageholdelse af fosfor (P), da en stor del af jordens P-pulje kan være bundet til redox-følsomme jern (Fe) forbindelser. I modsætning til omdannelsen af nitrat-N til N_2 gas fjernes P ikke fra jorden, men bliver i stedet tilbageholdt i jordmatricen ved filtrering, sorptions- og fældningsprocesser eller ved optag i biomasse. Betydningen af de forskellige processer afhænger af de biogeokemiske og hydrologiske forhold i bufferzonen.

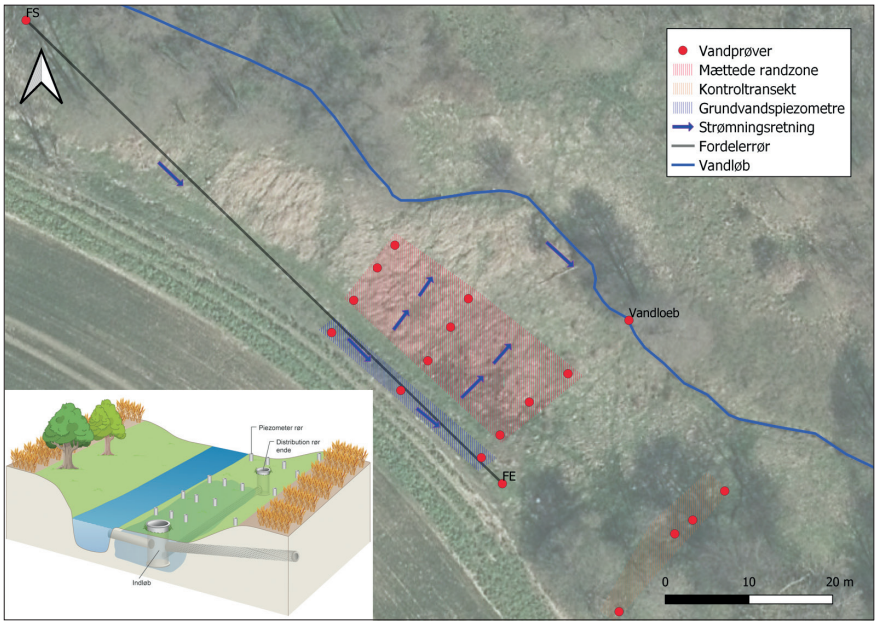


Figur 1. Tværsnit af en vandmættet bufferzone, hvor et fordelerrør leder drænvand ud i jordmatricen. Et bypass-dræn tillader overløb direkte til vandløb, hvis den hydrauliske kapacitet i den vandmættede bufferzone begrænses. Figuren er gengivet med tilladelse fra /1/

Det er tidligere vist, at effektiviteten af vandmættede bufferzoner til reduktion af næringsstoffer bl.a. afhænger af jordtype, jordens permeabilitet, arealet, årstid og vegetation /2/. Denne artikel har særlig fokus på at belyse P-retention og -frigivelse fra to vandmættede bufferzoner, da der er begrænset viden herom. Projektet med vandmættede bufferzoner er igangsat af SEGES, i samarbejde med Institut for Bioscience, Aarhus Universitet, der varetager monitering og effektopgørelser. Forsøget er finansieret af Promilleafgiftsfonden for Landbrug i regi af projektet "Innovationsplatform for drænvirkemidler (2018-2020)".

Testlokaliteter

Effekten på P-tilbageholdelse i vandmættede bufferzoner er undersøgt på to lokaliteter, Ulvskov og Gylling, nær Odder i Østjylland. De vandmættede bufferzoner blev etableret i hhv. november 2018 og februar 2019 ved at afkoble drænene, og lede drænvandet via fordelerrør ud i bufferzonearealet, så arealet mellem mark og vandløb blev vådlagt i varierende grad. Længden af fordelerrørene er på begge lokaliteter ca. 80 m, og afstanden til vandløbet er ca. 50 m. I forsøgene er der anlagt fire forsøgstransekter, hver bestående af 4 piezometre til at måle ændringer af vandstand og -kemi gennem bufferzonerne (Figur 2). Vandprøver og jordprøver er udtaget i de to vandmættede bufferzoner og analyseret for forskellige P, N og Fe forbindelser. En kemisk



Figur 2. Skitse af den vandmættede bufferzone Ulvskov. Her ses strømningsretningen gennem fordelerrøret, og via den vandmættede bufferzone mod vandløbet. Vandprøver blev udtaget i bufferzonen, i et kontroltransekt og i jorden bag fordelerrøret. Målet var at undersøge ændringer i fluxe af næringsstoffer i den vandmættede bufferzone i forhold til den omkringliggende jord og til undersøgelse af vandmængder og næringsstof fra grundvandet.

ekstraktion med bikarbonat-dithionit (BD) er anvendt til bestemmelse af redox-følsomt Fe og Fe-bundet P (betegnet hhv. BD-Fe og BD-P) /3/. For at estimere langtidseffekten af de vandmættede bufferzoner i forhold til risikoen for P-tab, er der foretaget en scenariieberegning på grundlag af P-bindingskapaciteten og den aktuelle tilførsel af opløst reaktivt P (SRP) via drænvand /4/.

Fosforeffekt af vandmættet bufferzone på mineraljord

Lokaliteten Ulvskov er karakteriseret ved mineraljord. Koncentrationen af SRP i drænindløbet er gennemsnitligt 0,036 mg/L, og denne reduceres effektivt i bufferzonen (Figur 3a). Reduktionen i SRP-koncentrationen kan ikke tilskrives fortynding ved indblanding af grundvand. Dermed tyder det på, at P-tilbageholdelsen kan forklares ved sorption- og/eller fældningsprocesser i den vandmættede bufferzone.

Tabel 1. Retention af opløst-P i de vandmættede bufferzoner Ulvskov (mineraljord) og Gylling (tørv). Negativ retention angiver netto P-frigivelse.

	Ulvskov	Gylling#
Retention af opløst P (kg/ha/år)	9,4	-3,8
Retention af tilført opløst-P (%)	87	-
Fe_{BD}:P_{BD} ratio##	470	20

#Meget begrænset tilførsel af drænvand, da den kompakte tørv var hydraulisk begrænsende, ##Fe/P forhold af redox-følsomme Fe-forbindelser /3/

Scenariieberegningerne viser, at der med observerede gennemsnitlige P-mætningsgrad på 7,7 %, tilbageholdes 1,2 kg P om året, hvilket svarer til 9,4 kg/ha/år (Tabel 1). Dette svarer til en retention på ca. 87 % af den tilførte mængde P. Fosformætningsgraden på Ulvskov lokaliteten er lav og indikerer at jorden har en stor kapacitet til at binde P. Forformætningsgraden er beregnet på baggrund af det målte indhold af amorfe (oxalatekstraherbart) jern (Fe_{ox}), aluminium (Al_{ox}) og mangan (M_{nox}) oxider, som udgør den primære P-bindingskapacitet. I scenariieberegningen er det antaget, at alt oxalatekstraherbart Fe og Al kan binde opløst-P, og der er anvendt jordprøver, som er oxiderede før analysen, så dette kan have påvirket resultaterne. I takt med at jordens P-mætningsgrad øges vil jorden gradvist blive mindre effektiv til at binde P, og ved en P-mætningsgrad på ca. 25 %, kan der forekomme kritisk høje ligevægtskoncentrationer af SRP i jordvandet /5/. I den vandmættede reducerede jord vil en del af jordens Fe(III) omdannes til opløseligt Fe(II), der kan udvaskes, og dermed vil jordens P-bindingskapacitet reduceres. For vandmættede randzoner der overvejende tilføres drænvand, kan det forventes at vandmætningen primært forekommer i efterår og vinter, mens der resten af året er iltede forhold.

Fosfor-bindingskapaciteten kan dog også forøges hvis der med drænvand og grundvand tilføres opløst Fe og/eller partikulært Fe og Al. Herved vil mere P kunne bindes og tilbageholdes i den vandmættede bufferzone. I scenariet er der kun regnet på tilførslen af SRP via drænvand, men også partikulært-P vil kunne tilbageholdes. Endelig kan der i den vandmættede bufferzone også ske en tilbageholdelse af opløst-P ved fældningsprocesser fx vivianit under anaerobe forhold /6/. Mikrobielt optag af P regnes alene som en temporær organisk P-pulje, mens høst af P optaget i plantebiomasse vil kunne fjerne P permanent fra bufferzonen.

Reduktion af Fe(III) til Fe(II) finder formentlig sted i den vandmættede bufferzone i Ulvskov, når der opstår iltfrie forhold. Dette vil have mindre betydning, da Fe:P forholdet i jorden gennemsnitligt er 470, hvilket betyder, at der er en overkapacitet af Fe(III), der skal reduceres, før der opstår risiko for P-frigivelse. Dertil kommer at der på Ulvskov lokaliteten kontinuert tilføres nitrat via drænvand (gennemsnitlig NO_3-N koncentration i indløb er 4,86 mg/L), og ved nitrat-reduktionsprocessen i bufferzonen (Figur 3b), kan der ske en samtidig oxidation af Fe(II) til Fe(III). Denne kobling mellem nitratreduktion og Fe(II)-oxidation vil forventes at bidrage til at vedligeholde P-bindingskapaciteten og dermed minimere risikoen for tab af P /7/. Endelig kan P der frigives fra redox-følsomme Fe-P forbindelser readsorbere igen til andre oxider f.eks. Al. Der vil formentligt forekomme kontinuerte skift mellem P-frigivelse og -retention, men nettoeffekten for Ulvskov lokaliteten er tilbageholdelse af P fra drænvandet.

Fosforeffekt af vandmættet bufferzone på organogen jord

Den vandmættede bufferzone ved Gylling, der er etableret på organogen jord, fungerer ikke effektivt hydraulisk, da tørvens hydrauliske ledningsevne er begrænsende for vandgennemstrømningen. Resultaterne fra P-risikovurderingen viser, at der ved en gennemsnitlig P-mætningsgrad på 7,9 % sker en P-frigivelse på 3,8 kg P/ha/år. Ved den aktuelle hydrauliske belastning ville dette teoretisk betyde, at jordens nuværende indhold af Fe-bundet P vil være frigivet og udvasket til vandløbet i løbet af ca. 110 år, under forudsætning af at drænvandet kan gennemstrømme tørven.

Koncentrationen af opløst-P i jordvandet stiger gennem den vandmættede bufferzone, som følge af in situ frigivelse af P, da der ikke tilføres betydelige mængder opløst-P via drænvand eller grundvand (Figur 3c). Fosforfrigivelsen kan skyldes flere processer. En øget ammonium (NH_4^+) koncentration tyder på, at der sker en oxidation af det organiske materiale, og der herved i perioder mobiliseres en større mængde organisk bundet P, ammonium og sulfat /8/. Samtidig kan Fe-bundet P frigives til jordvandet, når Fe(III) reduceres til

Fe(II) under iltfrie forhold i den organogene jord. Frigivelsesraten af Fe-bundet P ved det gennemsnitlige Fe:P forhold på 20 indikerer en øget risiko for P-frigivelse ved en højere rate. På arealer med høj risiko for tab af P til vandløb eller sø, bør vådlægning af lavbundsjord kombineres med foranstaltninger som høst af plantebiomasse, fjernelse af den P-berigede topjord eller andre tiltag der modvirker P-tab, men dette kræver særlige forundersøgelser /8/.

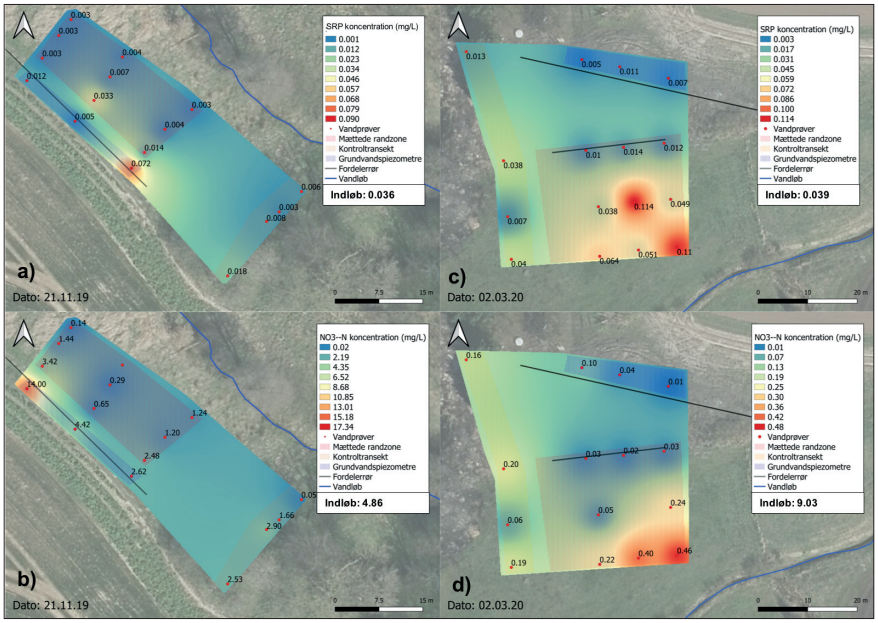
Perspektivering

De to vandmættede bufferzoner er etableret på forskellige jordtyper. Dette viser, at jordtypen har stor betydning for, hvordan den vandmættede bufferzone fungerer /9/. Jordtypen og formentlig også indholdet af kulstof har betydning for redox-forholdene, mens Fe:P forholdet i jorden kan være styrende for den vandmættede bufferzones evne til at tilbageholde eller frigive P.

Lokaliteten Gylling har tilsyneladende effektiv N-reduktion (Figur 3d), men negativ P-retention (Figur 3c). Det antages, at fluktuerende grundvandsspejl ikke er optimalt for effektiviteten, da P-frigivelsen kan øges under skiftende oxiderende og reducerende betingelser. Den kompakte tørvejord var hydraulisk begrænsende, og moniteringen viste, at en rimelig infiltration af drænvand kun kunne opretholdes, når drænvandets trykhøjde ved fordelerrøret var ved jordoverfladen. En sådan situation kan dog kun etableres, hvis den høje grundvandsstand ikke påvirker arealudnyttelsen i det bagvedliggende opland negativt. Alternativt kan oppumpning af drænvand til jordoverfladen ved fordelerrøret være en mulighed, hvorved der skabes en løsning med overrisling af drænvand.

Fosforretentionen i den vandmættede bufferzone Ulvskov er på 87 % af den total mængde opløst-P tilført bufferzonen, og til sammenligning med andre virkemidler er dette en yderst effektiv tilbageholdelse af P. Det skal bemærkes, at dette studie alene har undersøgt retentionen af opløst-P. Foreløbige data af total-P i drænvand viser, at partikulært P ofte udgør op til 50 % af totalt-P i drænvandet. Partikulært P forventes at blive effektivt tilbageholdt i den vandmættede bufferzone og vil således øge den samlede total-P retentionseffektivitet.

Fremtiden for denne type virkemidler i Danmark er lovende. Vandmættede bufferzoner formår med høj effektivitet, at fjerne og omdanne N og tilbageholde P. Dog er placering og hydrauliske samt biogeokemiske egenskaber i jorden i den vandmættede bufferzone afgørende for effekten.



Figur 3. Koncentrationen af opløst reaktivt fosfor (SRP) og nitrat (NO_3^-) i Ulvskov (a og b) og Gylling (c og d) vandmættede bufferzone. I Ulvskov ses retention af både SRP og nitrat. I Gylling ses en frigivelse af opløst-P gennem den vandmættede bufferzone. Den forøgede koncentration af nitrat i slutningen af bufferzonen skyldes formentlig oxidation af organisk materiale, og oxidation af ammonium til nitrat.

Mange parametre er endnu ikke undersøgt i de første danske forsøg med vandmættede bufferzoner, hvilket betyder at resultaterne skal tolkes med forsigtighed. Det anbefales derfor at gennemføre yderligere undersøgelser. Desuden bør undersøgelserne foregå over flere afstrømningsår for at dække klimatiskevariationer. Endeligt er det vigtigt, også at undersøge behovet for oprensning af sediment i fordelerøret over en længere årrække.

Referencer

/1/ Hoffmann, CC., Zak, DH., Kronvang, B., Kjærgaard, C., Carstensen, MV., Audet, J. 2020. Vådområder og drænvirkemidler: Næringsstofeffekter. Vand og Jord 27 (2): 77-80

/2/ Jaynes, D.B. and T. Isenhart.2019. Preformance of saturated Riparian buffers in Iowa, Usa. Journal of Environmental Quality, 48

/3/ Zak, D., Gelbrecht, J., Wagner, C, Steinberg, C.E.W. 2008. Evaluation of phosphorus mobilization potential in rewetted fens by an improved sequential chemical extraction procedure. European Journal of Soil Science 59:1191-1201

/4/ Freese, D. van der Zee, S.E.A.T.M. van Riemsdijk, W.H. 1992. Comparison of different models for phosphate sorption as a function of the iron and aluminium oxides of soils. Journal of Soil Science 43: 729-738

/5/ Rubæk, GH., Djurhuus, J., Heckrath, G., Olesen, SE., Østergaard, HS. 2000. Er danske jorde mættede med fosfor? 2000. DJF-rapport, Markbrug 34:17-30

/6/ Walpersdorf, EC., Bender KC., Heiberg, L., O'connell, DW., Kjærgaard, C., Hansen, HCB. 2013. Does vivianite control phosphate solubility in anoxic meadow soils? Geoderma 193-194:189-199.

/7/ Cabezas, A., Gelbrecht, J., Zak, D. 2013. The effect of rewetting drained fens with nitrate-polluted water on dissolved organic carbon and phosphorus release. Ecol Eng 53:79-88.

/8/ Zak, D. and J. Gelbrecht. 2007. The Mobilisation of Phosphorus, Organic Carbon and Ammonium in the Initial Stage of Fen Rewetting (A Case Study from NE Germany). Biogeochemistry 85(2):141-151

/9/ Andersen, HE., Baatrup-Pedersen, A., Blicher-Mathiesen, G., Christensen, JP., Heckrath, G., Nordemann Jensen, P. (red.), Vinther, FP., Rolighed, J., Rubæk, G., Søndergaard, M. 2016. Redegørelse for udvikling i landbrugets fosforforbrug, tab og påvirkning af Vandmiljøet. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Sophie Bæk Lyngaa (sophielyngaa@gmail.com) er uddannet geolog med speciale i jord og overfladevand. Nu ansat hos Region Midtjylland, Kontoret for Jordforurening. Denne artikel er baseret på Sophies speciale fra Geoscience, Aarhus Universitet: Fosforfrigivelse fra mættede randzoner. Dominik Henrik Zak er seniorforsker ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.
Charlotte Kjærgaard er Chefforsker ved SEGES Plante- og Miljøinnovation.
Søren Munch Kristiansen er lektor ved Institut for Geoscience, Aarhus Universitet

Taksigelse

Feltforsøget er finansieret af Promilleafgiftsfonden for Landbrug i regi af projektet "Innovationsplatform for drænvirkemidler (2018-2020)". Projektet gennemføres i et samarbejde mellem SEGES og Aarhus Universitet, Institut for Bioscience (BIOS), hvor BIOS er ansvarlig for monitering og dataopgørelse .