

Kompakte fosforfiltre på lavbundsjord

Afværgeforanstaltning mod fosfortab

Projekt FosLav. AarAarhus Universitet AU-Agro og Københavns Universitet KU-PLEN har sammen udarbejdet et videnskabeligt notat om kompakte fosforfiltre i tæt samarbejde med WaterCare Aps, BIO-AQUA, Diapure og SEGES Innovation. Faktaarket er baseret på resultater i dette notat samt den øvrige viden om fosfor på lavbundsjord. Hovedudfordringen, som undersøges i projekt Foslav, er den vandopløselige fosfor, som kan frigives ved vådlægning af lavbundsjord.

Fosforindhold og fosforudvaskning på lavbundsjord

Når lavbundsjord vandmættes og dermed bliver iltfrie, øges risikoen for fosfortab, idet jernoxider i jorden, der binder fosfor stærkt, opløses, hvorved fosfor frigives. Denne labile pulje af jernbundet fosfor kan udgøre mere end 1.000 kg fosfor pr. hektar, som vurderes at kunne frigøres over en lang tidsperiode (Krishnankutty et al., 2025).

Fosfortab fra lavbundsjord varierer meget, men er oftest betydeligt, og der er målt op til 7 kg P hektar pr. år (Andersen et al., 2016). Fosforindholdet i 50 undersøgte lavbundsjord varierede fra 0,5-18 ton fosfor pr. hektar. Til sammenligning er fosforindholdet i dyrkede højbundsjord i kvadratnettet på gennemsnitligt 4,6 t/ha (Kjærsgaard et al. 2009).

Vådlægning af lavbundsjord kan derfor medføre udvaskning af store mængder af fosfor. For at mindske risikoen kan der anvendes afværgeforanstaltninger. Her kan kompakte filterløsninger og biomassehøst være aktuelt at anvende i en kortere eller længere periode, indtil niveauet af fosforudvaskning er reduceret til et acceptabelt niveau.

Kompakte filterløsninger

Kompakte fosforfiltre er en sammensætning af typisk to filterenheder, der er optimeret til at fjerne henholdsvis partikulært og opløst fosfor. Filterenhederne benævnes henholdsvis 1) partikelfilter og 2) sorbentfilter, se flere detaljer om dem herunder. Filtersystemerne tilpasses efter sammensætningen af fosfor i det pågældende areal. Partikulært fosfor fjernes altid før det opløste fosfor for at sikre, at sorbentfilteret ikke tilstopper.

Typisk ledes vandet fra et dræn, en afvandingskanal/grøftesystem eller evt. et reservoir til filtersystemet. I visse tilfælde, f.eks. hvor det er vanskeligt at opnå et

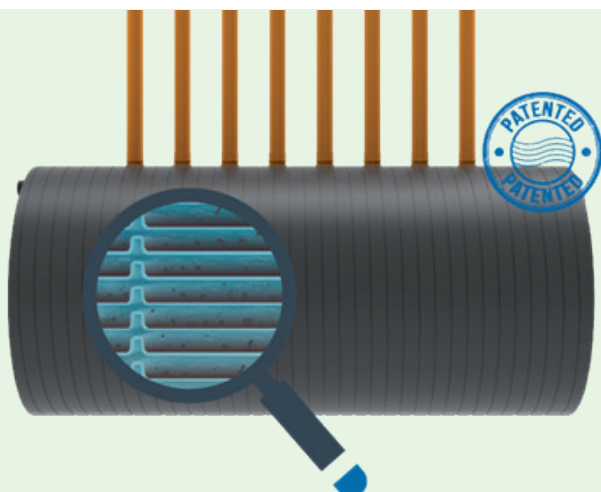
tilstrækkeligt fald over systemet, kan vandet pumpes fra arealet og ind i filtersystemet. Det vil typisk gælde for lavtliggende og relativt flade arealer. Pumpen kan samtidig anvendes til at regulere vandstanden i området, f.eks. med henblik på at kontrollere frigivelsen af klimagasser. Afhængig af lokationen kan filtersystemerne tilpasses til også at fjerne andre stoffer i vandet, f.eks. jern og opløst organisk kulstof (DOC), hvorved effektiviteten i fosfortilbageholdelsen øges.

I projektet FosLav er filtersystemerne blevet testet ved bl.a. Løvenborg Gods. Her fylder testsystemet samlet set ca. 4 x 2 x 2 m (Figur 1). Det er testet ved en vandføring på op til 0,5 liter/sekund, men det forventes, at systemet kan behandle en vandføring på op til 1,0 liter/sekund svarende til ca. 2.600 m³ om måneden.



Figur 1: Kompakt filtersystem til drænvand fra kulstofrig lavbundsjord på Sjælland ved Løvenborg. Tegning: WaterCare Aps.

FAKTA OM FOSFORVIRKEMIDLER



Figur 2: Dobbeltporøse filtre (DPF). Illustration af WaterCare.

Partikelfilter

Partikelfilteret kan have forskellige udformninger. I én type partikelfilter, der er pakket med et porøst materiale, ilttes vandet, hvorved der fældes jernoxider (okker) samt partikelbundet fosfor. Filteret returskylles kortvarigt én gang dagligt. Returskyllevandet ledes efterfølgende ud til et mindre afvandingsbed, hvor den fosforrige okker afsættes.

WaterCare ApS har udviklet en finpartikeludskiller med den patenteret dobbeltporøs filtrering teknologi (DPF). Dette filter er inspireret af jordens egen renseevne og efterligner de renseprocesser, som forløber, når vand filtreres igennem en porøs moræneler-jord. Filteret er designet til at håndtere urenheder og partikler i størrelsesordenen 1-2 μm og op til 100 μm . Filteret er opbygget af renselamplader, som stables oven på hinanden med 2-4 mm luft imellem sig, hvor vandet kan strømme frit (Figur 2). Grundet den lave stablehøjde og renselampladernes design, bliver de helt små partikler tilbageholdt på renselpladerne uden risiko for tilstopning og med høj vandledningsevne.

Sorbentfilter

Efter partikelfilteret sendes vandet videre til sorbentfilteret, der ligeledes består af et porøst materiale, som i dette tilfælde er fremstillet til at binde det opløste fosfor. Når dette filter er mættet med fosfor, udskiftes det. Filtermaterialet fra DiaPure kan dog regenereres, hvorved filtermaterialets fosforbindingskapacitet genetableres, og filtermaterialet efterfølgende kan genanvendes. Som udgangspunkt estimeres behovet at være



Figur 3: DiaPure filtermateriale. Fotos: SEGES Innovation

én regenerering om året. Filtermaterialerne i begge filterenheder vil dog kræve udskiftning efter en årrække for at sikre optimal drift.

Filtermaterialet fra DiaPure er udviklet til at tilbageholde opløst fosfor, og består af små lergranulater på 2-4 mm (Figur 3), som er overfladebehandlet med et reaktivt stof. Filtermaterialet fungerer ved, at fosforen binder sig til det reaktive stof på overfladen af lerpartiklerne og herefter bevæger sig ind i materialet, hvor det kan blive bundet til lerpartiklernes porer. Netop det at fosfor kan trænge ind i porerne, medfører at filtermaterialet har en høj fosforbindingskapacitet, da fosfor kan bindes både udenpå og indeni materialet. Det er muligt at fjerne fosfor fra filtermaterialet, hvilket betyder, at materialet kan genanvendes i anlægget.

FAKTA OM FOSFORVIRKEMIDLER

Tabel 1: Fosfortilbageholdelse i filtersystem ved Løvenborg på kulstofrig lavbundsjord testet over en periode på 11 mdr. Kompakte fosforfiltre (Heckrath et al 2025).
*Under filtreringsprocessen omdannes TDP til PP.

Parameter	Indløbskoncentration, mg/L	Indløb, kg	Retention, %
Total opløst fosfor (TDP)	0,5	1,5	> 95
Partikulært bundet fosfor (PP)	0	0	> 95 ^a
Opløst organisk stof (DOC)	15	140	0
Jern (Fe)	10	45	95

Fosforeffekt

Filterløsningerne vil have forskellige effekt på hhv. partikulært bundet fosfor (PP) og opløst fosfor (TDP), og dette vil i høj grad være styret af indløbsvandets kemiske sammensætning. Det kan bl.a. ses, når man kigger på det relativt lille testsystem ved Løvenborg Gods, som modtager drænvand fra ca. 5 ha lavbundsareal. Drænvandet indeholder ferrojern (Fe²⁺), opløst organisk stof (DOC = Dissolved Organic Carbon), og total opløst fosfor (TDP = Total Dissolved Phosphorus). Vandet har høj pH (ca. 8) og høj alkalinitet typisk for østdanske lavbundsarealer.

Alt fosfor i det iltfattige vand er på opløst form, men konverteres til partikulært fosfor. Dette sker ved, at der foregår en okkerdannelse i forfilteret ved iltning, og denne okker kan så binde noget af den vandopløselige fosfor. I den næste tank bindes den vandopløselige fosfor til Diapure. Vandføringen har i monitoringsperioden ligget på mellem 0,1 og 0,4 liter/sekund. Filteret har kørt året rundt, idet der er konstant tilstrømning af drænvand. Tilbageholdelsen af både TP, TDP og Fe har igennem perioden ligget på et højt niveau (>90 %), mens opløst organisk stof ikke tilbageholdes i systemet (Tabel 1).

Økonomi og omkostningseffektivitet

Nedenfor og i Tabel 2 er skitseret to scenarier for filterimplementering med anslåede investerings- og driftsudgifter samt omkostningseffektivitet, som er estimeret i projekt Foslav. Der ses alene på udgifter til filtersystemet, anlægsarbejde, vedligehold og evt. pumpning over en driftsperiode på 10 år. Anlæggenes specifikke størrelse og udformning vil naturligvis afhænge af de specifikke forhold, og scenarierne er derfor alene retningsgivende.

Der tages udgangspunkt i følgende:

- Investeringsudgifter på 350.000 kr. for anlæg, der håndterer en vandføring på 1 L/s.
- Ved opskalering til større anlæg forventes prisen for systemet at mindskes med op til 30 % pr. L/s, der overstiger 1 L/s.
- Anlægsarbejde på ca. 125.000 kr. for entreprenør, rør- og andet arbejde i forbindelse med installation af et 1 L/s filtersystem. Hertil kommer evt. entreprenørarbejde ifm. dræn, grøfter, bassiner mm.
- De årlige vedligeholdelsesudgifter er anslået til 34.000 kr. pr. anlæg.
- For alle scenarier antages en afdræning på 250 mm/år. Der ønskes en max. koncentration i det rensede vand på 0,1 mg P/L i udløbet. Der er regnet på fosfor-indløbskoncentrationer på henholdsvis 0,5 og 5 mg P/L.

Scenarierne er kort beskrevet nedenfor, mens resultaterne er samlet i Tabel 2.

Scenarie 1:

10 ha sammenhængende fosfor hotspot lavbundsområde. Vådlægning af 100 ha lavbunds jord, hvor jordbundsanalyser viser, at et samlet område på 10 ha af arealet udviser høj risiko for fosforlækage. Området har et eksisterende drænsystem der udnyttes (Tabel 2).

Scenarie 2:

10 ha lavbundsområde med usammenhængende fosforhotspots. Vådlægning af 100 ha landbrugsjord med et samlet areal på 10 ha med fosforlækage. Der er identificeret to separate hotspotfosforarealer på hver 5 ha. Der findes ikke et komplet og sammenhængende dræn- og grøftesystem. Der etableres to separate filteranlæg (Tabel 2).

FAKTA OM FOSFORVIRKEMIDLER

Tabel 2: Omkostningseffektivitet for filtersystemer i 2 scenarier regnet over en 10-årig periode.

Scenarie	1	2
Område	Lavbund	Lavbund
Totalt areal	100 ha 10 ha med P filter behov	100 ha 2 x 5 ha (separate arealer) med P filter behov
Årlig afdræning	25.000 m ³	25.000 m ³
Gennemsnitlig vandføring til anlæg	0,8 L/s	2 x 0,4 L/s
Ønsket rensnings-effektivitet	80 - 98 %	80 - 98 %
Anlægsinvestering + vedligehold + drift	1 anlæg a 350.000 kr. samt 10 års drift og vedligehold svarende til 340.000 kr.	2 separate anlæg a 350.000 kr. samt 10 års drift og vedligehold svarende til 680.000 kr.
Anlægsarbejde	Anlægsarbejde på 125.000 kr.	Anlægsarbejde på 250.000 kr.
Tilbageholdelse i 10 år - lav P konc.	100 kg	100 kg
Tilbageholdelse i 10 år - høj P konc.	1.225 kg	1.225 kg
Nettoomkostning, 10 år	815.000 kr 8.150 kr /ha	1.630.000 kr 16.300 kr/ha
Omkostningseffektivitet (pr. kg P) for lav og høj fosfor indløbskoncentration	8.150 kr/kg P 665 kr/ kg P	16.300 kr/ kg P 1.330 kr/ kg P

Kompakte fosforfiltre (Heckrath G. J. et al 2025)

Beregninger for de to forskellige scenarier viser, at omkostningseffektiviteten varierer fra omkring 700 til 16.000 kr. pr. kg tilbageholdt P, stærkt afhængig af fosforkoncentrationen i det tilstrømmende vand til filteret. Dette betyder, at filtrenes omkostningseffektivitet er bedst, når der behandles fosforrigt vand – og derfor egner de sig særligt til behandling af vand fra hotspots i bl.a. lavbundsområder. Desuden vil der være økonomiske og driftsmæssige fordele ved større centralt placerede anlæg, sammenlignet med flere små decentrale anlæg. (Heckrath G. J. et al 2025).

Herudover kan der ved fosforfølsomme recipienter være krav om, at selv relativt lave fosforkoncentrationer skal reduceres, og i sådanne tilfælde skal man være opmærksom på, at omkostningen pr. kg tilbageholdt fosfor kan øges markant, idet selv lave fosforkoncentrationer skal reduceres yderligere. (Heckrath G. J. et al 2025).

Hvordan kan fosforfiltre etableres i terræn

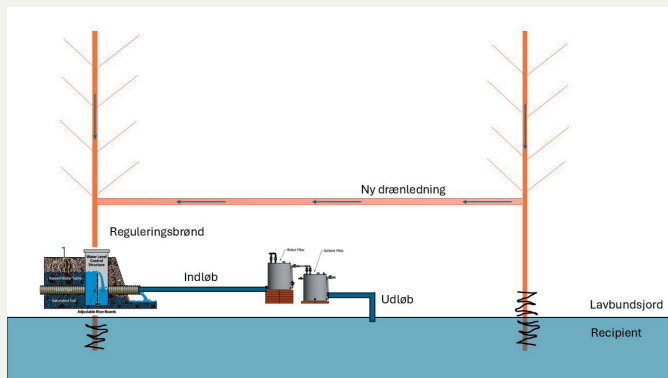
Etablering

På vådlagte lavbundslande kan placering og tilførslen af vand være udfordrende, idet anlægget skal placeres på fast grund. Derfor vil opsamlingen af vand til filtersystemerne altid skulle tilpasses de lokale forhold i relation til denne naturlige hydrologi (Figur 4). Dette kræver enten etablering af opsamlingsbassiner eller nedgravning af opsamlingsledninger på tværs af strømningsretningen, hvorfra der trækkes vand ind til filtersystemet. Hvis der eksisterer et velfungerende drænsystem, kan dette med fordel anvendes til opsamling af vandet i et centralt punkt. Her gives to løsningsforslag afhængigt af de lokale forhold:

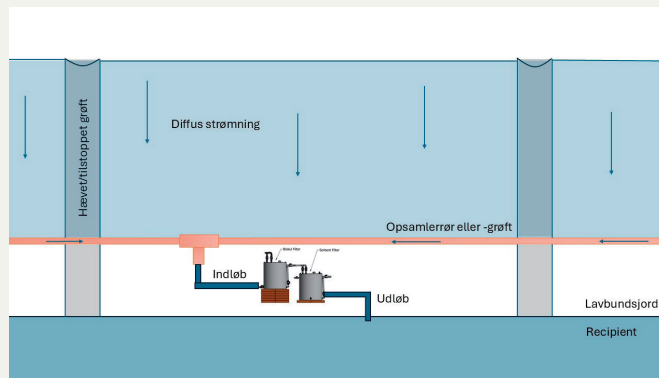
Tilpasning til terræn

Det er muligt at skjule anlæggene bag f.eks. beplantning, inde i fugletårne, grave dem ned mv. (Figur 5). Desuden vil mange anlæg kun skulle stå i terræn i en begrænset periode, indtil fosforudvaskningen er sænket til et forsvarligt niveau. Der er altså ikke tale om etablering af et varigt miljøtiltag.

FAKTA OM FOSFORVIRKEMIDLER



Figur 4a: Placering af filtersystem på et lavbundsareal der eksisterende funktionelt drænsystem. Dræn til recipient afbrydes, og der pumpes vand fra en eksisterende eller ny samlebrønd til filteret. *Kompakte fosforfiltre (Heckrath G. J. et al 2025)*



Figur 4b: Placering af filtersystem på et lavbundsareal, der før var afvandet med grøfter, hvor et opsamlingsrør sørger for at de diffuse strømningsveje samles og vandet derfra ledes til filteret. *(Heckrath G. J. et al 2025)*

Eksempler på hvordan et filteranlæg kan tilpasses terræn:

- Ved siden af en pumpestation eller et opsamlingsbassin
- I enden af hoveddræn sammen med en pumpestation.
- Nedgravet i jorden sammen med en pumpestation
- Nedgravet i jorden ved gode terrænfald
- Dækning af anlægget med hurtigt voksende træer og buske, f.eks. pil.

Vedligeholdelse

Der skal føres løbende tilsyn med filteranlæg både i relation til funktion og løbende effektivitet i fosforfjernelse. Et filtermateriale som DiaPure kan genanvendes, idet den bundne fosfor kan ekstraheres fra filtermaterialet og har potentiale som fosforgødning.

Muligheden for rensning af filterkomponenterne gør det muligt at opsamle det tilbageholdte fosfor og genbruge det. Rensningen gør det også muligt at genbruge filterkomponenterne i mange år og på flere lokaliteter, idet filtersystemerne kan flyttes fra et sted til et andet. Ud over rensning af filterkomponenter når de bliver mættet med fosfor og sediment, vil der også være en generel vedligeholdelse af systemet. Dette vil typisk indebære tilsyn af pumper, ventiler, rør og strømtilførsel samt evt. påfyldning af filtermaterialer.

Det antages, at vedligeholdelsesfrekvensen vil ligge på omkring én gang årligt, dog vil dette være afhængig af belastningen af både vandføring og stofkoncentrationer. I opstartsperioden forventes det, at vedligeholdelsesfrekvensen kan være højere, grundet uforudsete tekniske udfordringer. På grund af filtersystemernes enkle opbyg-

ning og filterkomponenternes mulighed for at blive rensat og genanvendt, har filtersystemet en estimeret levetid på 20 år.



Figur 5: Kompakte fosforfiltre kunne placeres inde i et fugletårn eller lignende. Hvis der sættes sider på tårnet, vil filteret ikke være synligt i terræn. *Illustration: SEGES Innovation*

FAKTA OM FOSFORVIRKEMIDLER

Referencer

Andersen, H. E. & Heckrath, G. (redaktører). 2020. Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 338 s. - Videnskabelig rapport nr. 397. <http://dce2.au.dk/pub/SR397.pdf>

Andersen, H.E., Baatrup-Pedersen, A., Blicher-Mathiesen, G., Christensen, J.P., Heckrath, G., Nordemann Jensen, P. (red.), Vinther, F.P., 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, 86 s. - Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 77. <http://dce2.au.dk/pub/TR77.pdf>

Andersen, H. E., Rubæk G.H., Hasler, B.E., Jacobsen, B.H. Virkemidler til reduktion af Fosforbelastningen af Vandmiljøet. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 379 2020. <https://dce2.au.dk/pub/SR379.pdf>

Blicher-Mathiesen, G., Thorsen, M., Houlborg, T., Petersen, R.J., Rolighed, J., Andersen, H.E., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2023. Landovervågningsoplände 2021. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt center for Miljø og Energi, 284 s. - Videnskabelig rapport nr. 526. <http://dce2.au.dk/pub/SR526.pdf>

Bøgestrand, J. (red.) (2000). Vandområder – Vandløb og kilder 1999. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 336.

Diapure www.diapure.eu

FosLav. Kompakte filterløsninger til minimering af fosfortab til vandmiljøet. <https://projekter.au.dk/foslav>

Grant, R., Laubel, A. & Kronvang, B. (1997). Nedvaskning af fosfor til dræn. Vand og Jord 4, 169-172.

Heckrath G.J AU-Agro, Bruun Hansen H.C KU-PLEN, Hoffman C.C AU-Bios mfl. 2025. Kompakte fosforfiltre.

Hoffmann CC, Kronvang B, Andersen HE, Kjærgaard C. 2013. Kvantificering af fosfortab fra N og P vådområder, Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. pp. 42. https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Kvantificering_af_fosfortab_fra_N_og_P_vaadomraader_rev_26062014_final.pdf

Johansson, L.S., Søndergaard, M. & Sørensen, P.B. (2024). Søer 2022. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 96 s. - Videnskabelig rapport nr. 591. https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_500-599/SR591.pdf

Kjærgaard, C., Hoffmann, C.C. og Greve, M.H. 2009. Risikovurdering af fosfortab fra lavbundslande. Vand og Jord nr. 2, pp 62-65

Krishnankutty, V., Vijayan, K., Valsalan, R., Francis, M. C., Johnson, S. M., & Mathew, D. (2025). Metagenomic analysis of rice rhizosphere in a uniquely fertile Kole wetland reveals the microbiome contributing to enhanced nutrient availability. Ecological Genetics and Genomics, 100353.



SCAN OG LÆS MERE OM:

FosLav. Kompakte filtersystemer for fosfor i drænvand fra høj- og lavbundsjord



SCAN OG LÆS MERE OM:

Er fosforfilter et muligt fremtidigt drænvirkemiddel?



SCAN OG SE VIDEO OM:

FosLav – Kompakte filtersystemer for fosfor i drænvand fra høj- og lavbundsjord



SCAN OG LÆS MERE OM:

Nyt GUDP-projekt vil fjerne fosfor fra lavbundslanden