

Faktaark om fosforfiltersystemer	Ansvarlig	MAMD
	Oprettet	20-12-2023
	Side	1 af 8
Projekt: 8643, Kompakte filtersystemer for fosfor i drænvand fra høj- og lavbundsjord - FosLav		

Fosforfiltre – Hvorfor?

I FosLav projektet ønsker man at videreudvikle og demonstrere fosforfilterløsninger, som kan fange store dele af den fosfor (P), som frigives fra både vådlagte lavbundslande og drænedede højbundslande. Dette afprøves ved at etablere fuldskala filtersystemer med forskellige filtertyper rundt om i Danmark.

Det estimeres, at godt 33% af alle lavbundsprojekter ikke kan gennemføres pga. risiko for P-lækage (1). Derfor udgør risikoen for P-lækage ved vådlægning af lavbundsarealer en betydelig udfordring for indfrielsen af Dansk landbrugs klimamål på 7,4 mio. tons CO₂e, idet de kulstofrige lavbundsarealer udleder godt 3,96 mio. ton CO₂e pr. år (2). Derved udleder de opdyrkede kulstofrige lavbundsarealer, hvad der ca. svarer til 50% af den samlede reduktionsmålsætning for landbruget. Udvikling og afprøvning af filtersystemer målrettet lavbundsarealer har derfor stort fokus i FosLav projektet.

Hidtil har man i Danmark primært haft fokus på at mindske kvælstofudledningen fra dræn. Dette fokus afspejler sig ligeledes i støtteordningerne målrettet drænvirkemidler, idet det endnu ikke er muligt at søge tilsagn til etableringen af et P-drænvirkemiddel. Uagtet har flere danske undersøgelser dog vist, at der i 10-20% af drænudløbene er en transport af opløselig P på over, 0,1 mg/l (3,4), hvilket svarer til den totale P koncentration i mange danske vandløb beliggende nær landbrugsarealer (3,4). Disse høje værdier er særligt bekymrende i de tilfælde, hvor der nedstrøms drænsystemet befinder sig målsatte søer, da P ofte er den begrænsende faktor for algeudviklingen i søer (5).

Det er således nødvendigt at finde højeffektive P-virkemidler, som kan bistå med opfyldelsen af klimamålene såvel som beskyttelsen af vandmiljøet. Tidligere resultater fra pilotforsøg med P-filtre i Danmark har indikeret en gennemsnitlig årlig P-fjernelse på ca. 60% (6). Denne høje gennemsnitlige effekt betyder derfor, at P-filtre potentielt kan være en del af løsningen i forhold til at indfri klimamålene og beskytte vandmiljøet.

Filtertechnologierne

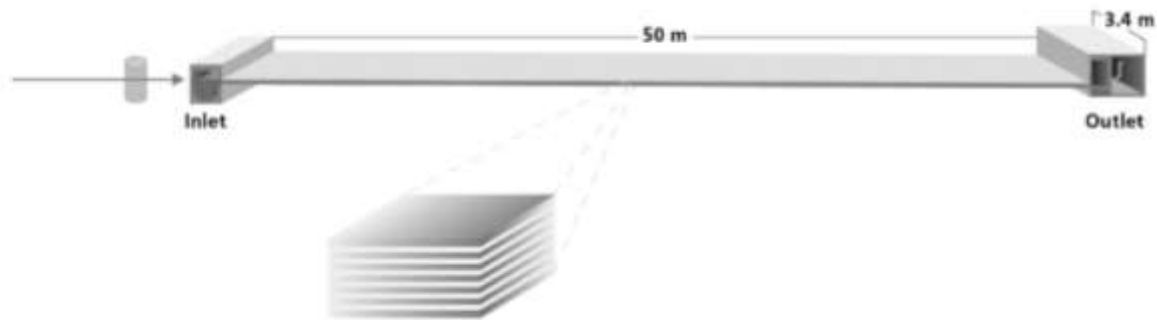
Filtersystemerne som indgår i FosLav projektet, består udelukkende af allerede kendte og anvendte teknologier. Disse teknologier er således dobbeltporøse filtre (DPF) fra WaterCare Aps, elektroflokkuleringsenheder fra Bio-Aqua A/S, sorbent filtre fra DiaPure AB og biokulfiltre.

Dobbeltporøse filtre

DPF er en teknologi, som er udviklet ved Københavns Universitet og tiltænkt som et virkemiddel til at rense regnvand i byer. Teknologien er patenteret, og WaterCare Aps har købt retten til teknologien (7), som i dag anvendes til at rense overfladevand fra et 30 ha stort opland i Ørestaden (8).

DPF-filtrene er inspireret af jordens egen renseevne og efterligner de naturlige renseprocesser, som indtræffer, når vand filtreres ned igennem en porøs morænelersjord. Filteret er designet til at håndtere urenheder og partikler i størrelsesordenen 1-2 µm og op til 100 µm. DPF-processerne omfatter derfor sedimentation af partikler samt adsorption og biodegradering af urenheder i det vand, som ledes igennem filteret (9). I en almindelig morænelersjord tager disse processer lang tid grundet en lille kontakt mellem

vand og jord, da processen forløber vertikalt, men processerne indtræffer hurtigere i DPF, idet vandet ledes horisontalt igennem filtermembranen. Filteret består af todelte filtermembraner, som stables oven på hinanden (figur 1). Den øvre filtermembran i hvert lag er designet til at efterligne gennemstrømningen i mikroporer i lerjorder, mens den nedre del af filtermembranen er designet med høj hydraulisk modstand, som efterligner lerjordernes egenskaber. Den nedre filtermembran består af calcit (CaCO_3), som kan fange de uønskede urenheder i vandet, som fordeles over materialet via den øvre membran. På denne måde kan urenheder fanges i den nedre filtermembran, så den øvre filtermembran ikke stopper til og kan opretholde en høj vandledningsevne (9).



Figur 1: Principskitse af dobbeltporøst filtreringssystem. Skitsen viser, hvordan filteret er opbygget af flere lag af filtermembraner, som stables for at opnå den ønskede effekt (9).

Ønsker du at høre mere om DPF, så se med her: [Dual Porosity Filtration - Københavns Universitets Videportal \(ku.dk\)](https://www.ku.dk/videnscenter-for-dual-porosity-filtration/)

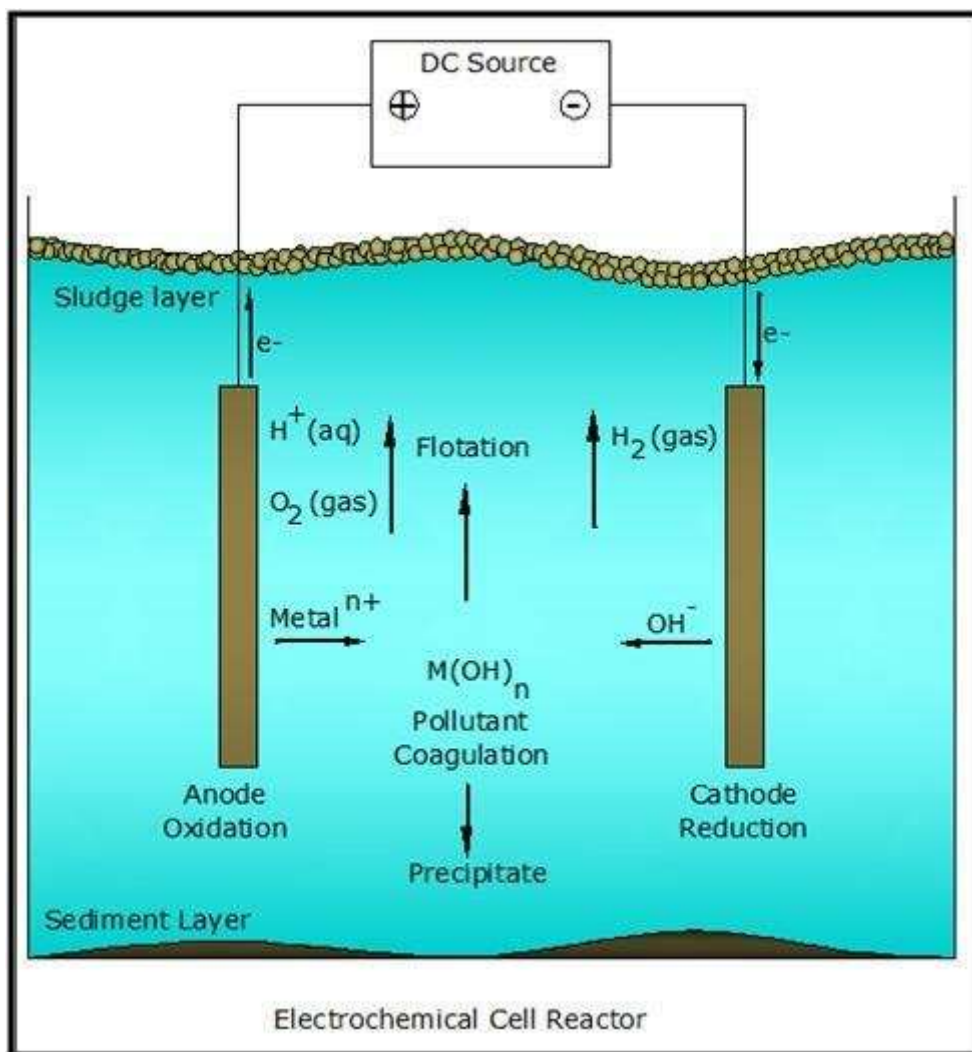
Testresultater fra forsøg med DPF har vist, at koncentration af suspenderet stof (SS) og en række uønskede stoffer heriblandt P kan nedbringes markant. F.eks. er koncentrationen af SS blevet nedbragt fra 123 mg SS/l i indløbsvandet til 10,4 mg SS/l og 1,4 mg SS/l afhængig af, hvorvidt der anvendes 6 eller 18 lag af filtermembraner. Ligeledes har det vist sig, at P i indløbsvandet kunne nedbringes fra 178 $\mu\text{g/l}$ til henholdsvis 47,7 $\mu\text{m/l}$ og 38 $\mu\text{g/l}$ (10).

Andre fordele ved DPF-filtrering inkluderer, at teknologien ikke kræver tilsættelse af kemikalier, ikke støjer, medfører ingen lugtgener, og kræver ingen strøm (9). Processen forløber alene ved at anvende gravitation. Dette betyder dog, at der skal opnås et fald på minimum 10‰ fra indløbet til udløbet af filteret. Der kan derfor være behov for at pumpe vandet op til filterindløbet (11).

Ligeledes viser hidtidige erfaringer med DPF-filtrene, at vedligeholdelsesaktiviteterne ofte kan minimeres til, at filtrene renses 1-2 gange årligt. Rensningen af filteret foregår ved, at det spules med en slamsuger fra terræn. Det forventes, at sorbenten (calcit) skal udskiftes hver 5-20 år alt efter, hvor forurenset indløbsvandet er (7).

Elektrokoagulering

Elektrokoagulering er en metode til at fjerne uønskede stoffer fra spildevand ved at udnytte, at elasticitet kan anvendes til at udbytte ioner i væske (12). Ved elektrokoagulering nedsænkes to elektroder med strøm, en katode (negativ ladet) og en anode (positivt ladet) i vandet. Dette medfører, at de positivt ladede ioner bevæger sig mod katoden, hvor de reduceres, samtidig med at de negativt ladede ioner bevæger sig mod anoden, hvor de oxideres. Elektroderne, som anvendes ved elektrokoagulering, består ofte af aluminium (Al) jernplade (kilde). Når de negativt ladede ioner fra vandet oxideres, frigiver de positivt ladede metalioner (M^{n+}) fra anoden, mens der samtidig frigives negativladede hydroxidioner (OH^-) fra katoden se figur 2.



Figur 2: Principskitse af den elektrokemiske reaktion, som forløber under elektrokoagulering (13).

I det tilfælde hvor anoden og katoden består af jern (Fe), frigives der jern (III) (Fe^{3+}) fra anoden. De opløste ioner (Fe^{3+} og OH^-) vil herefter reagere med hinanden og danne jernhydroxid ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), som kan binde P og andre stoffer (14). Når urenheder såsom f.eks. P i indløbsvandet reagerer med jernhydroxiden, bindes de i molekyler med en fast form og vil enten bundfælde naturligt eller blive transporteret op til overfladen som skum via de gasser som frigives i forbindelse med ionudbytningen ved elektroderne (se figur 2).

Elektrokoagulering består altså af 3 processer, hvoraf den første er en elektrokemisk reaktion, som involverer ionudbytningen ved elektroderne, herefter følger koagulering, hvor de nye kombinationer af molekyler naturligt bundfælder, eller flokkulering hvor disse molekyler føres op til vandoverfladen af de frigivne gasser (12).

Diapure sorbent filter

Diapures filtermateriale er udviklet til tilbageholdelse af opløseligt P. Det består af små lergranulater (2-4 mm), som er blevet overfladebehandlet med en reaktiv opløsning. Materialet fungerer ved, at fosforen sætter sig på overfladen af lerpartiklerne, herefter kan P bevæge sig ind i materialet, hvor det kan blive bundet i porerne. Netop det, at P kan trænge ind i porerne, betyder også, at DiaPure har en høj P-kapacitet, idet P kan bindes udenpå såvel som inden i materialet (15).

En af fordelene ved DiaPure filtermateriale er, at det er muligt at udvinde den P, som bliver bundet i materialet. For mere viden om mulighederne for at genanvende P fra Diapures filtermateriale se her:

<https://youtu.be/5E4lxqbBROQ>

Feltlokationerne

Der indgår tre feltlokationer i FosLav projektet. De to lokationer Vejrumbro og Løvenborg (figur 3) er begge eksempler på lavbundsarealer, mens filteret ved Fensholt (figur 3) modtager vand direkte fra drænet højbund.



Figur 3: Oversigtskort over Danmark som viser placeringen af de tre feltlokationer, som indgår i FosLav projektet.

De tre feltlokationer har forskellige karakteristika. Disse forskellige lokale forhold har været vigtige at få kortlagt inden etableringen af filtrene, da de har vist sig at have en betydelig indflydelse på udformningen af de 3 filtersystemer.

Vejrumbro er kendetegnet ved at være lavbundsjord, hvor koncentrationen af TP i indløbsvandet varierer meget. Dog er TP koncentrationen ofte over 0,5 mg/l. Indløbsvandet indeholder en stor mængde af TDP og DOC.

Fensholt-lokationen modtager drænvand fra en drænet højbunds jord, og belastningen kommer i peaks i forbindelse med dræntransporten. Koncentrationen af TP i indløbsvandet varierer en del (0,05-0,6 mg TP/L) men P-fractionen består som oftest af TPP. Der er på den lokation ikke identificeret nogen udfordringer med DOC i indløbsvandet.

Løvenborg feltforsøg er anlagt på en lavbunds jord, hvor der er målt en indløbskoncentration for TP på 0,46 mg P/l. Den største fraktion af fosforen er opløst fosfor, som udgør 0,42 mg TDP/l. Lige som ved Vejrumbro er der målt høje DOC koncentrationer i indløbsvandet.

Filtersystemerne

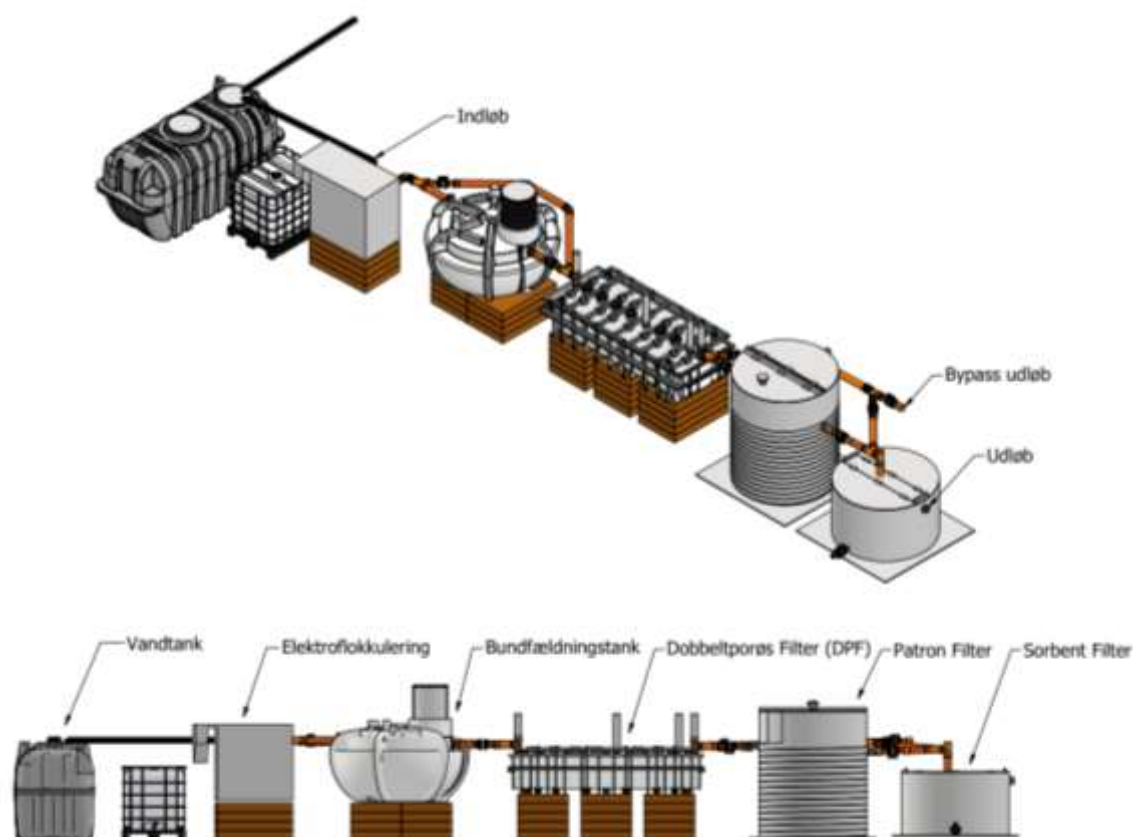
På baggrund af de ovenstående karakteristika for hver af de tre lokationer er der blevet designet forskellige typer af P-filtre. Disse gennemgås i følgende afsnit.

Filtersystem - Vejrumbro

Ved Vejrumbro ledes vand fra dræningskanalen i lavbundsområdet til et nyetableret opsamlingsbassin. Dette vand pumpes herefter op til filteret, hvor vandet ledes ind i systemets første modul, som er en vandtank (figur 4).

Opstartsprøver fra Vejrumbro har vist, at fosforbelastningen er næsten ligelig fordelt mellem opløselig P og partikel P. Desuden blev der også fundet en høj koncentration af opløseligt organisk carbon (DOC). Den høje koncentration af både partikulært P, men særligt DOC har haft stor betydning for den endelige udformning af filtersystemet, idet DOC potentielt vil kunne opbruge sorbent filters kapacitet, så det ikke binder P.

For at mindske belastningen af P og særligt DOC på sorbent filteret er der indsat en elektroflokuleringsenhed fra BioAqua A/S forrest i filtersystemet (figur 4). Det er således tanken, at DOC og P fra indløbsvandet vil reagere med jernhydroxider i elektrokoaguleringsenheden, så de bindes i molekyler med en fast form. Herefter vil de enten bundfælde i elektroflokuleringstanken, bundfældningstanken eller blive filtreret fra i DPF enheden (se figur 2).



Figur 4: Konceptskitse af filtersystemet som er opsat ved feltlokationen Vejrumbro. Skitsen viser de forskellige filterkomponenter og rækkefølgen af disse. Figuren er udarbejdet af WaterCare Aps.

DPF filtret ved Vejrumbro anvendes efterfølgende til at sikre en signifikant effekt af sedimentation i systemet, idet filteret har en forhøjet sedimentationseffekt. Dette betyder, at partikler hurtigere bundfældes og der derved kan filtrere mange flere partikler fra ved højt flow. Ligeledes gør den forøgede sedimentations effekt også, at meget små partikler vil blive filtreret fra ved højt flow sammenlignet med en standard bundfældningstank og total opholdstid.

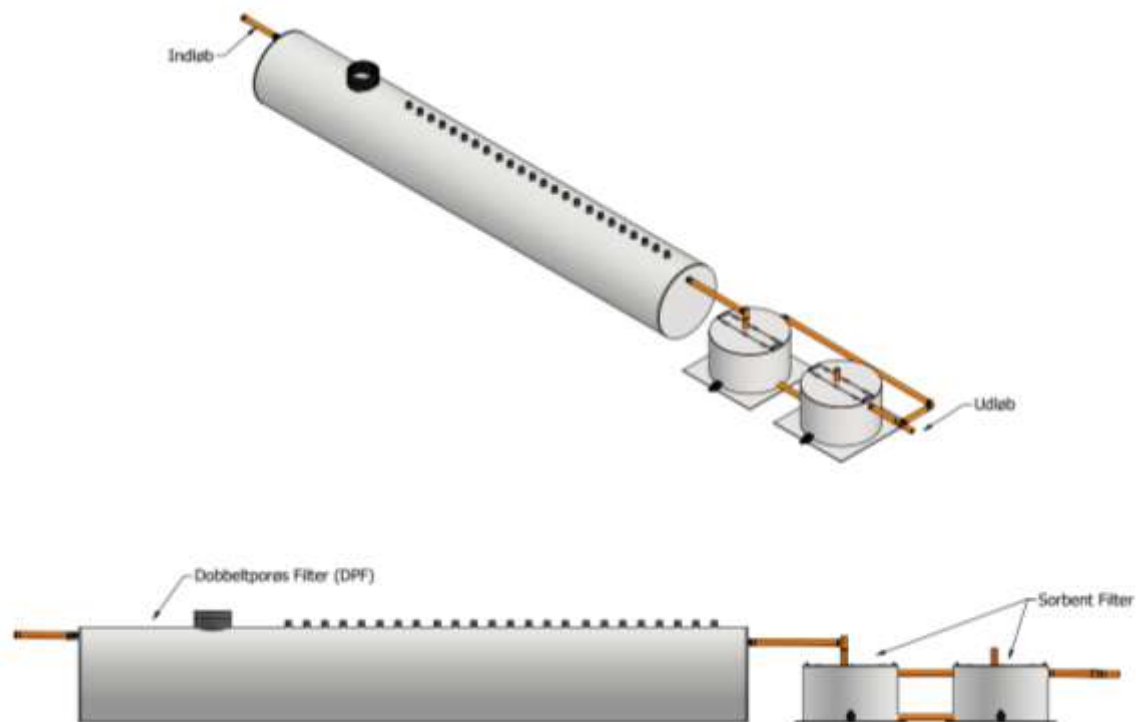
Efter DPF-filteret følger et patronfilter (Figur 4). Patronfilteret er en backup-løsning, og umiddelbart forventes dette filter ikke anvendt. Patronfilteret er særligt egnet til tilbageholdelsen af meget små partikler, idet maskerne i filtermaterialet varierer imellem 1-5 μ m. Hvis det viser sig, at en stor del af fosforpartiklerne er for små til at blive tilbageholdt via elektroflokkulering og DPF-filteret, da vil patronfilteret kunne tages i brug for at aflaste partikelbelastningen af sorbent filteret.

Den sidste komponent i filteret ved Vejrumbro er sorbent filteret, som fyldes med filtermateriale fra DiaPure. Hvor de første filterkomponenter i høj grad havde fokus på at mindske transporten af partikulært P, så er sorbent filteret tiltænkt til at mindske udledningen af opløselig P ved adsorption.

Filtersystem - Fensholt

Tidligere forsøg med P-filtre ved Fensholt lokationen har vist, at der på denne lokation særligt er en høj andel af partikulært P som transporteres via drænsystemet. For denne lokation udgør DOC ikke den største problemstilling, og det er derfor vurderet, at det ikke er nødvendigt med en elektroflokkuleringsenhed her.

Da der ved Fensholt særligt er fokus på tilbageholdelsen af partikulært P, anvendes der her et langt DPF-filter. Filteret er opbygget af todelte filtermembraner. Vandet løber igennem alle filtermembranerne, inden det ledes videre til det todelte serie sorbent filter, se figur 5. Sorbent filteret er her valgt opdelt i 2 filterenheder for at mindske sandsynligheden for at filteret tilstopper



Figur 5. Konceptskitse af filtersystemet som er opsat ved feltlokationen Fensholt. Skitsen viser de forskellige filterkomponenter og rækkefølgen af disse. Figuren er udarbejdet af WaterCare Aps.

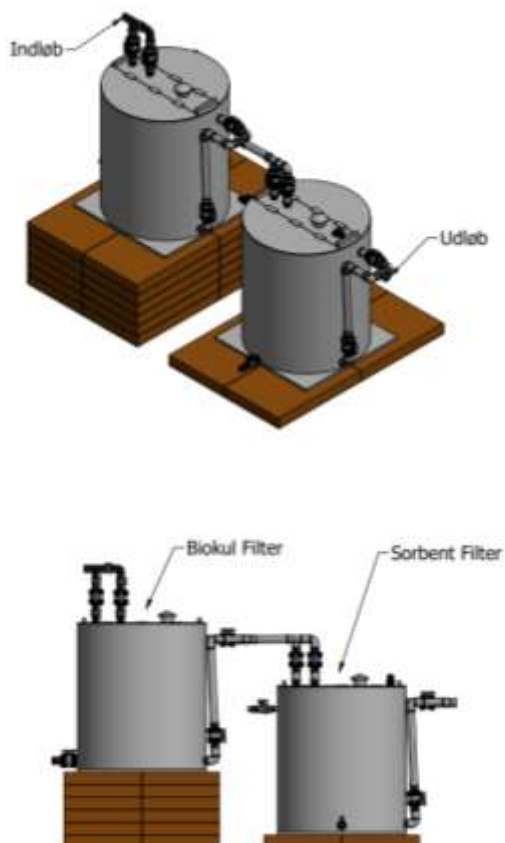
Filtersystem - Løvenborg

Filtersystemet ved Løvenborg er designet for at teste, om det er muligt at opnå gode renseseffekter på lavbundsarealer med mindre komplicerede systemer end det system, som testes ved Vejrumbro.

Filtersystemet er opbygget af to serieforbundne tanke (Figur 6), som begge indeholder aktivt filtermateriale fra Diapure. Det første filter er tiltænkt som et forfilter og har til formål at tilbageholde DOC, mens det

andet filter skal anvendes til at fjerne opløst fosfor i indløbsvandet.

Filtersystemet er dimensioneret til 0,5 l/sek. Det betyder, at filteret kan behandle 43 m³ vand per dag, og at opholdstiden i filteret er 16 min. Det er muligt at behandle mere vand i filteret, men så vil opholdstiden blive mindre end 16 min.



Figur 6: Konceptskitse af filtersystemet som er opsat ved feltlokationen Fensholt. Skitsen viser de forskellige filterkomponenter og rækkefølgen af disse. Figuren er udarbejdet af WaterCare Aps.

Vil du vide mere?

Er du interesseret i at besøge et af FosLavs tre forsøgsfiltre, eller er du interesseret i at høre nærmere om projektets resultater, er du meget velkommen til at kontakte SEGES Innovation.

Du kan her udover også følge projektet på projektets LinkedIn : [\(10\) FosLav - Kompakte filterløsninger til minimering af fosfortab til vandmiljøet: Overview | LinkedIn](#)

Referencer

1. Filsø, S.S, 2019. Erfaringer fra lavbundsordningen -Udtagning af kulstofrige jorde som klimavirke-middel. SEGES Innovation P/S. [Rapport samlet Barrierer og muligheder for realisering af lavbunds-projekter.pdf \(altinget.dk\)](#)
2. Henricksen, L., Kaiser, K., Christensen, M.N., Hyldgaard, B., Wiborg, I.A., Toft, L.V., Hvid, S.K., Holm, M., Tybirk, P., Nielsen, N.I. 2023. Klimavirkemidler til dansk landbrug. 83 sider. SEGES Inno-vation P/S. [Klimavirkemidler til dansk landbrug \(landbrugsinfo.dk\)](#)
3. Andersen H.E., Larsen S.E., Kronvang B., Hansen K.M., Laubel A., Windolf J., Muus K., 2006. Fos-fat i drænvand. Vand & Jord, Vol 4. S. 152-156. [fosfor i drænvand.pdf](#)
4. SEGES, 2013. Drænvandsundersøgelserne 2011-2014. [1 \(landbrugsinfo.dk\)](#)
5. Søndergaard, M. 2007: Nutrient dynamics in lakes – with emphasis on phosphorus, sediment and lake restorations. Doctor's dissertation (DSc). National Environmental Research Institute, University of Aarhus, Denmark. 276 pp. [Nutrient dynamics in lakes - with emphasis on phosphorus, sediment and lake restoration \(dmu.dk\)](#)
6. Pugliese L., Heckrath G., 2022. Test of compact drainage filter system for phosphorus- Annual sta-tus report 2022. Department of Agroecology, Aarhus University. Denmark. 19 pp. [PM 7883 AP3 Status report 2022 P filter system \(1\).pdf](#)
7. WaterCare Aps. 2023. DPF-Dobbeltporøs filtrering. [DPF - Dobbeltporøs filtrering \(watercare.dk\)](#)
8. WaterCare Aps. 2023. Case story-dPF110. [DPF110: Danmarks største rensningsanlæg | WaterCare Filtration \(danaweb1.com\)](#)
9. Jensen, MB, Cederkvist, K, Bjerager, PER & Holm, PE. 2010. Novel technique for treatment of storm water runoff: dual porosity filtration. Results from a Copenhagen pilot plant. in *Proceedings from the Novatech Conference, 2010*. Novatach, Lyon, France, 27/06/2010. [Novel technique for treatment of storm water runoff: Dual Porosity Filtration. Results from a Copen-hagen pilot plant \(hal.science\)](#)
10. Jensen MB, Cederkvist K, Bjerager PE, Holm PE. Dual Porosity Filtration for treatment of stormwater runoff: first proof of concept from Copenhagen pilot plant. *Water Sci Technol*. 2011;64(7):1547-57. doi: 10.2166/wst.2011.186. PMID: 22179655.
11. VAND I BYER. 2009. Dobbeltporøs Filtrering (DPF). [oktober, 2023]. [Dobbeltporøs Filtrering \(DPF\) - Om metoden - LAR i Danmark](#)
12. Sriram Boinpally, Abhinav Kolla, Jyoti Kainthola, Ruthviz Kodali, Jayaprakash Vemuri. A state-of-the-art review of the electrocoagulation technology for wastewater treatment. *Water Cycle*. Volume 4, 2023, Pages 26-36, ISSN 2666-4453, <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2023.01.001>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666445323000016>)
13. Mohammad Y.A. Mollah, Saurabh R. Pathak, Prashanth K. Patil, Madhavi Vayuvegula, Tejas S. Agrawal, Jewel A.G. Gomes, Mehmet Kesmez, David L. Cocke. Treatment of orange II azo-dye by electrocoagulation (EC) technique in a continuous flow cell using sacrificial iron electrodes, *Journal of Hazardous Materials*. Volume 109, Issues 1–3. 2004. Pages 165-171. ISSN 0304-3894. (<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.03.011>). (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389404001657>)
14. Aydeniz D.D, Nazım G. Investigation of electrocoagulation and electrooxidation methods of real tex-tile wastewater treatment. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology. A-Applied Sciences and Engineering*. 20 (1), 2019, pages 80-91. DOI: 10.18038/aubtda.445716 [INVE-STITIGATIONOFELECTROCOAGULATIONANDELECTROOXIDATIONOFRE-ALTEXTILEWASTEWATERTREATMENT.pdf](#)
15. DiaPure. 2023. Filter. [Filter - DiaPure](#)