



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Det holistiske LAR- vejbed MUDP-projekt

MUDP

September 2026

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Sara Egemose

Mona Chor Bjørn

Oliver Bühler

Mathias Just Justesen

Hjalte Calberg Ro-Poulsen

Kai Bester

Simon Toft Ingvertsen

Camilla Aggerlund

Lærke Kit Sangill

Rikke Hansen

Fotos:

Mona Chor Bjørn

Lærke Kit Sangill

Gitte Møller

Kai Bester

ISBN: 978-87-7564-145-1

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet, der støtter udvikling, test og demonstration af miljøteknologi.

MUDP investerer i udvikling af fremtidens miljøteknologi til gavn for klima og miljø i Danmark og globalt, samtidig med at dansk vækst og beskæftigelse styrkes. Programmet understøtter dels den bredere miljødagsorden, herunder rent vand, ren luft og sikker kemi, men understøtter også regeringens målsætninger inden for klima, biodiversitet og cirkulær økonomi.

Det er MUDP's bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen.

MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen
Lerchesgade 35, 5000 Odense J Tlf. +45 72 54 40 00

Mail: ecoinnovation@mst.dk
[MUDP's hjemmeside](#)

Denne slutrapport er godkendt af MUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Summary	6
1. Introduktion	7
2. Conclusion	8
3. Konklusion og perspektivering	10
3.1 Konklusion	10
4. Metoder	12
4.1 Arbejdspakke 1	12
4.1.1 In situ Middelfartvej	13
4.1.2 In situ Kallerupvej	15
4.1.2.1 PAH	15
4.1.3 Hybridbedforsøg hos Byggros	17
4.2 Arbejdspakke 2	18
4.2.1 Biodiversitetsundersøgelser og dokumentation af eksisterende anlæg	18
4.2.2 Plantevækst forsøg i forbedret filterjord	22
4.2.3 Strukturerede undersøgelser og dokumentation af nye LAR-vejbede, Kallerupvej	22
5. Resultater	24
5.1 Arbejdspakke 1	24
5.1.1 In situ Middelfartvej	32
5.1.2 In situ Kallerupvej	40
5.1.2.1 Opsummering	52
5.1.3 PAH	53
5.1.4 Hybridbedforsøg hos Byggros	58
5.2 Arbejdspakke 2	67
5.2.1 Biodiversitetsundersøgelser og dokumentation af eksisterende anlæg	67
5.2.2 Plantevækst forsøg i forbedret filterjord	79
5.2.3 Strukturerede undersøgelser og dokumentation af nye LAR-vejbede, Kallerupvej	81
6. Samspil mellem filterjord og plantevalg – betydning for biodiversitet	85
7. Arbejdspakke 0	90
7.1 Projektledelse og koordinering	90
7.2 Styregruppemøder	91
7.3 Kommunikation	92
7.4 Formidling og rapportering	92
Bilag 1.Vedrørende AP1	94
Bilag 1.1 Notat om kolonneforsøg	94
Bilag 1.2 Rapport om PAH-analyser	94
Bilag 1.3 Notat om opbygning af LAR-anlæg	94

Bilag 2.Vedrørende AP2	94
Bilag 2.1 Notat om plantevækstforsøg	94
Bilag 2.2 Notat om træartsvalg til LAR-vejbede	94
Bilag 2.3 Rapport om biodiversitet og LAR-løsninger	94

Summary

The purpose of this project has been to achieve an improved treatment of surface water runoff in LAR-beds, which have a lower CO₂-footprint, improve biodiversity and green profile in urban areas compared to sewerage systems.

The project has followed a technical and scientific development process to optimize interactions between the retention soil and vegetation composition to ensure the entire system – plants, rhizosphere and retention soil – works optimally and can be documented scientifically.

The involved partners represent the entire value chain with users, manufacturers, consultants and universities. For this project we established a partnership consisting of leading universities and researchers on the topic with expertise in their respective areas, a prominent supplier, and a competent advisory group. It is a complex task, which solution calls for an interdisciplinary setup with expert knowledge of growth medium, remediation technology, wastewater, plant nutrition, plant and vegetation ecology, flora and fauna interactions as well as hydraulics.

The partners have developed new types of growth media, which can meet the following target parameters necessary for commercial success:

- Reach documented treatment efficiency on par with demands for infiltration and discharge to urban-adjacent areas
- Well defined hydraulic properties
- Support plant- and tree growth for lush bed appearance and contribution to biodiversity
- Replicability of the retention soil mixture to guarantee performance on the needed properties
- A lower total cost from LAR-beds compared to sewerage system and treatment in a central treatment plant
- Ensuring that all the target parameters can be described from established norms and testing methods for manufacturers to document

Within the project's run there has been developed a retention soil which can meet above parameters. It is possible to replicate all retention soils from the specified requirements to ensure open market competition to motivate continued development of better and more efficient growth media after the end of this project.

1. Introduktion

Formålet med projektet har været at opnå forbedret rensning af vejvand i LAR-vejbede, der i sammenligning med rørløsninger, har et lavere CO₂-aftryk, forbedrer forholdene for biodiversiteten og bidrager til grøn profil i byområder.

Projektet har været igennem en teknisk orienteret og på samme tid videnskabelig udviklingsproces med henblik på at optimere samspillet mellem filterjordblandinger og beplantningssammensætning, således at planterne, rodzonen og filtermaterialet som helhed fungerer optimalt og kan dokumenteres videnskabeligt.

De involverede partnere repræsenterer hele værdikæden fra bruger, producent, rådgiver og universiteter. Vi sammensatte til projektet et innovationspartnerskab af de fremmeste universiteter og forskere på området med ekspertviden inden for deres respektive områder, sammen med en markant leverandør, erfaren rådgiver og en fagligt stærk følgegruppe. Feltet er komplekst og kræver derfor et tværfagligt setup for at kunne løse opgaven, da den kræver ekspertviden inden for vækstmedier, renseteknologier, spildevand, planteernæring, plante- og vegetations økologi, flora-fauna interaktion og hydraulik.

Samarbejdspartnerne har udviklet nye typer vækstmedier, der kan leve op til følgende målsætninger, som er essentielle for kommerciel succes:

- Opnå dokumenteret renseseffekt på niveau med stillede krav til nedsivning og udledning til bynære recipienter
- Veldefinerede hydrauliske egenskaber
- Understøtte plante- og trævækst, således at vejbede kan fremstå frodige og bidrage til biodiversitet
- At jordblandingerne kan replikeres til enhver tid med sikkerhed for at egenskaberne er til stede
- At de samlede omkostninger ved anvendelse af LAR-vejbede er billigere end anvendelse af rørføring og rensning på centralt renseanlæg som det gøres i dag
- At alle egenskaberne til vækstmediet kan beskrives ud fra kendte normer og testmetoder og derfor åbner for at producenter kan dokumentere disse

Der er indenfor projektets levetid skabt en filterjord, som kan opfylde ovenstående. Det er muligt for alle at replikere vækstmediene ud fra opstillede krav til egenskaber, og dermed sikre åben konkurrence mellem producenter, således at udvikling af endnu bedre og mere effektive vækstmedier fortsætter efter projektets afslutning.

2. Conclusion

Based on SDU's work in development of retention soils and in situ monitoring of Middelfartvej and Kallerupvej the following recommendations and conclusions can be drawn:

- The retention soil should be designed based on the purpose and treatment requirement (infiltration or discharge)
- When mixing retention soils it is crucial to be aware of unwanted desorption of e.g. phosphorus from use of e.g. organic fertilizer
- It is possible to mix retention soils with natural and local soil- and adsorption components for a more sustainable choice
- Design for optimal treatment does not necessarily match design for optimal plant growth – it is necessary to pick and choose
- Retention soils can treat both suspended solids, phosphorus, zinc and copper from rainwater runoff compared to the starting concentration
- Despite efficient treatment, it is not always possible to meet environmental quality criteria when discharging to a recipient – as is the case for many other treatment solutions
- It is recommended to monitor the efficiency of a number of LAR-beds over a longer period of time (>1 year) to see long term perspectives
- Aarhus University's study of PAH-removal shows dissolved PAH in filter columns of 80-100 %. If starting concentrations sit at around 1 µg/L, concentrations of 0,1-0,01 µg/L can be achieved. During steady operation, >540 EBV (1m³ filter) the tested retention soils can handle significantly more than 540 m³ of water

As manufacturers of retention soil, Byggros does as of now not see a business case. The project has studied multiple challenges concerning retention soil but there are still too many unknowns for a manufacturer to be able to take responsibility for the treatment properties of said soil. There are multiple reasons why Byggros cannot develop a retention soil that with certainty can live up to BAT. The tested soils have only been manufactured once, and it has not been tested if they can be recreated and show the same results. The hydraulic properties have not been tested and so it is impossible to say whether they live up to requirements. To ensure that the soil will perform well under more dynamic conditions and throughout the entire service life, more work and studies are needed.

The University of Copenhagen's work in the project included in situ monitoring of existing LAR-beds and a new bed on Kallerupvej as well as having carried out controlled Vegetation growth experiments.

Vegetation choice for LAR-beds should consider the physical conditions: light, moisture, nutrients and pH. The abiotic factors are crucial for an efficient and resilient vegetation community. *The Ellenberg indicator values* (Hill, 1999) can be a useful tool in choosing native species while *Lebensbereich categorization* (Hansen and Stahl, 1981) can be a useful tool in choosing cultivated plants. While both can be used, the native species will support biodiversity better. Results show that plant species associated with dry, lime-rich soil with low nutrient concentrations are suitable for LAR-beds with retention soil.

Lar-beds are colonized by plant species from the retention soils seed bank or through wind-, water-, animal or self-dispersal. Care of the vegetation in LAR-beds should focus on controlling grass cover as well as invasive or competitive plant species.

Across all LAR-beds have been documented a total of 75 **self-established** species. Only a few annual species appear spontaneously, which can indicate that the majority of the self-established species have established themselves through root fragments or secondary succession from the seed bank.

Based on the study, a list of species has been identified as problematic and should be removed due to their growth and dispersal strategy. This includes, aside from invasive species like *Solidago canadensis*, species as *Arrhenatherum elatius*, *Artemisia vulgaris*, *Cichorium intybus*, *Elytrigia repens*, *Equisetum arvense*, *Hordeum murinum*, *Pastinaca sativa*, *Rumex crispus*, *Rumex obtusifolius*, *Tussilago farfara* etc. The balance of grass versus other herbaceous plants is important to upkeep a semi-natural herbal dominated vegetation in LAR-beds.

The University of Copenhagen conducted in situ measurements of the trees in existing LAR-beds on three streets in Odense. The measurements showed that the trees do not reach their growth potential and while the cause has not been uncovered, water accessibility and drought stress are assumed to influence this.

In the future there should be a focus on establishment and -maintenance which includes planting (and plant depth), pruning and watering to improve growth conditions of the trees. There should be a focus on water accessibility both during establishment and onward. There should also be a focus on soil volume, access to water-bearing soil layer and supply of surface runoff. Concerning tree growth, there is still a gap in the knowledge concerning how much water a LAR-bed can handle during interception and evaporation as well as optimal growth media for both water management and tree growth in LAR-beds.

The University of Copenhagen investigated the fauna in LAR-beds on Langelinie, Træøen in Bolbro, Kallerupvej and Hørdumsgade in Odense. The establishment of fauna in a habitat is controlled by e.g. the organism's ability to localize the area and whether the area meets the organism's requirements to live out the entirety or parts of its life cycle.

Whether the organism can localize a LAR-bed in the city center is controlled by the dispersal ability combined with the distance it needs to travel as well as the size of the bed. The surrounding landscape is of great importance as it determines the local fauna – and as a result, which species most likely to localize the beds.

Despite the LAR-beds' small size, urban context and age, studies show that they, with the right plant choices, can attract a great diversity of arthropods. They contribute with resources to local populations of generalist mobile species as well as support specialized species, which are dependent on specific plant- and environmental conditions to carry out their life cycle.

3. Konklusion og perspektivering

3.1 Konklusion

På baggrund af SDU's arbejde i dette projekt med udviklingen af filterjordene og in situ monitoreringen på Middelfartvej og Kallerupvej kan denne del af projektets resultater sammenfattes til følgende anbefalinger/konklusioner:

- Filterjorden skal designes efter bedets anvendelsesformål samt rensesbehov (nedsivning eller udledning)
- Ved blanding af filterjorde er det vigtigt at være opmærksom på uønsket desorption af f.eks. fosfor fra f.eks. anvendelse af kompost
- Det er muligt at blande filterjorde med naturlige og lokale jord- og adsorptionskomponenter som derved også er mere bæredygtige
- Filterjorde designet til optimal rensning er ikke nødvendigvis også den bedste jord til plantevækst – så der må træffes valg eller indgås kompromiser
- Filterjorde kan rense afstrømmende regnvand både hvad angår suspenderet stof, fosfor, zink og kobber set i forhold til indløbskoncentrationen
- Til trods for en meget effektiv rensning er det for metallerne ikke altid muligt at overholde miljøkvalitetskravene ved udledning til recipient ligesom tilfældet er for mange andre renseløsninger
- Det anbefales at følge effekten af et antal vejbede over længere tid for at se på langtidsperspektiverne idet langt de fleste vejbede kun er fulgt kortvarigt eller som i dette tilfælde op til 1 år.
- Aarhus Universitets undersøgelse af PAH-fjernelse viser opløst PAH i filterkolonner er højt (80-100%). Hvis start koncentrationen er omkring 1 µg/L (typisk for vejafløb) kan koncentrationer mellem 0,1 og 0,01 µg/L opnås. Under stabil kørsel > 540 bed volumina (EBV) dvs en 1m³ filter kan det forventes at de testede jordtyper kan behandle betydelig mere end 540 m³ vand.

Som producent/leverandør af jorde, ser Byggros ikke en økonomisk case i filterjord. Projektet har belyst og undersøgt en del af problematikkerne omkring filterjord, men der mangler en del mere viden på området til at man som producent vil kunne stå på mål for rensesegenskaberne for en filterjord. Byggros mener ikke at kunne fremstille en filterjord der med sikkerhed kan leve op til BAT af flere grunde. De testede jorde er kun skabt én gang og der er ikke undersøgt om de kan genskabes med samme resultater. Der er ikke testet hydrauliske egenskaber og kan derfor ikke sige om de ligger inden for kravene. Der ligger et større arbejde i at få belyst de nævnte perspektiver og dermed sikre at jordene vil performe under mere dynamiske forhold gennem hele levetiden.

Byggros ser som producent det ikke muligt pt., at kunne fremstille jorde hvor Byggros kan stå til ansvar for rensesegenskaberne i forhold til BAT, der samtidig understøtter plantevækst, og dermed ser Byggros ingen økonomisk case.

Københavns Universitets arbejde i dette projekt inkluderer in situ monitorering af VandCenter Syd's eksisterende LAR-vejbede, nyt anlæg på Kallerupvej med projektudviklet filterjord samt kontrollerede plantevækst forsøg.

Plantevalget til LAR-vejbede bør altid tage udgangspunkt i de stedlige forhold det vil sige lys, fugt, næringsstof og pH. Disse abiotiske faktorer vil være helt afgørende for at vegetationen i LAR-vejbedet bliver et velfungerende plantesamfund der er modstandsdygtigt over for de

mange faktorer der påvirker et LAR-vejbed fx ekstrem tørkestress, midlertidige vandmættede forhold, ophobning af tungmetaller mm. *Ellenberg indikator værdier* (Hill, 1999) kan anvendes som redskab til udvælgelsen af hjemmehørende arter mens *Lebensbereich* kategoriseringen (Hansen og Stahl, 1981) kan anvendes til udvælgelse af kulturplanter. Både hjemmehørende arter og kulturplanter kan anvendes. Dog vil brugen af hjemmehørende arter i langt større grad understøtte biologisk mangfoldighed. Resultaterne viser, at plantearter der associeres med tør kalkholdig jordbund med lavt næringsstof indhold, er velegnede til LAR-vejbede med filterjord.

LAR-vejbede koloniseres af plantearter fra filterjordens frøbank eller gennem vind-, vand- eller dyre- eller selv spredning. Plejen af vegetationen i LAR-vejbede bør have fokus på kontrol af dækningsgraden af græs samt invasive eller konkurrencestærke plantearter. I alt er der dokumenteret 75 spontant forekommende arter på tværs af alle LAR-vejbede. Overraskende er det kun få enårige arter der optræder spontant, hvilket kunne tyde på at den artsrigdom af de spontant forekommende arter hovedsageligt har etableret sig via rodstykker eller fra frøbanken (sekundær succession). På baggrund af undersøgelserne er en række plantearter blevet identificeret som særligt problematiske arter der bør fjernes løbende i LAR-vejbede på grund af deres vækst og spredningsstrategi. Dette inkluderer udover invasive arter som *Solidago canadensis* blandt andet *Arrhenatherum elatius*, *Artemisia vulgaris*, *Cichorium intybus*, *Elytrigia repens*, *Equisetum arvense*, *Hordeum murinum*, *Pastinaca sativa*, *Rumex crispus*, *Rumex obtusifolius*, *Tussilago farfara* m.fl. Kontrol af græs er en af de driftsopgaver der er tilknyttet LAR-vejbedene. Balancen mellem andelen af græs versus andre urteagtige plantearter er afgørende hvis man ønsker at opretholde seminaturlig urtedomineret vegetation i LAR-vejbede.

KU foretog in situ målinger af træerne i eksisterende LAR-vejbede på tre gader i Odense. Undersøgelserne viser at træerne ikke når deres vækstpotentiale. Årsagen er ikke afdækket, men vandforsyning og tørkestress antages at spille en rolle. Fremad rettet skal der fokuseres på både etablering og etableringspleje hvilket omfatter plantning, etableringsbeskæring, plantedybde, vanding (fast vandingsregi med vandingsposer) for at forbedre træernes vækstbetingelser. Særlig bør der være mere fokus på vandforsyning både under etablering, men også efterfølgende. Yderligere, volumen af tilgængelig jord eller vækstmedie, adgang til vandførende jordlag og tilførsel af overfladevand. Der mangler fortsat viden om hvor meget vand et træ i et LAR-vejbed kan håndtere ved interception og fordampning samt viden om det bedste vækstmedie til både vandhåndtering og trævækst i LAR-vejbede.

KU undersøgte fauna tilknyttet LAR-vejbede på Langelinie, Træøen i Bolbro, Kallerupvej og Hørdumsgade i Odense. Etableringen af dyr i et givent habitat er styret af flere faktorer, især organismens evne til at lokalisere området og dernæst om arealet opfylder organismens krav til at gennemføre hele, eller dele af sin livscyklus. Hvorvidt en organisme kan finde frem til et LAR-bed inde midt i byen, er primært styret af organismens spredningsevner kombineret med afstanden den skal sprede sig og størrelsen på bedet. Det omkringliggende landskab har derfor stor betydning, da det former den lokale artspulje og dermed, hvilke arter, der oftest lokaliserer bedene. Trods LAR-bedenes lille størrelse, urbane kontekst og unge alder, viser undersøgelserne at LAR-vejbede med det rigtige plantevalg, hurtigt kan tiltrække en stor mangfoldighed af leddyr. De kan bidrage med ressourcer til lokale populationer af generalistiske mobile arter, men også understøtte specialiserede arter, som er afhængige af bestemte planter eller miljøforhold til gennemførsel af deres livscyklus.

4. Metoder

4.1 Arbejdspakke 1

Undersøgelser forud for projektet

Som optakt til det holistiske LAR-vejbedsprojekt og i projektets startfase arbejdede tre specialestuderende og en bachelorstuderende på SDU med forskellige aspekter af rensning med filterjord i vejbede.

Et speciale undersøgte forskellige typer konstruerede filterjorde og naturlige muldjordes evne til at adsorbere og desorbere fosfor (P), kobber (Cu) og zink (Zn). Der blev testet fire forskellige typer kommercielle filterjorde (Dansand (DS), Solum (SL), FilterVext 1 (FV1) og FilterVext 2 (FV2)), tre forskellige slags muldjorde af forskellig organisk indhold (muldjord < 6% organisk indhold (MJ6), muldjord 6-12% organisk indhold (MJ9) og muldjord > 12% organisk indhold (MJ12)) og to additiver, jernslam (JS) og biokul (BK). Filtersand (FS) viste sig at være en god primær komponent med god renseeffekt og minimal udvaskning.

Forsøgene viste, at bl.a. komponenterne biokul (BK) og jernslam (JS) var effektive til at adsorbere både fosfor, zink og kobber. Generelt blev kobber og zink adsorberet af alle typer ligesom også nogle af de konstruerede jorde viste god adsorption.

Et andet studie undersøgte udbredelsen og effektiviteten af vejbede i Danmark. Resultaterne viste, at vejbede er et voksende koncept, men stadig meget på forsøgsbasis og både design og brugen af filterjord varierer meget. Flere steder i byerne dukker vejbede op, som renser ved hjælp af specielt designet filterjord.

Et tredje projekt undersøgte renseeffektiviteten af fire typer filterjord og fandt, at den jordtype der afveg mest fra de anbefalede opskrifter, havde den ringeste tilbageholdelse af fosfor og metaller. Laboratorieforsøg viste, at der er behov for mere viden om filterjordens udvikling og effektivitet over tid.

Håndtering af afstrømmende regnvand kræver nye metoder på grund af stigende regnmængder og behov for rensning. Et nyt design er regnbede med filterjord som kan håndtere vandet ved kilden, magasinere og fordampe vand, infiltrere eller rense og derefter udlede vandet og dermed reducere risikoen for forurening. Undersøgelser af ti vejgrøfter viste, at nyere grøfter var mindre forurenede, og at forureningen afhang mere af beliggenheden end af trafikbelastningen. Undersøgelserne viste at den mest signifikante korrelation mellem jordparametrene og aldersfordelingen af grøfterne, var at organisk materiale og metalindholdet (Cu, Pb and Zn) steg med alderen, men var under standardgrænserne for jordforurening, Derudover faldt indholdet af adsorbenterne (Ca, Fe and Al) med alderen. Konklusionen var at der er behov for yderligere undersøgelser for at afgøre, om den lave forurening skyldes perkolation og udvaskning eller lavt indhold i afstrømningsvandet.

Udvikling af filterjorde

Formålet med projektet var bl.a. at undersøge om det var muligt også at konstruere filterjorde med tilstrækkelig rensegrad og de ønskede egenskaber ud fra naturlige og lokale komponenter. Det er ikke nødvendigvis den samme filterjord som er den bedst egnede alle steder alene pga. af at nogle vejbede nedsiver vandet mens andre skal rense vandet i filterjorden og derefter udlede til recipient. Derfor blev der gennemført en række forsøg med jorde og jordkomponenter for at udvikle nye jordtyper bl.a. baseret på lokale jorde.

Metode - laboratorieforsøg på SDU

Den jordudviklende del blev udført i fire trin. I trin 1 blev forskellige jordkomponenter analyseret for en lang række egenskaber for at evaluere deres potentiale som filterjordkomponenter.

I trin 2 blev adsorptionskapaciteten for udvalgte jordkomponenter testet i kolonneeksperimenter på SDU. I trin 3 blev der udviklet nye filterjord-opskrifter baseret på resultaterne fra trin 1 og 2 samt nationale og internationale retningslinjer. Både karakteristika for disse og yderligere to kommercielle filterjorde blev testet.

I trin 4 blev udvalgte jordtyper baseret på de nye opskrifter testet i nye kolonneeksperimenter. De testede parametre i de forskellige trin var densitet, vandindhold, organisk materiale, pH, infiltrationsevne, partikler < 63 µm, næringsstofferne N og P og metallerne Zn, Cu, Fe, Al og As.

De testede jordkomponenter i trin 1 var filtersand med 2 forskellige kornstørrelser, pimpsten, zeolit, kalksten, råjord, engjord, overfladejord fra indvundet havbund, kompost, 3 forskellige sphagnumtyper, 2 biokul-typer og Fe-slam fra et dansk vandværk (Lunde vandværk på Fyn). Analyserne blev udført vha. standard analytiske metoder.

Kolonneforsøget i trin 2 blev udført med filtersand 0,7-1,25 mm, pimpsten 0-10 mm, 20 % kompost i filtersand, lys sphagnum, mørk sphagnum, dansk biokul, svensk biokul og 5 % Fe-slam (som volumen) blandet i overfladen af pimpstenene. Forsøget blev udført i søjler (600 mm høje, 144 mm i diameter) fyldt med 500 mm materiale. Som indløbsvand blev der brugt regnvand opsamlet i et byområde i Odense. Indløbsvandet blev justeret til en slutkoncentration på 400 µg/L P, 1200 µg/L N, 200 µg/L Zn og 50 µg/L Cu. Den faktiske koncentration af alle parametre blev målt ved alle indløbsprøver. Alle kolonner blev tilsat hver 3x1,8 L indløbsvand pr. dag med 2 timer mellem hver vandtilsætning. Udløbet blev opsamlet hver dag (5,4 L), og SS, DOC, P, N, Zn og Cu blev målt på alle ind- og udløbsprøver. I alt blev der tilsat 178 L i hver kolonne. Hvis man antager en regnvandsafstrømning på 400 L/m²/år, hvilket er naturlige forhold i Danmark med et forhold mellem afvandingsområde og filterjordoverflade på 20:1, svarer det til en hydraulisk belastning på 1,4 år.

På baggrund af ovenstående og internationalt og nationalt kendskab til filterjord blev der udviklet 6 nye opskrifter og karakteristika for disse og 2 kommercielle jorde blev analyseret som beskrevet under trin 1.

Effektiviteten af 4 af de udviklede jorde blev testet i endnu et kolonneforsøg i trin 4 udført på opskrifterne kaldet jord 2, jord 2b, jord 3 og jord 3b. Kolonneforsøget blev udført i kolonner med en diameter på 114 mm, 500 mm højde og 200 mm materiale blev tilsat. Indløbsvandet var postevand, der igen blev justeret til en slutkoncentration på 400 µg/L P, 1200 µg/L N, 200 µg/L Zn og 50 µg/L Cu, og de faktiske koncentrationer blev målt på alle prøver. SS, DOC, P, N, Zn og Cu blev målt som beskrevet for kolonneeksperimentet i trin 2. Alle kolonner blev tilsat 100 L i alt fordelt på frekvenser på 4x5L, 4x10L og 2x20L. Der blev taget en udløbsprøve pr. tilsætning (se bilag 1.1).

4.1.1 In situ Middelfartvej

I 2021-2022 blev der målt in-situ på et bed placeret på Middelfartvej (FIGUR 4.1). Bedene i området afleder alle til recipient, hvilket betyder at rensningen af vandet og dermed den resulterende udløbskoncentration er vigtig. Jorden som blev anvendt i bedet, er ikke en af de jorde som blev udviklet i projektet, da jordene i projektet blev udviklet sideløbende med

moniteringen af bedet på Middelfartvej. Formålet med Middelfartvej var at teste måleudstyr og få input til design af de vejbede der skulle etableres på Kallerupvej som forsøgsbede med filterjorden der blev udviklet i projektet. I bedene på Middelfartvej er der anvendt en kommerciel jord fra Byggros.



FIGUR 4.1. Målevejbedet på Middelfartvej i Bolbro, Odense (55,39389° N, 10,34992° Ø).

Metode

Der blev testet på hvor meget filterjorden filtrerede vandet i målevejbedet på Middelfartvej. Filterjorden i målevejbedet består af to jordlag, hvor hvert lag er 50 cm tykt, hvilket giver en samlet dybde på en meter af filtermatricen. Det øverste jordlag består af 75% pimpsten, 15% spagnum og 10% biokul (volumenbaseret). Det nederste jordlag består af 75% pimpsten og 25% faxekalk (volumenbaseret). Der blev taget vandprøver med ISCO-samlere koblet til en flowmåling og/eller niveaumåler, en ved indløb og en ved udløb. Ved indløb blev der taget en prøve hver gang der blev registreret bevægelse i flowkassen. Ved udløbet tog ISCO'en en vandprøve når der blev registreret en vandstand på 20 mm i ledningen i brønden. Der var løbende udfordringer med målingerne af vandmængder igennem bedet, hvilket er årsagen til at resultaterne udelukkende vises som koncentrationer. På vandprøver fra både ind- og udløb blev der målt pH, suspenderet stof, TP, TN, total Zn, total Cu, PAH'er, opløst Zn, opløst Cu, fosfat (DIP), DOC (opløst organisk stof) og farve ved 410 nm. På jordprøver af det øverste jordlag blev der målt vandindhold %, organisk stof %, kornstørrelse (< 63 µm), densitet, TN, TP, Zn, Cu, Fe, Ni, Cr, As og Al.

4.1.2 In situ Kallerupvej

Efter udviklingen af de nye filterjorde var næste step at teste dem in situ i et nyetableret bed.

Som caseområde blev vejbede på Kallerupvej i Odense valgt. Design og konstruktion af vejbedene på Kallerupvej fremgår af bilag 1.3.

Metode

Bedet er placeret i Odense, Danmark (55°22'38.0"N 10°24'14.3"E; Odense). I forsøgsperioden var der en gennemsnitstemperatur på 4,0 °C i januar og 16,3 °C i juli, og en årlig nedbør på 923,5 mm. Otte vejbede blev etableret langs en 0,7 km boligvej som en del af det kommunale regnvandsforsyningsprogram (VandCenter Syd, VCS) til klimatilpasning. Konstruktionen af vejbedene begyndte den 24. oktober 2022, og eksperimentet blev åbnet den 2. december samme år. En testfilterjord (jord 4, der beskrives længere nede) blev fyldt i bedene den 14. november og efter åbningen den 2. december blev et af bedene monitoreret i et år.

Jorden som blev anvendt i bedet, blev udvalgt på baggrund af resultaterne fra udviklingen af filterjordene. Det blev besluttet at holde fast i at bruge en jord baseret på opskrifterne til jord 3a/3b til udplantning i vejbedene på Kallerupvej – nemlig jord 4. Denne jord består af filtersand (72%), muldjord fra indvundet havbund (20%), kalk (5%) og Fe-slam (3%). Det blev besluttet at anvende overjord fra etableringen af projektet Everenden som muldjord. Desværre var man ikke opmærksom på at det ikke er engjord, men indvundet havbund som derfor har nogle helt andre egenskaber, hvilket bl.a. kommer til udtryk i forhold til plantevækst – se afsnittet omkring dette.

Prøvetagning i det nyetablerede bed

Der er taget prøver fra anlæg af bedet fra den 3. december 2022 til den 4. december 2023.

Vandprøverne er bl.a. taget med ISCO-samlere. Prøverne er blevet taget hvert 15. minut, når der har været vand i bedet – i form af afstrømning fra oplandet. Der skulle efter planen tages en udløbsprøve hvert 30. minut, når der blev registreret flow i udløbsbrønden men pga.

problemer med flowsensoren blev der ligeledes udtaget manuelle prøver i brønden. I alt blev der indsamlet 801 prøver fordelt på 630 indløbsprøver samt 171 udløbsprøver.

Vandprøverne udtaget fra vejbedene blev analyseret til undersøgelse af suspenderede stoffer (SS), pH, farve DOC, TP, P, TN, TZ, Z, TCu, Cu, TFe, Fe, TAs og As.

4.1.2.1 PAH

PAH i filterjord kan fjernes via sorption og via bionedbrydning. Hvis mekanismen er sorption, er det forventeligt at jorden bliver mættet på et tidspunkt og må udskiftes. Hyppighed af udskiftning kontrolleres via sorptions ligevægt dvs. fraktil af organisk materiale i jorden. I sammenhæng med LAR-vejbedsprojekt er sorption ikke den ønskede mekanisme eftersom en hyppig udskiftning af filterjorden vil betyde at planterne i bedet går tabt. Der eksisterer dog lignede systemer med en højfraktil af aktivkul som er beregnet til at kunne køre 20 år.

Hvis mekanismen er bionedbrydning, har filterjorden ikke en udskiftningsdato når det gælder renseevne for PAH. Nedbrydning kan køre så længe vandet løber igennem filterjorden. Det eneste problem som kunne opstå er at opholdstid er for lav for at opnå en tilstrækkelig fjernelse af PAH.

Metode

Der blev i projektet arbejdet med filterjord 4's evne til PAH-fjernelse. PAH'erne blev målt efter ekstraktion af 1L vand med hjælp af 10 mL toluen som var tilsat ¹³C markør standarder. Efter faseseparation blev toluen nedfrosset for at fjerne residuet af vand, hvorefter toluen blev

inddampet til 1 mL. Dette ekstrakt blev analyseret med GC-MS med elektron impakt ionisering i selected ion modus.

I projektet blev der analyseret for Naphthalen, Phenanthren, Fluoranthen, Pyren, Benzo(b+k)fluoranthen som markører for alle PAH-stoffer. Der henvises til bilag 1.2 for yderligere information om PAH-analyserne i dette projekt.

TABEL 4.1. TOC-fraktil af filtermaterialer.

	Muldjord 1 SDU	Muldjord 2 SDU	"Lys/brown" 3 Byggros	"Mørkt/Black" 4 Byggros
Organisk fraktil [%]	6-12	>12	1	8 (15 spagum) (10 biochar)

Kolonne eksperiment

Kolonneeksperimentet blev gennemført i glaskolonner (FIGUR 4.2). Materialer blev malet til 5 mm størrelse og puttet i kolonner. Vand var regnvand fra tag afløb som blev tilsat PAH for at nå 1 µg/L koncentrationer. Vandet blev pumpet igennem med hjælp af ISMATEK pumper med et keramisk pumpehoved for at forhindre sorption i pumpen. Slangar var teflon og PEEK slanger af samme årsag.



FIGUR 4.2. Forsøgsopstilling af kolonneforsøg.

4.1.3 Hybridbedforsøg hos Byggros

Metode

Der blev foretaget et adsorptionsforsøg med fokus på kemisk adsorption af opløste stoffer på seks forskellige jorde hos Byggros. Forsøget er udformet med én replikation af hver type jord. Forsøget har kørt med 74 gentagelser med vand af samme forureningsgrad á ca. 10 minutter, 0,2 års regnhændelse samt 4 hændelser med rent vand á 20 min, 0,5 års regnhændelse. I alt svarende til ca. et halvt års regn. Forsøget har for de fleste kørsler kørt med en gentagelsesperiode på 24 timer. Denne kørselshyppighed har haft til formål at udfordre ligevægtsprincippet. Der henvises til Bilag 2.4 for resultatgennemgang.

Tidshorisont

Tidsperiode som forsøget afdækker - kapaciteten - levetiden ved Byggros ikke noget om. Der er kørt 74 gentagelser hvor hver gentagelse svare til en ca. 10 min, 0,2 års regnhændelse. Samt 4 hændelser med rent vand svarende til 20 min 0,5 års hændelse. De 78 gentagelser svare ca. til et halvt års regn. Tidshorisonten repræsenterer altså langt fra den forventede levetid på et regnbed, men giver nærmere et billede af indkøringsperioden og den tid mange filterjorde behøver for at stabilisere sig. Ud fra den mængde vand som hybridbedene er belastet med, kan det diskuteres hvorvidt det er rimeligt at sige noget om levetiden og egenskaberne over tid (flere hybridbede har på flere parametre ikke opnået en netto renseeffekt efter de 78 gentagelser).

Hastighed

Hvad betyder den forcering af regnhændelserne som forsøget har kørt med? Udfordrer den ligevægtsprincippet?

Forsøget har kørt med en gentagelsesperiode på 24 timer mellem de fleste kørsler og med samme hændelse. Det kunne være ønskeligt at undersøge hvad et mere dynamisk hændelsesforløb ville betyde. Tiden imellem hændelserne og hændelsernes længde og intensitet vil sandsynligvis påvirke flere parametre.

En indikation på dette kan ses i kontakttiden for de to identiske jorde fra Kallerup. Totalt kvælstof, hvor der er større udvaskning for "Kallerup Real" hvor kontakttiden var længere. Det omvendte kan selvfølgelig også være tilfældet.

Belastning/forureningsgrad

Forsøget har kørt med samme belastning gennem alle gentagelser. Man afventer data på forsøgsrækkens sidste halvdel inkl. de sidste 4, hvor der er anvendt en lavere belastning for at se på udvaskningsrisikoen. Desuden udtages prøver igen efter en hvileperiode for at se tidens indvirkning på udvaskningsrisikoen.

Sediment vs opløst forurening

Der er kun anvendt opløste stoffer til forsøget og dermed kun set på adsorption og ikke på sedimentbåret forurening. Forsøget siger derfor intet om det stillede spørgsmål omkring vedvarende gennemskylninger af tilbageholdt sediment og betydningen af dette. Heller ikke om jordenes egenskaber til at tilbageholde den sedimentbundne forurening.

Forskellige rensegrader

De testede jorde er designet til forskellige formål, og ønsket har været at kunne nuancere rensningen på de 3 rensegrader: Nedsivnings-, følsom recipient og for-bassin. Der er imidlertid ikke lavet en egentlig nuancering af resultaterne.

Hydraulik i de testede jorde

Der er ikke målt på hydraulikken i hybridbedene. Det betyder at det ikke er muligt at se på fokuspunkter som kapacitet til at holde vand/plantetilgængeligt vand i jordene, samt permeabilitetsniveauet/nedsivningsevnen. Pga. den meget lille regnmængde (0,2 års hændelse) kan det diskuteres hvorvidt de forskellige jorde lever op til permeabilitetskrav, og dermed hvordan de vil performe ved større belastning, fx en 5-års regnhændelse eller mere.

Beplantningens rolle i hybridbedene

Hybridbedene er et isoleret adsorptionsforsøg, og planternes evne til at fjerne/optage næringsstoffer er derfor ikke undersøgt. Vækstegenskaber i hybridbedene er ikke undersøgt.

Antal replikationer og statistisk sikkerhed

De testede jorde er testet ved én replikation. Dvs. der ikke kan opsættes en statistisk sikkerhed for resultaterne, men forsøget skal ses som retningsvisende. Det skal dog bemærkes at datasættet virker relativt solidt.

Kvalitet

Der er ikke kigget på udfordringer eller usikkerheder vedrørende evnen til at kunne genskabe samme jordblandinger fra gang til gang og hvor stor varians der kan forventes i jordens egenskaber. Så der kunne med fordel kigges på både gentagelse af jordblandinger og forsøg med flere gentagelser for at opnå større sikkerhed på data.

4.2 Arbejdspakke 2

Optimering af LAR-vejbedets multifunktionelle funktion med fokus på plantevalg og biodiversitet

Formålet med arbejdspakke 2 er at udvikle ny viden om bæredygtige LAR-løsninger med fokus på plantevalg og biodiversitet. Undersøgelserne dokumenterer hvordan udvalgte urteagtige plantearter - fortrinsvis hjemmehørende - responderer i vækst og vitalitet, når de vokser i filterjord. Arbejdspakken bygger videre på tidligere forskningsresultater, der viste at LAR-vejbede med især hjemmehørende arter kan fungere som habitat og del-habitat for leddyr samt fungere som trædesten for spredning af arter. Derudover undersøges vækst og vitalitet af træer i eksisterende LAR-vejbede.



FIGUR 4.3. Eksempel på eksisterende LAR-anlæg Træøen, Bolbro i Odense (Foto: MCB).

4.2.1 Biodiversitetsundersøgelser og dokumentation af eksisterende anlæg

Biodiversitets undersøgelser i eksisterende LAR-vejbede gennemføres på fire forskellige veje i Odense (TABEL 4.2).

TABEL 4.2. Oversigt over Lokalteter der er undersøgt i AP 2.1.

Lokalitet	Anlæg etableret	Filterjord	Antal bede	Vegetation	Træer
Langelinie, Hunderup	2017 (forår)	Plantede bede, Filterjord, Årslev grusgrav + top lag af 10 cm vasket	12 (311 m ²)	Sæde testbede (4), Plantede bede (8)	
		Testbede - Filterjord Dan-sand			
Hørdumsgade, Skibhus	2017 (efterår)	FLL type 2, Solum + top lag af 3-5 cm vasket grus	16 (396 m ²)	Sæde testbed (2), plantede bede (14)	Sorbus latifolia 'Atro'
		Testbede - filterjord Dan-sand			
Træøen, Bolbro	2019	FLL filterjord, Mattie	1 (110 m ²)	Sæt og plantet	
Fruens Bøge Alle, Dalum	2020	FilterVext, Byggros + vasket grus som top lag 5 cm	8 (178 m ²)	Plantet	Sorbus latifolia 'Atro'

Dataindsamling flora

Træerne i LAR-vejbedene på Hørdumsgade, Fruens Bøge Allé samt i starten af projektperioden, Baumgartensvej blev målt en gang årligt. Målinger inkluderede stammeomfang i 1 m højde samt en generel vurdering af tilvækst og vitalitet. VandCenter Syd supplerede med målinger af træer i LAR-vejbedene på Middelfartsvej, Eyvinds Allé, Bystævnevej og Bøgedals Allé. Her blev der målt stammeomfang, skudtilvækst (på tre repræsentative skud), bladareal samt gennemført en visuel vurdering af kronetæthed og løvfarve. VandCenter Syds målinger tjente også udviklingen af en måle- og dokumentationsprocedure, som kan bruges i fremtidige LAR-projekter som omfatter træer.

Den *urteagtige vegetation* blev registreret ved optælling af plantede arter, artsrigdom, vegetationshøjde, biomasse høst og dækningsgrad (bar jord, græs, urt). Udvikling og sæson variation blev dokumenteret ved løbende foto registrering.

Dataindsamling for fauna

Insekter blev indsamlet ved flere fremgangsmåder afhængig af organismegruppen (Fig 3.4). For at undersøge hvad der sad på planterne, blev vegetationen slået med et insektnet i tidsintervaller på 2 minutter og senere hen afprøvede vi at støvsuge vegetationen med en løvblæser indstillet til sug, monteret med finmasket stof til opsamling. Overfladeaktive leddyr blev indsamlet med faldfælder, en nedgravet kop halvt fyldt med propylenglykol. Bestøvende insekter blev indsamlet med pan traps, farvede skåle i hvid, gul og blå, som tiltrækker

blomstersøgende insekter, halvt fyldt med 50/50 propylenglykol/sæbevand. Flyvende insekter blev indsamlet i vinduesfælder, bestående af 1m² plexiglas, hvor forbipasserende insekter flyver ind i glasset og falder ned i en rende halv fyldt med propylenglykol. Insekter associeret med træer blev undersøgt ved hjælp af bankeprøver.

For at undersøge bestøveraktivitet mellem bedene, blev der opstillet et fangst/genfangst forsøg på Langelinie, hvor vi fangede humlebi-arbejdere (*Bombus* spp.) i intervaller af 20 minutter fra hver af seks bede (fire testbede og to kulturbede, mix B) med varierende afstande til hinanden (4-300 meter), og farvede dem efter hvilke bed de blev fanget i, hvorefter de blev genudsat og to dage efter gentog vi, i intervaller af 20 minutter, registrering af humlebier og deres farve i hvert bed og hvorvidt de benyttede andre bede.

For at belyse effekten af den urbane kontekst, indsamlede vi leddyr og optalte galler og miner fra den samme planteart (stor knopurt), plantet i LAR-løsninger i byen eller naturligt voksende på naturarealer uden for byen. Konkret blev 3 planter fra 3 LAR-vejbede og 3 planter fra 3 naturlokaliteter (N = 18) støvsuget, dernæst blev mængden af minér og galler optalt, hvorefter planten blev opdelt i blade, stængler, blomsterstande og placeret i plasticbeholdere, for at uddrive leddyr fra plantematerialet. Alle uddrevne individer blev forsøgt bestemt vha. moderne DNA-teknikker (mega-barcoding).



FIGUR 4.4. Biodiversitetsundersøgelserne inkluderede mange forskellige fangstmetoder målrettet de forskellige organismegrupper samt vegetationstyper (Foto: MCB).

Videnskabeligt navn	Sort	Dansk navn	Oprindelse	Langelinie	Hørdumsgade	Træsten	Fruens Bøge	Alle
<i>Achillea filipendulina</i>	Coronation Gold	Pragt-røllike	indført		1		1	
<i>Achillea millefolium</i>		Almindelig røllike	hjemmehørende	1	1	1		
<i>Achillea millefolium</i>	Tera cotta		indført					1
<i>Agrimonia eupatoria</i>		Almindelig agermåne	hjemmehørende	1	1	1		
<i>Alchemilla vulgaris</i>		Almindelig løvefod	indført	1	1			
<i>Amsonia hubrichtii</i>		Amsonia	indført					1
<i>Anchusa officinalis</i>		Læge-oksetunge	indført	1	1	1		
<i>Anthoxanthum odoratum</i>		Vellugtende gulsaks	hjemmehørende			1		
<i>Anthyllis vulneraria</i>		rundbælg	hjemmehørende	1	1	1		
<i>Artemisia loviciana</i>	Valerie Finis	Sølvbynke	indført	1				1
<i>Asclepia tuberosa</i>		Orange silkeplante	indført		1			
<i>Aster ageratoides</i>	Asran	Japansk asters	indført					1
<i>Calamagrostis x acutiflora</i>	Overdam		indført	1				
<i>Campanula rotundifolia</i>		Liden klokke	hjemmehørende	1	1			
<i>Campanula trachelium</i>		Nælde-klokke	hjemmehørende			1		
<i>Centaurea jacea</i>		Almindelig knopurt	hjemmehørende	1	1	1		
<i>Centaurea scabiosa</i>		Stor knopurt	hjemmehørende	1	1	1		1
<i>Crambe maritima</i>		Strandkål	hjemmehørende	1				
<i>Cynosurus cristatus</i>		Almindelig kamgræs	hjemmehørende			1		
<i>Daucus carota</i>		Vild guleros	hjemmehørende	1	1	1		
<i>Dianthus deltoides</i>		Bakke-nelike	hjemmehørende	1	1			
<i>Echium vulgare</i>		Slangehoved	indsæbt	1	1			
<i>Eryngium planum</i>	Blaukappe	Russisk Mandstro	indført	1	1			1
<i>Eryngium yuccifolium</i>		Yuccabladet mandstro	indført		1			
<i>Filipendula vulgaris</i>		Knoldet mjødurt	hjemmehørende	1	1			
<i>Galium verum</i>		Gul snorre	hjemmehørende	1	1	1		
<i>Geranium macrorrhizum</i>	Spessart	Storrodet storkenæb	indført					1
<i>Geranium platyptalum</i>			indført	1				
<i>Geranium sanguineum</i>		Blodrød storkenæb	hjemmehørende	1	1			1
<i>Helichrysum arenarium</i>		Gul evighedsblomst	hjemmehørende	1	1			
<i>Heimerocallis x</i>	Stella d'Oro		indført	1				
<i>Hieracium aurantiacum</i>		Pomeranshøgeurt	indført	1		1		
<i>Hylotelephium telephium</i>		Almindelig sankthansurt	hjemmehørende		1			
<i>Hylotelephium telephium</i>	Herbstfreude		indført					1
<i>Hypericum perforatum</i>		Prikbladet perikon	hjemmehørende	1	1	1		1
<i>Hypochaeris radicata</i>		Almindelig kongepen	hjemmehørende			1		
<i>Kalimeris incisa</i>			indført	1				
<i>Knotia arvensis</i>		Blåhat	hjemmehørende	1	1	1		
<i>Scorzoneroide autumnalis</i>		Høst-borst	hjemmehørende	1	1	1		
<i>Liatris spicata</i>		Langsøt pragtskær	indført					1
<i>Lotus corniculatus</i>		Almindelig kællingetand	hjemmehørende	1	1	1		1
<i>Medicago lupulina</i>		Humle-sneglebælg	hjemmehørende	1	1	1		
<i>Nepeta x fassenii</i>	Blue Wonder		indført	1	1			1
<i>Origanum vulgare</i>		Merian	hjemmehørende	1	1	1		1
<i>Panicum virgatum</i>	Heavy Metal		indført	1	1			
<i>Panicum virgatum</i>	Heiliger Hain		indført			1		1
<i>Pennisetum alopecuroides</i>		Lampepudsergræs	indført		1			1
<i>Potentilla argentea</i>		Sølvpotentil	hjemmehørende	1	1	1		
<i>Primula veris</i>		Hulkravet kodriver	hjemmehørende	1	1			
<i>Rudbeckia fulgida</i>		Skindende solhat	indført		1			1
<i>Saxifraga granulata</i>		Kornet stenbræk	hjemmehørende	1	1			
<i>Sedum telephium</i>	Matrona		indført	1				
<i>Silene dioica</i>		Dag-pragtstjerne	hjemmehørende			1		
<i>Silene vulgaris</i>		Bæresmælde	hjemmehørende	1	1			
<i>Thymus sephyllum</i>		Smalbladet timian	hjemmehørende	1	1	1		
<i>Trifolium arvense</i>		Hare-kløver	hjemmehørende	1	1	1		
<i>Verbascum nigrum</i>		Mørk kongelys	hjemmehørende			1		

FIGUR 4.5. Oversigt over plantet eller såede arter i eksisterende LAR-vejbed.

4.2.2 Plantevækst forsøg i forbedret filterjord

Der blev gennemført 3 plantevækst forsøg i projektperioden. Formålet med forsøgene var at identificere den filterjord som bedst understøtter plantevækst med henblik på at opnå forbedret rensning samt understøtte biodiversitet i LAR-vejbede. I alt blev plantearterne testet i 9 forskellige filterjorde (se bilag 2.1), hvor vasket grus blev anvendt som kontrol idet vasket grus udgør en væsentlig bestanddel af forsøgsjorde samt kommercielle produkter.

Forsøget blev etableret i 3 liter (ø 16 cm) plast potter. Der var fem gentagelser pr. testet filterjord for hver af de tre forsøgsarter. Planterne blev sået direkte i potterne og fire uger efter etablering af forsøget blev hver potte tyndet, så der kun var et individ pr potte. Efter 12 uger blev forsøget høstet. Længste stængel blev målt fra rodhals til top-skud. Plantematerialet blev derefter delt i overjordisk og underjordisk biomasse. Biomassen blev tørret i 48 timer ved 60°C og vejlet til nærmeste 0,01 gram.

Til forsøget anvendes tre hjemmehørende plantearter blåhat (*Knautia arvensis*), almindelig kællingetand (*Lotus corniculatus*), sølvpotentil (*Potentilla argentea*) der alle tidligere er anvendt som forsøgsplanter til evaluering af filterjord som vækst medie i KU's væksthuse på Frederiksberg samt testet i VandCenter Syds LAR-vejbede i Odense. Derudover gennemføres mini-test med to forskellige frøblandinger. I vækstforsøg 1 og 2 blev der ligeledes testet en tilfældig kommerciel frøblanding i 10 L potter. Forsøgsjorde var svarende til den jord der anvendes til test af enkelt arter. I forsøg 3 udsås samme frøblanding som feltforsøget på Kallerupvej, Odense i 10 L plast potter med filterjord type 9 (jord 4).

4.2.3 Strukturerede undersøgelser og dokumentation af nye LAR-vejbede, Kallerupvej

Forsøget blev anlagt på Kallerupvej i Odense, Denmark (55°22'38.0"N 10°24'14.3"E; Odense, 2022). I alt otte LAR-vejbede blev etableret langs en strækning på 0.7 km på Kallerupvej som en del af VandCenter Syds klimatilpasningsprogram. Bedets tekniske opbygning er detaljeret beskrevet i notatet: 'Anvisning for design og opbygning af LAR-vejbed' der er vedlagt som Bilag 3.1. Anlægget (otte vejbede) blev åbnet den 02.12 2022.

Vegetation blev etableret ved en kombination af såning og plantning af hjemmehørende urteagtige planter. Frø og plugplanter til forsøget blev leveret fra Sverige, henholdsvis Pratensis AB og Vegtech A/S. Vegetationen blev etableret i to tætheder HØJ (574 planter pr kvm.) versus LAV (287 planter pr kvm.). I forsøget indgik i alt 20 hjemmehørende arter (TABEL 4.4). Frøblandingen var sammensat så den kunne klassificeres om urtedomineret (dvs. mindre en 50% dækningsgrad af græs jf. (UNESCO, 1973).

I foråret 2023 blev to LAR-vejbede udpeget som kontrol (bed 2, bed 5 (prøvetagningsbed) mens de øvrige seks bede løbende blev håndluget for invasive arter samt arter der potentielt kunne ødelægge vegetationsforsøget fx Ager-padderok, *Equisetum arvense*, Almindelig pastinak, *Pastinaca sativa*, Kruget skræppe, *Rumex crispus*, Butbladet skræppe, *Rumex obtusifolius*, Kanadisk gyldenris, *Solidago canadensis* og Følfod, *Tussilago farfara*. Bekæmpelse af udvalgte plantearter fortsatte i 2024, hvor alle otte bede blev inkluderet i plejen. LAR-vejbedene blev klippet ned til 5-10 cm med en buskrydder en gang om året i januar/februar måned. Afklippet/biomassen blev fjernet efterfølgende.

Vegetationsudvikling blev monitoreret i juli 2023 og 2024, og løbende foto registreret fra december 2022 hvor forsøget blev sat i gang og frem til december 2024. Målinger inkluderede artsrigdom, dækningsgrad af bar jord, urter og græs, overjordisk biomasse (sået, spontant). Høstet biomasse blev tørret i 24 timer ved 80° C og vejjet til nærmeste 0,01 g.

TABEL 4.3. Oversigt over de 20 forsøgsarter udvalgt til Kallerupvej. Hill, M. (1999), Grime et al. (1988). na – data ikke tilgængelig.

Videnskabeligt navn	Dansk navn	Ellenberg Indikator værdi					CSR
		Lys	Fugt	Reaktion	N	Salt	
<i>Achillea millefolium</i>	alm. røllike	7	5	6	4	1	CSR / CR
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	vellugtende gul-aks	7	6	4	3	0	SR / CSR
<i>Anthyllis vulneraria</i>	rundbælg	8	4	7	2	0	S / SR
<i>Centaurea jacea</i>	almindelig knopurt						na
<i>Daucus carota</i>	vild gulerod	8	4	7	3	2	SR / CSR
<i>Galium verum</i>	gul snerre	7	4	6	2	0	SC / CSR
<i>Hypericum perforatum</i>	prikbladet perikon	7	4	7	5	0	CR / CSR
<i>Hypochoeris radicata</i>	alm. kongepen	8	4	5	3	0	CSR
<i>Knautia arvensis</i>	blåhat	7	3	8	4	0	CSR
<i>Linaria vulgaris</i>	alm. torskemund	7	4	8	6	0	CR
<i>Lotus corniculatus</i>	alm. kællingetand	7	4	6	2	1	S / CSR
<i>Luzula campestris</i>	mark-frytle	7	4	5	2	0	S / CSR
<i>Medicago lupulina</i>	humlesneglebælg	7	4	8	4	0	R / SR
<i>Pilosella officinarum</i>	håret høgeurt	8	4	7	2	0	S / CSR
<i>Potentilla argentea</i>	sølvpotentil	8	3	5	2	0	na
<i>Primula veris</i>	hulkrauet kodriver	7	4	7	3	0	S
<i>Rumex acetosella</i>	rødknæ	7	5	4	3	0	SR / CSR
<i>Scorzoneroidea autumnalis</i>	høst-borst	8	4	6	2	0	R / CSR
<i>Tripleurospermum perforatum</i>	lugtløs kamille	8	5	6	6	0	R
<i>Verbascum nigrum</i>	mørk kongelys	7	4	7	6	0	na

5. Resultater

5.1 Arbejdspakke 1

Filterjord kan potentielt være en blanding af mange forskellige materialer med infiltrations- og adsorptionskapacitet. Derfor var det første skridt i udviklingen af nye jorde at evaluere egenskaberne ved en lang række materialer, der bruges eller potentielt kunne bruges til filterjord (TABEL 5.1). Materialerne varierer fra råmaterialer som sand, pimpsten, zeolit og kalksten over kunstige produkter som biokul, Fe-slam og kompost til naturlige materialer som sphagnum, råjord, engjord og indvundet havbund. Derfor varierer densiteterne også fra 1,4 g/cm³ i filtersand til 0,2-0,4 g/cm³ i sphagnum og biokul. Partikelstørrelsen blandt de testede materialer varierer også betydeligt, og det samme gør indholdet af små partikler <63 µm, som kan have stor indflydelse på infiltrationshastigheden. Procentdelen af partikler <63 µm går fra 0-10 % for filtersand, biokul og sphagnum til 19-29% i Fe-slam, kompost, de naturlige jordarter samt zeolit og pimpsten, mens kalksten havde 71% af partikler <63 µm. Det organiske indhold, som er vigtigt for plantevækst og adsorption, fordeler sig også med 0-3 % i sand, pimpsten, zeolit og kalksten, 2-6% i råjord og indvundet havbund, 22-28% i engjord, kompost, dansk biokul og Fe-slam og 78-96% i svensk biokul og sphagnum. Næringsstofferne N og P er vigtige for plantevækst, men hvis det vand, der behandles af filterjorden, udledes til miljøet, skal indholdet være lavt for at undgå udvaskning fra materialerne, og derfor er det oprindelige indhold af N og P i materialerne af interesse. Der er store variationer i både N- og P-indholdet. Med hensyn til N har især engjord, indvundet havbund, kompost og sphagnum et indhold på over 1 mg/g DW, mens resten har et indhold på under eller næsten ingenting. Det samme gælder for P, hvor kompost, biokul og Fe-slam har indhold over 1 mg/g DW. Fe og Al som adsorbenter varierer også med særligt høje indhold i pimpsten, zeolit, råjord, ferskvandstørv, genvundet havbund og kompost. Filterjord er ofte designet til at tilbageholde metaller som Zn og Cu, og derfor er det oprindelige indhold af disse forbindelser også vigtigt for at undgå eventuel udvaskning. Indholdet af begge er generelt lavt ved de højeste indhold (generelt under og op til 29 µg/g DW). Kun kompost og dansk biokul var højere med henholdsvis 130 µg Zn/g DW og 146 µg Zn/g DW. Endelig blev der også målt As primært på grund af Fe-slammet, da Fe-slam fra vandværker kan have et As-indhold på grund af As i grundvandet. I dette tilfælde var indholdet i Fe-slammet 242-261 µg/g DW, mens indholdet i de øvrige materialer var under 11 µg/g DW.

TABEL 5.4. Karakteristika for testede jordkomponenter. Data vises som intervaller for de materialer, der er målt i triplikater, og som et tal, hvis materialet ikke blev målt i triplikater.

	Dens.	Van	Org.	Partik-	N	P	Zn	Cu	Fe	Al	As
	g cm ⁻³	d-ind-h.	ind-hold	ler%<63µm							
Materiale		%			µg gDW ⁻¹						
r											
Filter sand 0-4mm	1.2-1.3	4.6-4.9	0.5-1.4	0.0	11-32	146-554	6-8	1-3	1435-2373	577-826	0

	Dens.	Van	Org.	Partik-	N	P	Zn	Cu	Fe	Al	As
	g cm ⁻³	d-ind-h.	ind-hold	ler%<63µm							
Materiale		%			µg gDW ⁻¹						
Filter sand 0.7-1.25mm	1.4	0.1	0.1	0.0	25	9	1	0.2	321	89	0
Pimpsten 0-10mm	0.7	38.2	1.3	28.8	14	837	12	7	3997	2084	0
Zeolit	1.0	13.4	1.9	19.9	15	32	22	2	2274	33850	0
Kalksten	1.0-1.1	0.1-0.1	0.2-2.9	70.5	1-14	114-136	10-23	2-3	157-286	84-305	0
Råjord	1.1-1.2	10.6-11.2	1.7-3.9	13.5	176-278	243-386	20-21	6-7	5401-7119	2536-3164	2-3
Fersk-vands-tørv	0.8-0.8	32.3-33.6	22.8-23.3	19.0	4963-6258	837-938	25-28	15-17	8409-9313	4096-4392	5-7
Genvundet havbund	1.1-1.2	19.8-20.3	5.4-6.0	23.9	1435-2001	491-497	21-24	9-10	11986-14134	1668-2025	10-11
Kompost	0.7	28.3	21.9	18.8	3905	2905	130	28	8250	3637	2
Lys sphagnum	0.2	55.6	96.2	6.2	3283	306	12	3	747	601	0
Medium sphagnum	0.4-0.4	60.2-67.0	86.3-89.6	10.4	2365-2949	247-326	7-8	3-5	1476-2022	985-1201	1-1
Mørk sphagnum	0.3	50.5	92.8	8.9	2199	179	6	3	538	700	0
Dansk biokul	0.4	1.5	28.2	0.6	487	60074	146	14	1173	557	0
Svensk biokul	0.3	28.2	77.9	6.4	154	12598	12	3	286	305	0
Fe-slam	0.6-0.7	46.0-46.5	22.7-23.2	18.7	893-920	17919-19067	26-29	0-1	39698-41374	54-62	242-261
									6		

Det indledende kolonneeksperiment på enkeltmaterialer viser indløbskoncentrationen og de resulterende udløbskoncentrationer efter infiltration gennem de forskellige materialer (FIGUR 4.1).

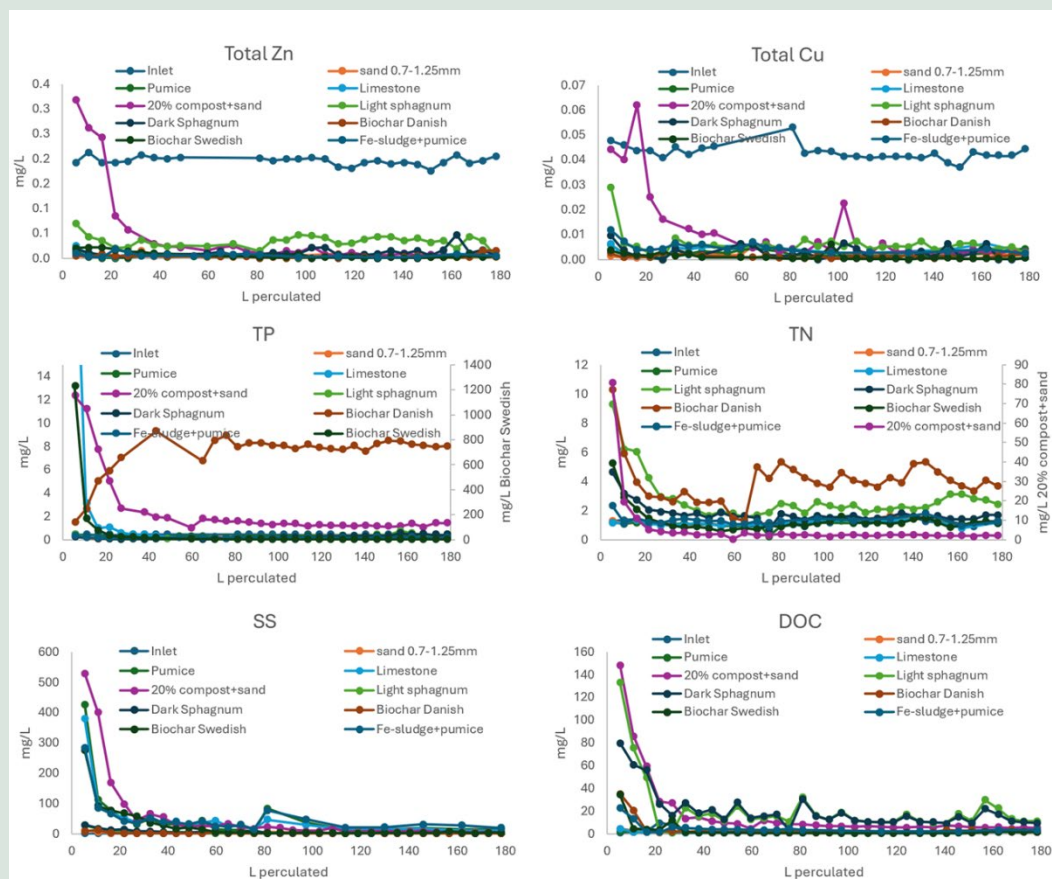
Zn. For Zn var den samlede indløbskoncentration i gennemsnit 196 µg/L. Alle materialer sænkede Zn-koncentrationen betydeligt under hele forsøget, undtagen kompost, som udvaskede Zn i begyndelsen, men efter ca. 30L gennemskylning var udløbet fra kompost på samme niveau som for de andre materialer. Alle materialer sænkede Zn-koncentrationen til <7 µg/L i gennemsnit undtagen lys og mørk sphagnum med en gennemsnitlig Zn-koncentration på henholdsvis 33 og 12 µg/L og kompost, som efter den indledende udvaskning faldt koncentrationen til 17 µg/L i gennemsnit. Tilfældet er næsten det samme for Cu-koncentrationen, også med indledende udvaskning af Cu fra kompost. Den gennemsnitlige indløbskoncentration af Cu var 43 µg/L, mens den gennemsnitlige udløbskoncentration i alle

tilfælde var $<6 \mu\text{g/L}$ undtagen for kompost med $10 \mu\text{g/L}$ i gennemsnit efter den indledende udvaskning.

P. For P var billedet helt anderledes, da mange af materialerne frigav betydelige mængder under hele eller dele af forsøget. Indløbskoncentrationen af P var i gennemsnit $407 \mu\text{g/L}$. Udløbskoncentrationen af kalksten var $30000 \mu\text{g/L}$ i den første prøve efter 5,4 L (uden for skalaen på FIGUR 4.1. Efter 40 L faldt den med en gennemsnitlig koncentration i den resterende periode på $153 \mu\text{g/L}$. Kompost frigav P under hele forsøget, og udløbskoncentrationen forblev over $1000 \mu\text{g/L}$. De to biokul-typer frigav også meget høje P-mængder under hele forsøget. Bemærk, at den svenske type er på en sekundær y-akse på FIGUR 5.1, da koncentrationen i den første udløbsprøve var $>1230000 \mu\text{g/L}$, hvilket faldt i løbet af de følgende 100 tilsatte liter og forblev på et gennemsnitligt niveau på 1700 i den resterende periode. Det danske biokul frigav meget store mængder P under hele forsøget - i gennemsnit $7500 \mu\text{g/L}$. Resten af materialerne havde gennemsnitlige udløbskoncentrationer under indløbskoncentrationen på $175\text{-}270 \mu\text{g/L}$. Flere af materialerne havde en lille indledende frigivelse af N, men i gennemsnit havde mange af dem gennemsnitlige udløbskoncentrationer i området $1,1\text{-}1,3 \text{ mg/L}$ tæt på den gennemsnitlige indløbskoncentration på $1,2 \text{ mg/L}$. Kun kompost, lys sphagnum, mørk sphagnum og dansk biokul frigav N med gennemsnitlige koncentrationer på henholdsvis 5,6; 2,8; 1,8 og $4,0 \text{ mg/L}$, og disse fire typer frigav N i hele måleperioden.

DOC. Flere af materialerne er kendt for at frigive DOC, især i starten af forsøget. Det var også tilfældet i dette eksperiment. Indløbsvandet var ikke tilsat DOC, så indløbskoncentrationen var $1,8\pm 1,9 \text{ mg/L}$. Alle materialer undtagen sand, pimpsten og kalksten udvaskede DOC i starten og i nogle tilfælde i løbet af hele forsøget. Kompost og de to sphagnumtyper fortsatte med at frigive DOC under hele forsøget med en faktor 10 over indløbskoncentrationen, mens frigivelsen fra de to biokul-typer og Fe-slam faldt til en faktor 2-3 over indløbskoncentrationen i slutningen af forsøget. Indløbsvandet var heller ikke tilsat partikler (suspenderede stoffer (SS)), og derfor var indløbskoncentrationen meget lav ($0,4\pm 0,3 \text{ mg/L}$). Alle materialerne udvaskede materialer (partikler og kolloider), især i begyndelsen, men kun filtersand, de to sphagnumtyper og dansk biokul havde en SS-koncentration på $<10 \text{ mg/L}$ i slutningen af forsøget. De resterende materialer havde i sidste ende stadig SS-koncentrationer $>50 \text{ mg/L}$.

pH. Endelig var pH relativt konstant for de forskellige materialer i udløbsvandet under forsøget, men varierede mellem materialerne (data ikke vist). Indløbsvandet havde en pH på $7,5\pm 0,4$, og seks af materialerne havde en gennemsnitlig pH i udløbet i samme område under forsøget fra $7,7\text{-}8,0$ (kompost $7,7\pm 0,3$, pimpsten og dansk biokul $7,9\pm 0,3$, sand $7,9\pm 0,4$, Fe-slam $8,0\pm 0,3$ og kalksten $8,0\pm 0,5$). Et materiale øgede pH i udløbet betydeligt (svensk biokul $9,7\pm 0,5$), og de to sphagnumtyper reducerede pH betydeligt (lys $3,8\pm 0,2$ og mørk $4,2\pm 0,6$).



FIGUR 5.6. Kolonneforsøg, der tester 9 forskellige materialer ved at perkulere indløbsvand med kendte koncentrationer gennem materialerne. Koncentrationer er vist for total Zn og Cu, TP, TN, SS og DOC. For TP er det første datapunkt ved 5,4 L ikke vist for kalksten, da det var 29,9 mg/L. Bemærk den sekundære y-akse for svensk biokul vedrørende TP og 20% kompost + sand vedrørende TN.

Baseret på viden om jordens egenskaber i trin 1 og data fra kolonneforsøget i trin 2 blev der i trin 3 udviklet nye opskrifter for jordtyper. TABEL 5 viser opskrifterne plus den resulterende infiltrationshastighed og pH. Tabellen indeholder opskrifter på to eksisterende filterjorde, en kontroljord, der kun består af sand, og seks jordopskrifter, der er udviklet i dette projekt, samt de danske retningslinjer for fremstilling af filterjorde. Den danske retningslinje kan opfyldes af mange jordtyper, hvilket kommer til udtryk i de to meget forskellige kommercielle jorde. De seks nye jordopskrifter har alle en basis af sand (69-92%). Begge jord 2-typer er baseret på sand (69 og 72%) og råjord (25%), hvor jord 2b også er tilsat 3% Fe-slam. De to jord 3-typer er begge baseret på sand, engjord, 5% kalksten og 3% Fe-slam, men engjordsindholdet er 10% i jord 3 og 5% i jord 3b, og sandindholdet justeres derefter. Endelig består jord 4 af sand (72%), indvundet havbund (20%) samt 5% kalksten og 3% Fe-slam – som i jord 3. Formålet var at teste forskellige naturlige jordtyper kombineret med forskellige absorbanser. pH i de nye jordtyper var i gennemsnit lidt højere (7,9-8,1) end de kommercielle jordtyper og de danske retningslinjer (6,5-7,9), mens infiltrationshastighederne alle var i samme område.

TABEL 5.2. Opskrifter på jord, der blev testet i planteforsøgene. Kon = kontrol, Kom 1 og 2 er 2 kommercielle jordtyper. Kommerciel 1 er en to-lags-jord - her er det øverste lag testet. Jord 1-4 er jordopskrifter udviklet i denne undersøgelse. DKG er den nuværende danske retningslinje¹.

Kode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jord	Kon	Kom1	Kom2	Jord1	Jord2	Jord3	Jord 2b	Jord3 b	Jord4	DK G
Sand 0-4 mm	100		21 ^a	92	72	82	69	87	72	
Sand 0.6-2 mm			66 ^a							
Grus 2-6 mm										
Silt and ler			10							5-10
Organisk ma-teriale										1-3
Bio-kul		10								
Pimpsten		75								
Spagnum		15		3	3		3			
Hummus			3							
Rå-jord					25		25			
Ferskvandst ørv						10		5		
Genvundet havbund									20	
Kalksten				5		5		5	5	
Fe-slam						3	3	3	3	
pH	7.9±0.4	7.8.0±0.0	7.8.0±0.0	7.9±0.0	8.0±0.2	8.1±0.2	8.0±0.2	8.1±0.1	8.1±0.9	6.5-7.5
Infiltrations-rate m s ⁻¹	0.0001 5± 0.0000 1	0.0001 2± 0.0000 6	0.0002 6± 0.0000 2	0.0003 3± 0.0000 2	0.0002 8± 0.0000 4	0.0002 6± 0.0000 1	0.0001 5± 0.0000 9	0.0000 8 ± 0.0000 3	0.0002 2± 0.0001 4	10 ⁻⁴ 10 ⁻⁵

^a Fra Jensen et al. 2019 baseret på DWA 2005, Ingvertsen et al. 2012 og Cederkvist et al. 2016. a benævnt henholdsvis fint og groft sand i databladet.

Indhold og egenskaber af udviklede jordtyper blev undersøgt. Ligeledes blev indhold og karakteristika for de to kommercielle jorde bestemt. De undersøgte parametre var densitet, vandindhold, organisk materiale, partikler < 63 µm, N, P, Zn, Cu, Fe, Al og As. De prøver, der er udført i tripletter vises ved et interval, mens de prøver, der er udført en gang, vises som et enkelt tal. Den laveste densitet blev fundet i kommerciel jord 1 på 0,7-0,8 g cm⁻³, mens den højeste densitet blev fundet ved jord 4 på 1,6-1,6 g cm⁻³. De resterende kommercielle og nye jorde ligger mellem 1,1 g cm⁻³ og 1,4 g cm⁻³. Ligeledes for vandindhold er det kommerciel jord 1, der er højest med et indhold på 38,9-39,6%. Det laveste indhold findes i jord 3b med et indhold på 1,1-1,3%. Jord 2b har også et lavt indhold på 1,4-1,7%. De resterende jorde og kommercielle jorde har alle et vandindhold mellem 7,6-14,3%. Ift. organisk materiale er det her

også kommerciel jord 1, der har det højeste indhold på 7,3-7,6%. Jord 4 og jord 3b har det laveste indhold på henholdsvis 1,8-2,0% og 2,0-2,2%. For de resterende jorde og kommercielle jorde er det organiske indhold mellem 2,2-5,6%. Den største mængde af partikler < 63 µm blev fundet i kommerciel jord 1 og jord 4 med henholdsvis 24,3% og 23,8%. Laveste indhold blev fundet i jord 1 med et indhold på 1,4%, men de resterende jorde og kommercielle jorde havde et indhold på mellem 5,7% og 15,9%. For N blev det største indhold fundet i jord 3 på 914-1107 (± 110) µg DW⁻¹, mens det laveste indhold blev fundet i jord 1 på 98-143 (± 21) µg DW⁻¹. Kommerciel jord 1 er omkring samme mængde som jord 3 med et indhold på 650-1097 (±235) µg DW⁻¹. Jord 2b og jord 3b har et indhold på henholdsvis 416-907 (±250) µg DW⁻¹ og 635-776 (±79) µg DW⁻¹. De resterende jorde og kommercielle jorde har et indhold på mellem 122-529 µg DW⁻¹. Det højeste indhold af P er målt i kommerciel jord 2 med et indhold på 358-2243 (± 1040) µg DW⁻¹. For denne jord er der dog stor spredning på de tre målte prøver. Laveste målte indhold af P er målt i jord 1 og jord 2 på henholdsvis 175-482 (± 169) µg DW⁻¹ og 261-308 (± 25) µg DW⁻¹. De resterende jorde, på nær jord 4, ligger på et indhold mellem 628-1472 µg DW⁻¹. Jord 4 har et indhold af P på 406-686 (± 146) µg DW⁻¹. For Zn indeholder kommerciel jord 1 og 2 mest med henholdsvis 29-40 (± 5,77) µg DW⁻¹ og 22-40 (± 10) µg DW⁻¹. Indholdet af Zn i de resterende jorde ligger mellem 8-15 µg DW⁻¹. Kommerciel jord 1 og 2 indeholder mest Cu med et indhold på 10-12 µg DW⁻¹. Dog gav en af undersøgelseerne på kommerciel jord 2 et resultat på 5 µg DW⁻¹. Det samme billede ses ved jord 1, hvor indholdet blev undersøgt til 2-12 (± 5,86) µg DW⁻¹. De resterende jorde ligger mellem 3-6 µg DW⁻¹ indhold af Cu. Jord 2b er den jord, der indeholder mest Fe med et indhold på 14330-29621 (± 8470) µg DW⁻¹. I mellemkategorien findes jord 3, 3b og 4 med et indhold på henholdsvis 12216-20143 (± 4032) µg DW⁻¹, 10500-18070 (± 3859) µg DW⁻¹ og 8737-13793 (± 2528) µg DW⁻¹. Jord 2b indeholder mest Al ift. de andre undersøgte jorde. Jord 2b indeholder 2720-3506 (± 409) µg DW⁻¹. Jord 1 og 4 indeholder mindst Al med et indhold på henholdsvis 620-1181 (± 297) µg DW⁻¹ og 917-1122 (± 108) µg DW⁻¹. De resterende jorde har et indhold på 1227-2436 µg DW⁻¹. Det højeste indhold af As findes i jord 3 med et indhold på 6-12 (± 2,94) µg DW⁻¹, mens det laveste indhold findes i kommerciel jord 1 og jord 2 med et indhold på 0-0 (± 0) µg DW⁻¹ for begge jorde. Jord 1 og kommerciel jord 2 har ligeledes en lav koncentration på 0-4 µg DW⁻¹. De resterende jorde ligger mellem 2-9 µg DW⁻¹.

TABEL 5.3. Karakteristika for testet og udviklet filterjord. Data vises som intervaller for de materialer, der er blevet målt i tre eksemplarer, og som ét tal, hvis materialet ikke blev målt i tre eksemplarer.

	Densitet	Vandindhold	Orga- nisk mate- riale	Par- tikler < 63 µm	N	P	Zn	Cu	Fe	Al	As
Jord	g cm ⁻³	%			µg DW ⁻¹						
Kommercielle jorde											
Kommerciel jord 1	0.7-0.8 ± 0,045	38.9-39.6 ± 0,60	7.3- 7.6 ± 0,16	24.3	650- 1097 ± 235	729- 1055 ± 182	29- 40 ± 5,77	10- 12 ± 1,15	2995- 4047 ± 544	1849- 2078 ± 123	0-0 ± 0
Kommerciel jord 2	1.2-1.3 ± 0,049	8.8-9.1 ± 0,17	2.5- 3.4 ± 0,42	6.9	212- 308 ± 55	358- 2243 ± 1040	22- 40 ± 10	5-11 ± 3,21	3960- 8655 ± 2705	1459- 1620 ± 140	0-4 ± 1,91

	Densitet	Vandindhold	Orga- nisk mate- riale	Par- tikler < 63 µm	N	P	Zn	Cu	Fe	Al	As
Jord	g cm ⁻³	%	µg DW ⁻¹								
Kommercielle jorde											
Nye testede jordopskrifter											
Jord 1	1.1-1.2 ± 0,015	7.6-8.1 ± 0,27	2.4- 5.4 ± 1,62	1.4	98- 143 ± 21	175- 482 ± 169	8-12 ± 2,52	2-12 ± 5,86	1577- 4439 ± 1245	620- 1181 ± 297	0-2 ± 1,01
Jord 2	1.1-1.2 ± 0,061	9.6-10.8 ± 0,60	3.0- 3.9 ± 0,51	5.7	122- 162 ± 21	261- 308 ± 25	10- 13 ± 1,52	3-3 ± 0,22	2861- 3830 ± 504	1227- 1886 ± 338	0-0 ± 0
Jord 3	1.1-1.1 ± 0,023	13.1-14.3 ± 0,67	5.3- 5.6 ± 0,13	15.9	914- 1107 ± 110	708- 1140 ± 215	11- 14 ± 1,82	5-6 ± 0,58	12216- 20134 ± 4032	1386- 1874 ± 246	6-12 ± 2,94
Jord 2b	1.1-1.2 ± 0,068	1.4-1.7 ± 0,18	2.2- 3.5 ± 0,62	5.1- 8.4	416- 907 ± 250	754- 1472 ± 395	11- 15 ± 1,99	3-4 ± 0,58	14330- 29621 ± 8470	2720- 3506 ± 409	4-8 ± 2,06
Jord 3b	1.4-1.4 ± 0,035	1.1-1.3 ± 0,14	2.0- 2.2 ± 0,11	2.5- 5.7	635- 776 ± 79	628- 1018 ± 201	9-15 ± 2,95	3-3 ± 0,291	10500- 18070 ± 3859	1899- 2436 ± 282	2-6 ± 2,31
Jord 4	1.6-1.6 ± 0,017	9.2-10.0 ± 0,43	1.8- 2.0 ± 0,10	23.8	347- 529 ± 127	406- 686 ± 146	13- 15 ± 0,67	4-5 ± 0,279	8737- 13793 ± 2528	917- 1122 ± 108	5-9 ± 2,19

Kolonneeksperimentet blev udført på 4 forskellige jorde ved at perkulere indløbsvand med kendte koncentrationer gennem recipienterne. FIGUR 5.2 viser de resulterende udløbskoncentrationer efter gennemløb.

Zn. Alle fire undersøgte jorde mindsker koncentrationen af Zn betydeligt allerede fra starten af forsøget. Gennemsnitskoncentrationen efter 100L gennemskylning er >2 µg/L.

Cu. Samme billede tegnes ved Cu for alle jorde på nær jord 2, der udvasker en mindre koncentration (10 µg/L) af Cu i starten af forsøget. Jord 2 udvasker ligeledes en mindre koncentration (10 µg/L) efter 70L gennemskylning. For de resterende materialer tilbageholdes Cu gennem hele forsøget med en gennemsnitskoncentration på >5 µg/L. Dog ses det, at en mindre koncentration (~5 µg/L) udvaskes fra jord 2 og 3 efter 90L gennemskylning.

P. Anderledes ser det ud for P, der udvaskes af jord 2b i begyndelsen af forsøget med en koncentration på ~0,37 mg/L. Jord 2b gennemskylles ikke efter 70L. Herefter holdes niveauet af P stabilt med en gennemsnitskoncentration på >10 mg/L. Dette gælder for jord 2b, 3 og 3b. Jord 3 gennemskylles ikke efter 50L. Jord 3 har en lille udvaskning af P i starten af forsøget (~10 mg/L). Det samme er gældende for jord 3b (~15 mg/L). Dog ses også en udvaskning af P efter gennemskylning af 20L, hvorefter koncentrationen af P stabiliseres efter 40L gennemskylning. Jord 2 udvasker omkring samme mængde P som jord 3b i begyndelsen af forsøget (~18 mg/L), men stiger derefter til et gennemsnitskoncentration på ~30 mg/L gennem resten af forsøget.

N. For N udvaskes varierende mængder i begyndelsen af forsøget (jord 2: ~4 mg/L, jord 2b: ~5 mg/L, jord 3: ~14 mg/L og jord 3b: ~9 mg/L). Herefter falder koncentrationen af N til omkring indløbskoncentrationen på ~2 mg/L for alle jorde gennem resten af forsøget.

Suspenderede stoffer. Som P har jord 2b en høj udvaskning af suspenderede stoffer (SS) i starten af forsøget (~75 mg/L), hvilket også er den højeste udvaskning af alle jorde. Jord 2b udvasker dog mindre SS efter 80L gennemskylning med en gennemsnitskoncentration på ~5 mg/L, men stiger igen og falder efter henholdsvis 90L (~35 mg/L) og 100L (~5 mg/L) gennemskylning. Jord 2 udvasker SS i starten af forsøget med en koncentration på 40 mg/L. Herefter holdes koncentrationen stabil med en gennemsnitskoncentration på ~5 mg/L. Koncentrationen stiger til ~12 mg/L efter 100L gennemskylning. Det samme billede er gældende for jord 3 og 3b, der udvasker SS i starten af forsøget (begge ~22 mg/L). Herefter falder koncentrationen til omkring ~7 mg/L. Jord 3 har en stigning i koncentration efter 50L gennemskylning (~12 mg/L), mens jord 3b har en stigning efter 20L gennemskylning (~12 mg/L), hvorefter koncentrationen falder og stiger igen efter 100L gennemskylning (~12 mg/L).

DOC. Til slut er DOC også undersøgt for de fire jorde. Alle jorde udvasker DOC i starten af forsøget (jord 2: ~12 mg/L, jord 2b: ~8 mg/L, jord 3: ~8 mg/L og jord 3b: ~5 mg/L). Herefter falder koncentrationerne og stabiliseres nogenlunde omkring 3-4 mg/L for jord 2, 2b og 3b. Efter 100L gennemskylning stiger koncentrationen for de tre jorde 2, 3 og 3b til henholdsvis ~5 mg/L, ~6 mg/L og ~4 mg/L. Jord 2b er den eneste jord, der falder i koncentration efter 100L gennemskylning (~3,5 mg/L). Jord 2b blev ikke målt ved 80L gennemskylning. Koncentrationen af DOC for jord 3 stiger en smule efter ~18L gennemskylning. Hvorefter koncentrationen stabiliseres omkring ~7 mg/L.



FIGUR 5.2. Søjleforsøg, der tester fire forskellige jordrecipienter ved at perkulere indløbsvand med kendte koncentrationer gennem materialerne. Koncentrationer er vist for total Zn og Cu, TP, TN, SS og DOC.

5.1.1 In situ Middelfartvej

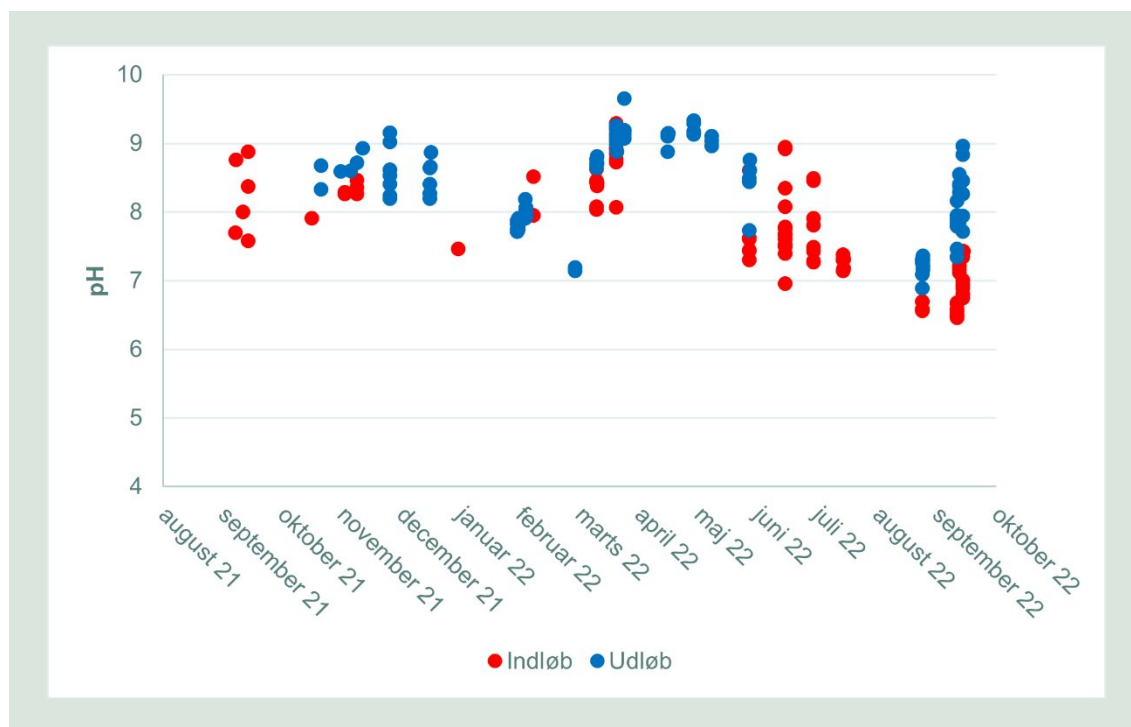
Organisk stof og densitet. Resultaterne fra analyse på det øverste lag af den kommercielle filterjord fra Byggros på Middelfartvej viser et højt indhold af organisk stof, samt en stor andel af små partikler ($< 63 \mu\text{m}$). Dette skyldes sandsynligvis indholdet af biokul og sphagnum. Den relativt lave densitet på $0,66 \text{ g/cm}^3$ skyldes sandsynligvis indholdet af pimpsten (TABEL 5.4).

P, Fe og Al. Der er et højt indhold af fosfor, jern og aluminium, hvilket for fosfors vedkommende er et problem i forhold til frigivelse fra jorden (se nedenfor), mens både jern og aluminium er adsorbanter.

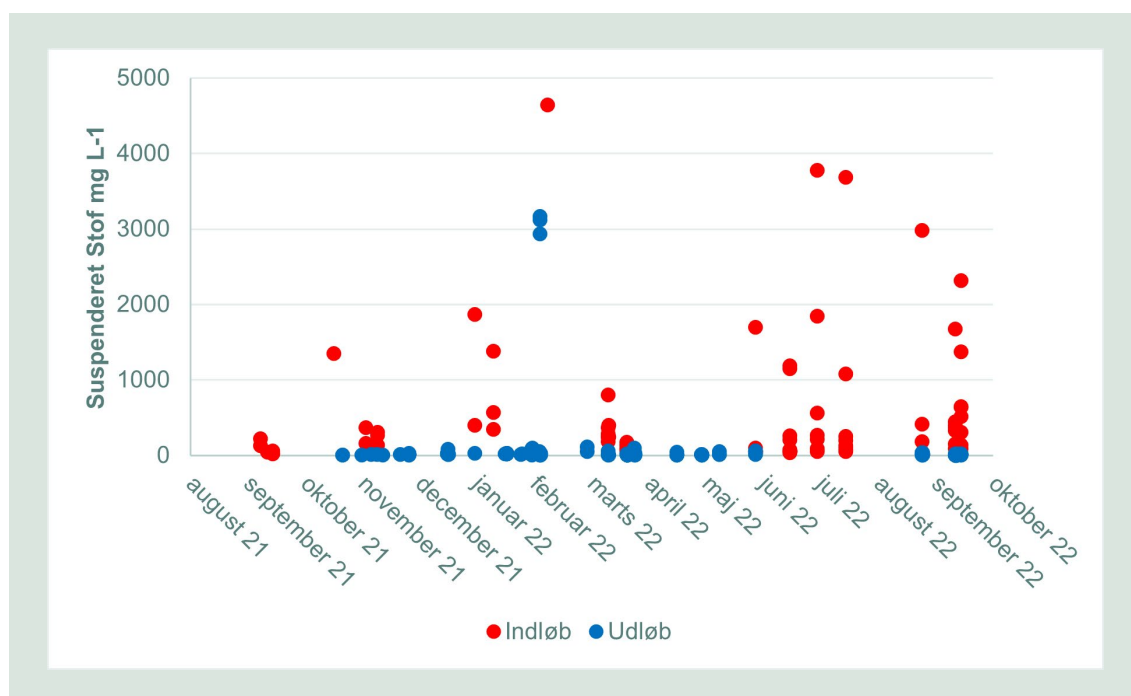
TABEL 5.4. Analyse af filterjordens øverste lag fra målevejbed på Middelfartvej. Resultat baseret på prøver fra 3 forskellige steder i bedet i 10 cm dybde. Procenter er vægtbaseret.

	Enhed	Middel	STDAFV
Densitet	g/cm ³	0,66	0,01
Vandindhold	%	39,24	4,06
Organisk stof	%	11,03	3,57
SS < 63 µm	%	26,17	3,76
TN	mg/g TV	0,30	0,03
TP	mg/g TV	1,55	0,27
Zn	mg/g TV	0,03	0,01
Cu	mg/g TV	0,01	0,00
Fe	mg/g TV	5,42	0,53
Ni	mg/g TV	0,00	0,00
Cr	mg/g TV	0,00	0,00
As	mg/g TV	0,00	0,00
Al	mg/g TV	2,36	0,01

pH. Resultater for pH svinger mellem 6,5 – 9,5 for både indløb og udløb, hvor udløbsvandet generelt ligger højere end indløbsvandet (FIGUR 5.3). Dette kan tilskrives filterjordens nederste lag som indeholder 25% kalk og pH-niveauet i udløbsvandet forbliver højere i hele det år hvor der måles på bedet. pH over 9 er ikke ønskværdigt særligt ved udledning til recipient. Oftest anbefales pH på max. 8,5. For suspenderet stof (SS) ses en stor tilbageholdelse af større partikler (>63 µm), hvilket er forventeligt for filterjorde (FIGUR 5.4).

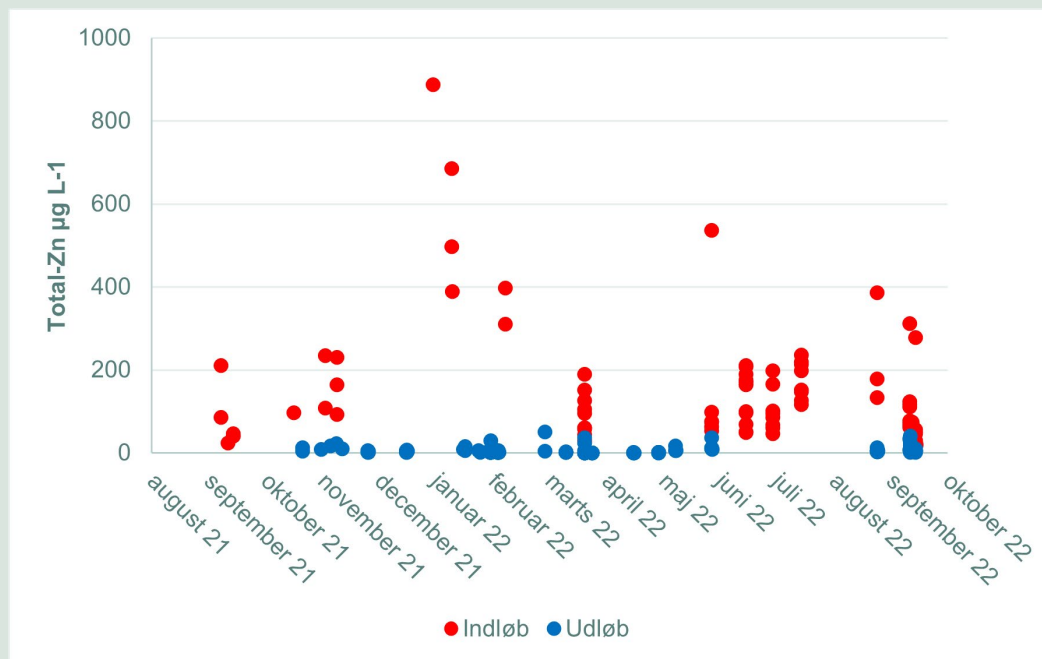


FIGUR 5.3. Analyse af pH af vand fra indløb og udløb fra målevejbed på Middelfartvej i perioden 21. september 2021 til og med 30. september 2022.

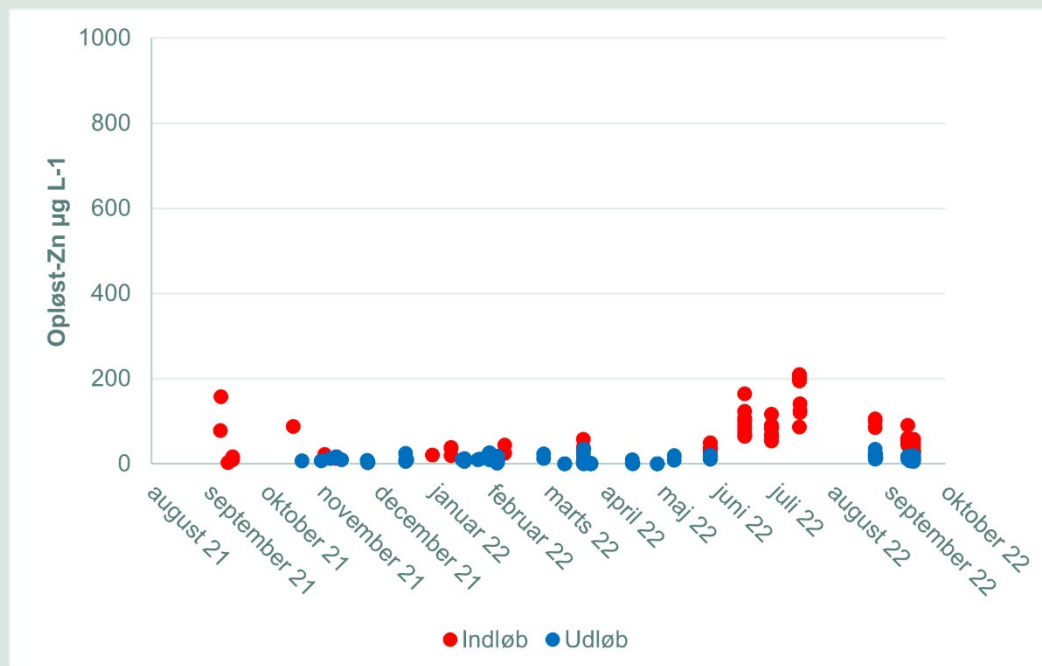


FIGUR 5.4. Analyse af suspenderet stof mg/L for vandprøver fra indløb og udløb for målevejbed på Middelfartvej i perioden 21. september 2021 til og med 30. september 2022.

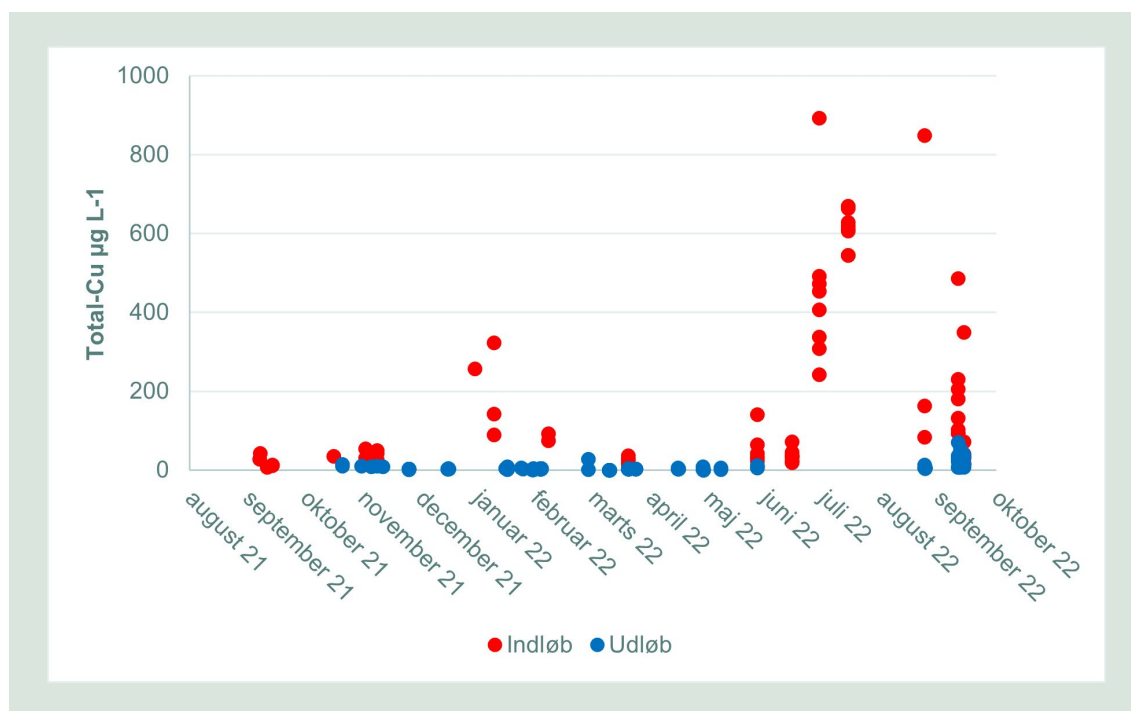
Zn og Cu. Resultaterne for metaller viser en stor tilbageholdelse af både total zink og kobber, samt opløst zink og kobber, hvilket er forventeligt for alkaliske filterjorde. I juli måned ses der en stigning i både den totale og opløste pulje af zink og kobber i indløbsvandet. Da der ikke er udløbsprøver for denne måned, må man forvente denne samme procentvise tilbageholdelse som for de tidligere måneder (FIGUR 5.5, FIGUR 5.6, FIGUR 5.7, FIGUR 5.8). Retentionen forbliver for både zink og kobber på samme niveau igennem hele måleperioden. Indløbskoncentrationerne varierer forventeligt meget afhængig af tørvejrperiode, årstid, nedbørsintensitet mv. mens udløbskoncentrationerne er relativt konstante. Der ses også forventeligt en stor variation i indløbskoncentrationerne under den enkelte hændelse. Særligt for zink er en stor del af den afstrømmende zink bundet til partikler og/eller kolloider hvilket bidrager til retentionen via tilbageholdelse af partiklerne.



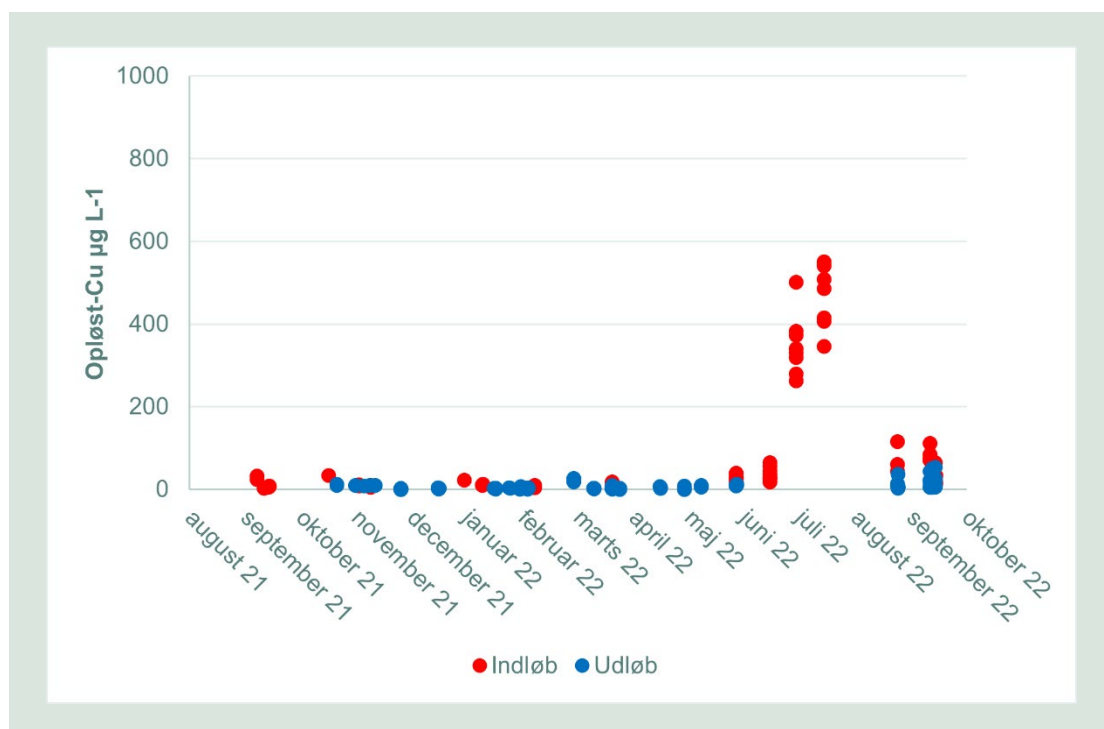
FIGUR 5.5. Analyse af total-Zn µg/L for vandprøver fra indløb og udløb for målevejbed på Middelfartvej i perioden 21. september 2021 til og med 30. september 2022.



FIGUR 5.6. Analyse af opløst-Zn µg/L for vandprøver fra indløb og udløb for målevejbed på Middelfartvej i perioden 21. september 2021 til og med 30. september 2022.



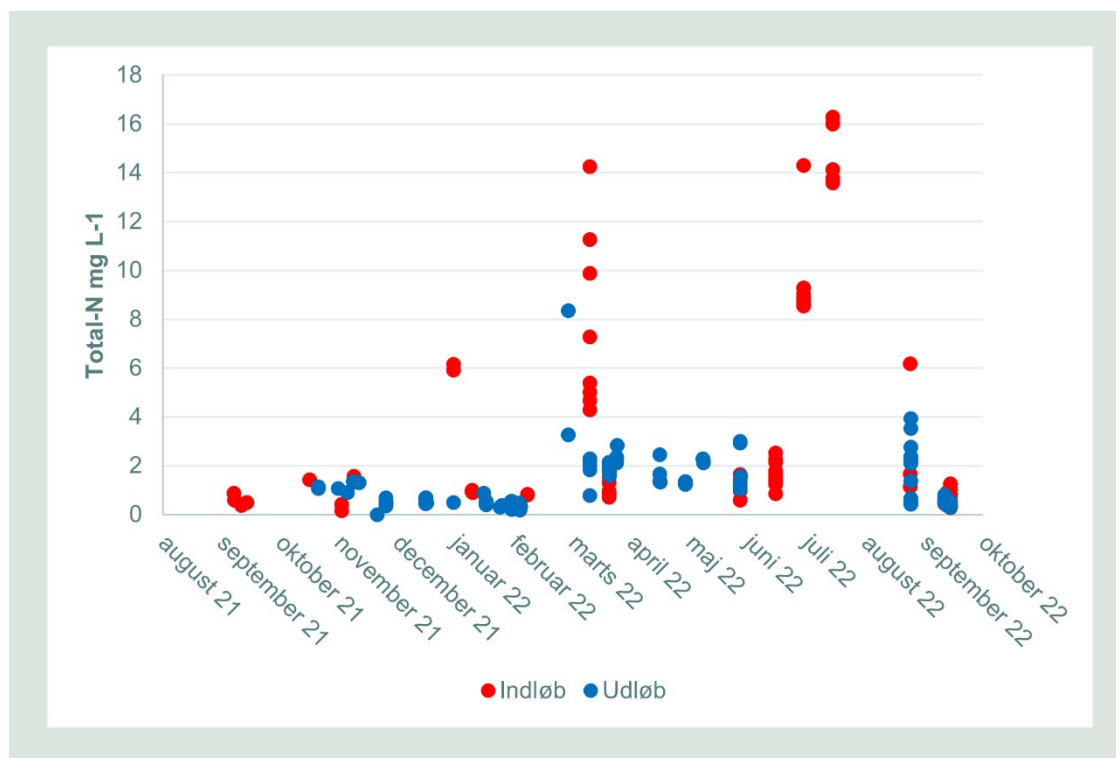
FIGUR 5.7. Analyse af total-Cu µg/L for vandprøver fra indløb og udløb for målevejbed på Middelfartvej i perioden 21. september 2021 til og med 30. september 2022.



FIGUR 5.8. Analyse af opløst Cu µg/L for vandprøver fra indløb og udløb for målevejbed på Middelfartvej i perioden 21. september 2021 til og med 30. september 2022.

TN. Resultater for total-kvælstof viser en overordnet reduktion af kvælstof fra indløb til udløb. Dette kommer mest til udtryk ved de meget høje koncentrationer af total-kvælstof i indløbsvandet i marts 2022. Ser man bort fra marts 2022, ses der ingen tydelig reduktion, da

der forekommer mange hændelser hvor koncentrationen af total-kvælstof i udløbsvandet er højere end i indløbsvandet (FIGUR 5.9). Et rigere mikrobielt samfund i filtermatricen vil højst sandsynligt øge omsætningen af opløste kvælstofforbindelser til atmosfærisk kvælstof, og derved reducere udledningen af kvælstof, men det kræver et både aerobt og anaerobt miljø i filterjorden som kan være svært at opretholde særligt pga. de lave opholdstider. Dertil kommer at en del af kvælstofbidraget i udløbsvandet kan stamme fra omsætning af kvælstofholdige komponenter i filterjorden. Som en del af hændelserne også viser så er kvælstofkoncentrationen typisk ikke markant i afstrømmende regnvand og koncentrationerne er sammenlignelige med hvad der er målt andre steder.

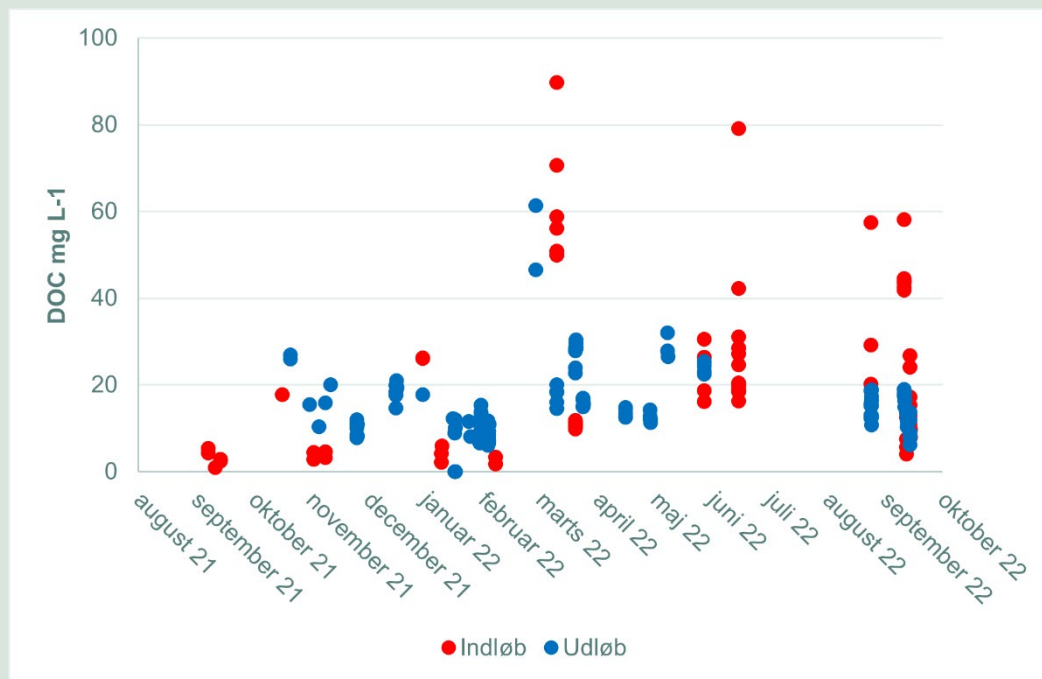


FIGUR 5.9. Analyse af total-N mg/L for vandprøver fra indløb og udløb for målevejbed på Middelfartvej i perioden 21. september 2021 til og med 30. september 2022.

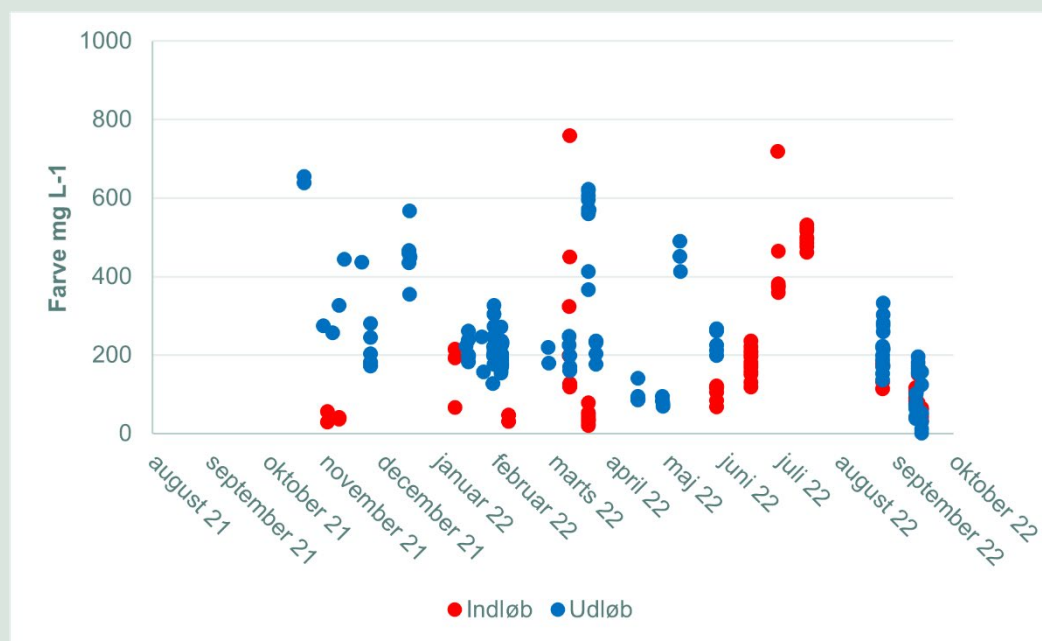
DOC og P. Modsat de førnævnte parametre, viser resultaterne for opløst organisk stof (DOC), farve, totalfosfor og fosfat i nogle tilfælde endog markant forøgelse i udløbsvandet pga. frigivelse fra filterjorden.

Resultaterne for opløst organisk stof er meget sammenlignelige med resultaterne for total-kvælstof. Ved høje koncentrationer i indløbsvandet ses der en tydelig reduktion, men hvor der derimod ses en frigivelse ved lavere koncentrationer (FIGUR 5.10).

Farve. Resultater for farve indikerer forhøjet indhold af bl.a. opløste humusstoffer, hvilket sandsynligvis skyldes frigivelse fra sphagnum i filterjorden. Der ses et svagt fald igennem det år der måles på bedet. Størstedelen af vandprøverne for udløb har et højere indhold af farve end vandprøverne fra indløb (FIGUR 5.11). Opløste organiske forbindelser og farve i vandet er ikke ønskværdigt ved udløb til recipient, da det bl.a. kan føre til iltforbrug.



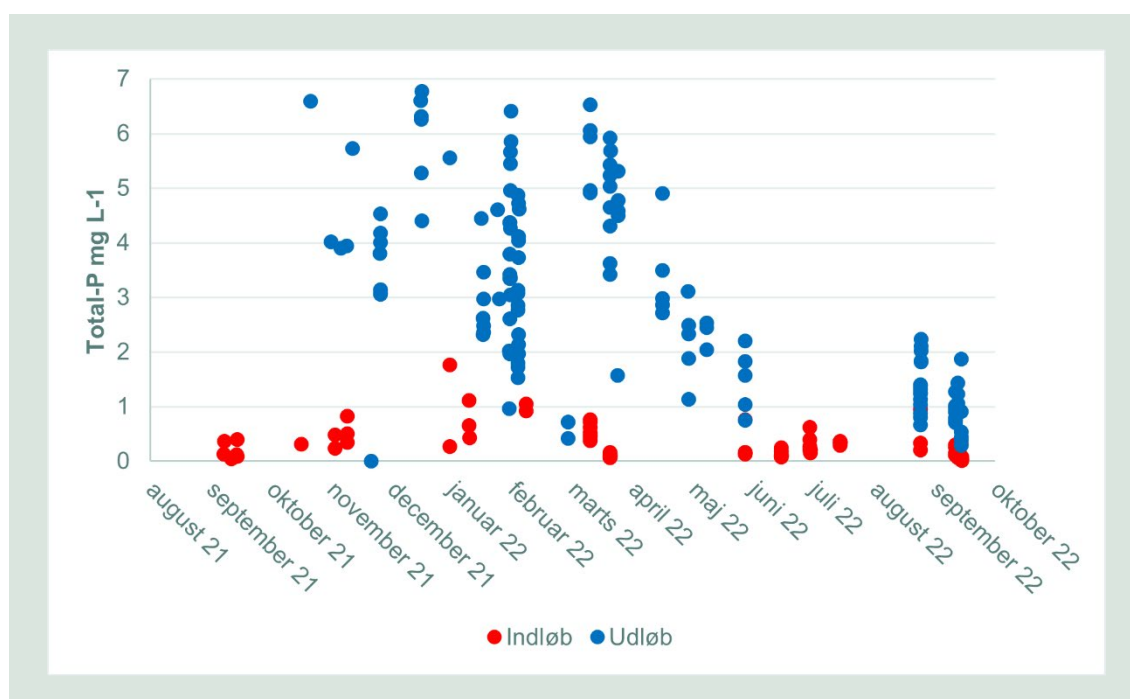
FIGUR 5.10. Analyse af DOC mg/L for vandprøver fra indløb og udløb for målevejbed på Middelfartvej i perioden 21. september 2021 til og med 30. september 2022.



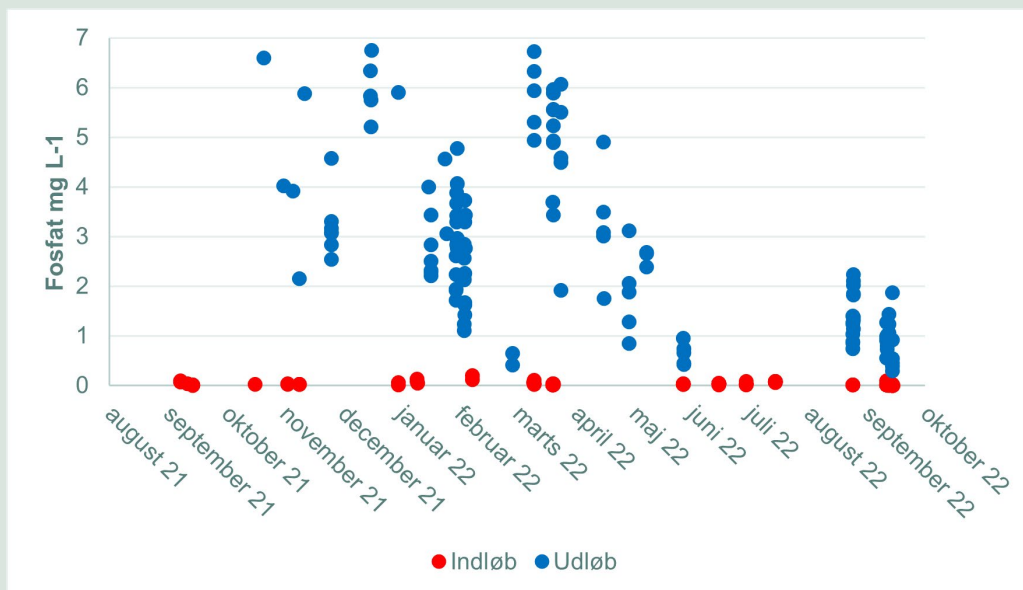
FIGUR 5.11. Analyse af farve mg/L for vandprøver fra indløb og udløb for målevejbed på Middelfartvej i perioden 21. september 2021 til og med 30. september 2022.

TP og fosfat. Resultaterne for totalfosfor (TP) og fosfat viser at i indløbsvandet er fosfor primært partikulært bundet og med en forventelig koncentration som varierer under de enkelte

hændelser og som typisk ligger under 1 mg/L og ofte under 0,5 mg/L. I udløbsvandet derimod er stort set alt fosfor på opløst form og dermed direkte biotilgængeligt for bl.a. algevækst. Modsat metallerne så frigiver bedet fosfor og koncentrationen er markant højere i udløbsvandet – op imod 7 mg/L særligt i de første måneder af bedets levetid. Den største berigelse af fosfat i udløbsvandet ses i perioden november 2021 til og med maj 2022. Herefter ses et fald i udløbskoncentrationen af fosfat, men den befinder sig stadig i et forhøjet niveau (1-2 mg/L) og stadig på et markant højere niveau end indløbskoncentrationen (FIGUR 5.12 og FIGUR 5.13). Frigivelsen af fosfor sker sandsynligvis primært fra andelen af biokul og sphagnum i filterjorden. Fosfat er lettilgængeligt for planter og alger og derfor problematisk ved udledning til recipient. Udledninger af fosfat kan medføre eutrofiering, hvilket kan have alvorlige konsekvenser for vandmiljøet. Recipienten til målevejbedet er vandløbet Bolbro Renden, der udmunder i Odense Fjord. Da Odense Fjord kan være fosforbegrænset i foråret, bør udledning af fosfat derfor begrænses, særligt i foråret.



FIGUR 5.12. Analyse af total-P mg/L for vandprøver fra indløb og udløb for målevejbed på Middelfartvej i perioden 21. september 2021 til og med 30. september 2022.



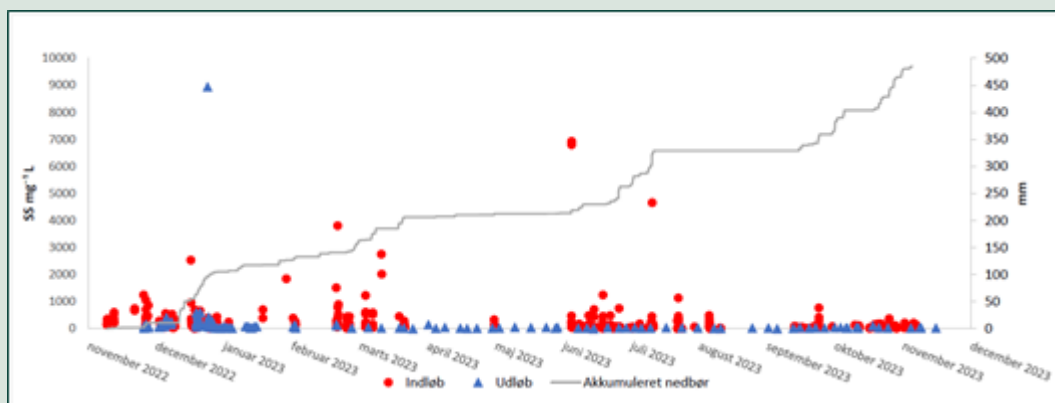
FIGUR 5.13. Analyse af fosfat mg/L for vandprøver fra indløb og udløb for målevejbed på Middelfartvej i perioden 21. september 2021 til og med 30. september 2022.

Sammenfatning

In situ målingerne af ind- og udløbskoncentrationerne i vejbedet på Middelfartvej demonstrerer hvor vigtigt det er at øge den tilgængelige viden omkring filterjordenes effekt. I dette tilfælde har den anvendte jord en god retention af suspenderet stof og metaller, mens jorden er stærkt problematisk hvad angår fosfor idet der selv et år efter etablering udledes markant forøgede koncentrationer af fosfor pga. nedbrydning samt desorption fra jordkomponenter i filterjorden. Det er særligt problematisk da bedet udleder til en forholdsvis lille recipient og i sidste ende til Odense Fjord. Havde vejbedet i stedet afledt til infiltrationen havde det været mindre problematisk idet fosforen ville blive bundet i det øvre jordlag og det må forventes at fosforfrigivelsen vil klinge af i løbet af det første 1-2 år. Så den anvendte filterjord bør målrettes afhængig af om bedet nedsiver, udleder til recipient og dermed aflaster kloaksystemet. Dertil kommer egenskaberne for plantevækst som behandles andetsteds i denne rapport.

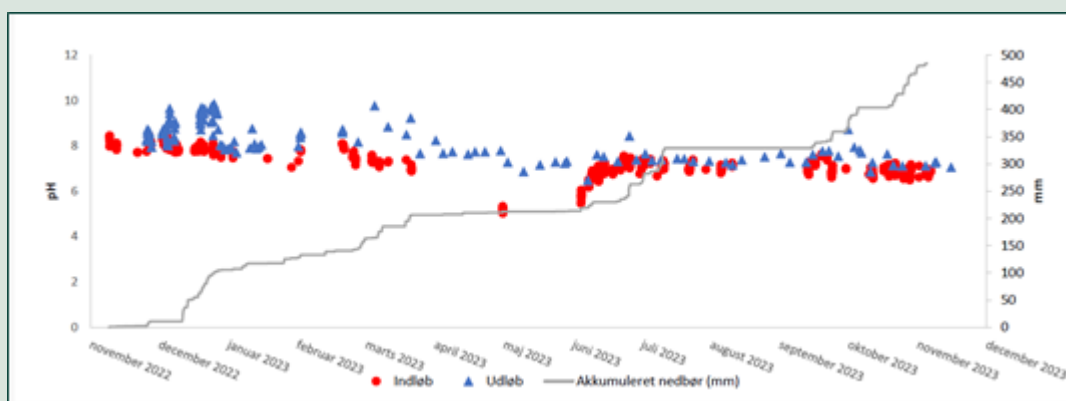
5.1.2 In situ Kallerupvej

For de følgende resultater, er det vigtigt at bemærke og huske på, at median- og gennemsnitsværdierne ikke er flowvægtet eller beregnet pr. nedbørsevent, da det ikke var muligt pga. manglende flowdata.



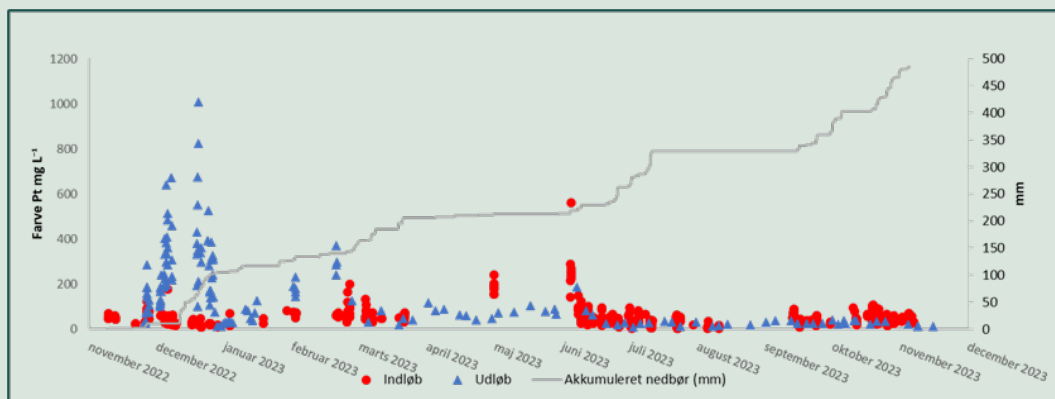
FIGUR 5.14. Koncentrationen af SS mg/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanter viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

Suspenderet stof. Koncentrationen af suspenderet stof (partikler) i indløbsvandet varierer afhængig af tørvejrperiode, årstid, nedbørsintensitet. Koncentrationen varierer ligeledes indenfor den enkelte hændelse. I udløbet fra bedet er indholdet af partikler meget konstant. Kun i de første 3 måneder af bedets levetid, blev der noteret en forøget koncentration af partikler i udløbsvandet pga. særligt mindre partikler i filterjorden som vaskes ud initialt. Generelt ses en tendens til en lav koncentration af SS i udløb (<400 mg/L). Det samme billede er gældende for indløbet, hvor der generelt ses en lavere koncentration af SS (~500 mg/L), med få afvigelser ved regnskyl, hvor enkelte stigninger ses (FIGUR 5.14). En del af de mindre partikler filtreres fra i filteret i vejbedet, hvilket er grunden til at andelen i procent af ler- og siltpartikler <63 μm stiger fra indløb til udløb. SS-indholdet i vandet fra indløb til udløb falder 46 % (54 til 29 mg/L), hvis man ser på mediankoncentrationen, og 75 % (158 til 39 mg/L), hvis man ser på gennemsnitskoncentrationen for perioden februar 2023 til december 2023 (TABEL 5.5).



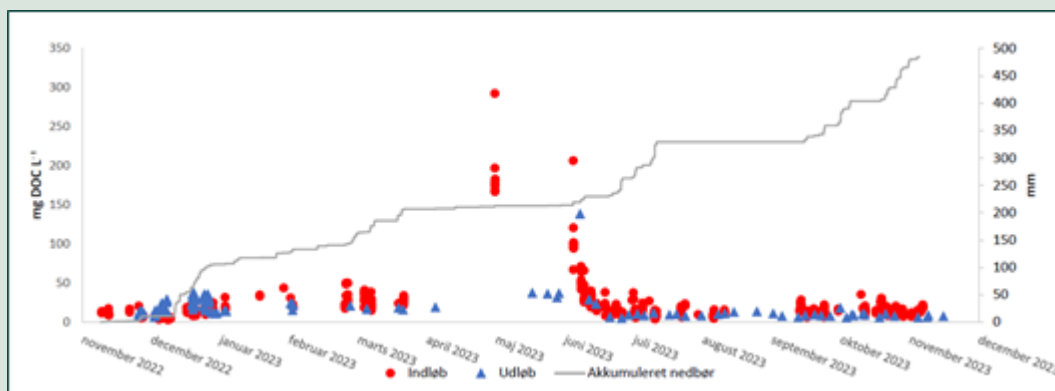
FIGUR 5.15. Målt pH i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanter viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

pH. pH i indløbsvandet varierer fra 7,0 til 7,8 afhængig af om man ser på median, gennemsnit eller 1. eller 2. halvår. I udløbet fra bedet var median- og gennemsnits-pH 8,6 og 8,7 i første halvår og 7,3 samt 7,4 i andet halvår. Dvs. i begge halvår lidt højere end indløbs-pH. Det skyldes at vandet løber igennem filterjorden, men det er pH-værdier, der også vil ses naturligt i miljøet (TABEL 4.5, FIGUR 5.15).



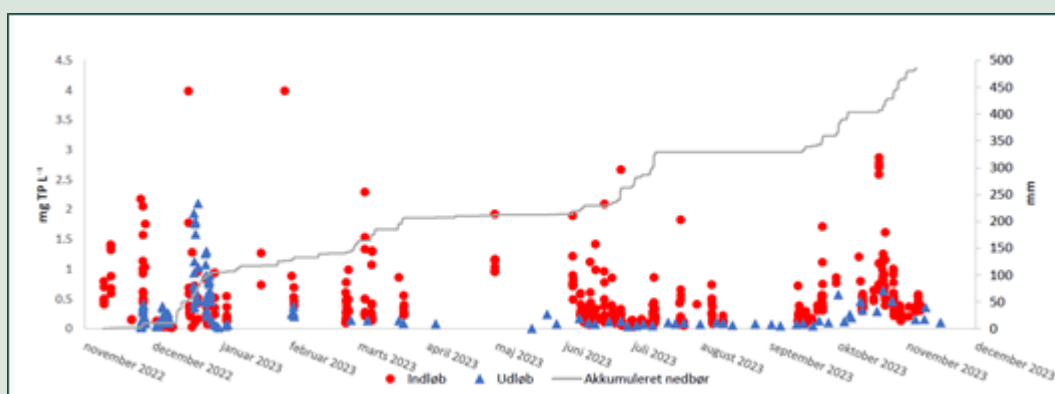
FIGUR 5.16. Koncentrationen af farve Pt mg/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanter viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

Farve. Koncentrationen af farve målt som platinenheder i indløbsvandet ligger omkring 50-100 mg/L i perioden november 2022 – december 2023 (FIGUR 5.16). I udløbet fra bedet er koncentrationen af farve høj (~20 mg/L – ~1000 mg/L) i de første 3 måneder af bedets levetid, som skyldes en initial udvaskning af organiske forbindelser fra filterjorden. Det er dog helt i samme størrelsesorden som set fra andre filterjorder. Generelt varierer koncentrationen afhængig af tørvejrperiode, årstid, nedbørsintensitet og den enkelte regnhændelse. Mediankoncentrationen af farve fra februar 2023 til december 2023 ligger tæt fra indløb til udløb (41 mg/L indløb og 38 udløb mg/L), mens gennemsnitskoncentrationen i samme periode stiger lidt (52 mg/L indløb til 72 mg/L udløb). Ser man derimod kun på 2. halvår så falder koncentrationen af farve både ved median- og gennemsnitskoncentrationen (median: 40 mg/L indløb til 28 mg/L udløb og gennemsnit: 47 mg/L indløb til 38 mg/L udløb) (TABEL 5.5).



FIGUR 5.17. Koncentrationen af DOC mg/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanter viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

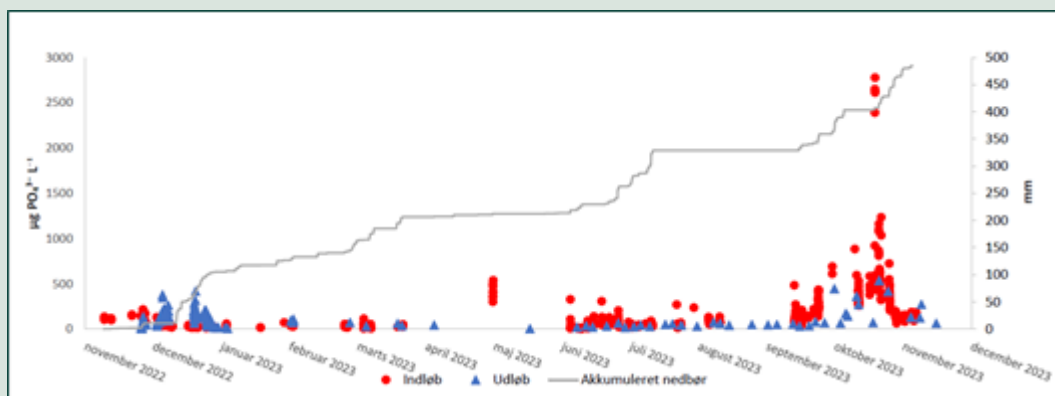
DOC. Generelt ligger DOC stabilt omkring 30 mg/L for indløb i perioden og omkring 20 mg/L for udløb. Hen over forsommeren (maj-juni) ses en højere DOC-koncentration (50-300 mg/L) i indløbet, mens koncentrationen i udløbet kun stiger en smule (~40 mg/L). I denne periode er der ligeledes taget færre prøver end resten af perioden. Efter indkøringsperioden (november 2022 – januar 2023) ses en reduktion i DOC-koncentrationen fra indløb til udløb. DOC-koncentrationen falder 33 % (15,2 mg/L til 10,2 mg/L), hvis man ser på mediankoncentrationen og 27 % (22,4 mg/L til 16,4 mg/L), hvis man ser på gennemsnitskoncentrationen for perioden februar 2023 til december 2023 (TABEL 5.5).



FIGUR 5.18. Koncentrationen af TP mg/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanter viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

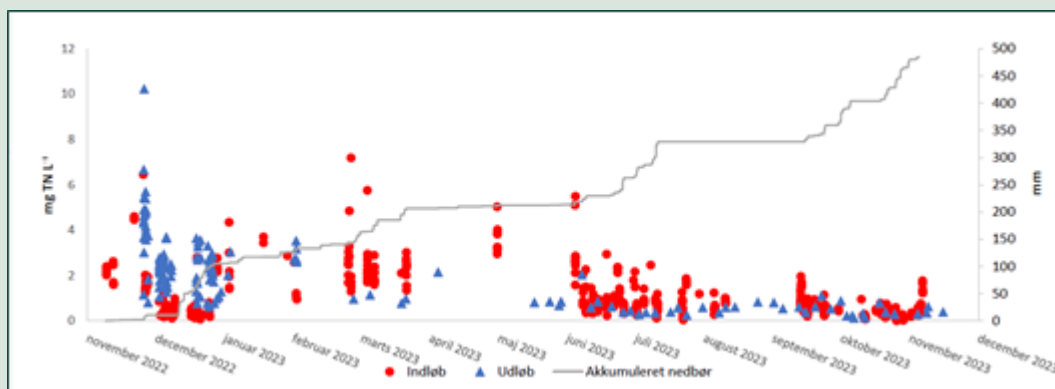
TP. I de første 3 måneder af bedets levetid ses en forøget koncentration i udløbsvandet (0,25 mg/L - ~2 mg/L). Sandsynligvis pga. en pulje af fosfor i filterjorden, som vaskes ud initialt. Derudover er TP koncentrationen i udløbet generelt nogenlunde stabilt omkring ~0,15 mg/L. Dog ses endnu en stigning i oktober-november 2023 efter en periode med regn. Her stiger koncentrationen til ~0,5 mg/L (FIGUR 5.18). Anderledes ser koncentrationen ud i

indløbsvandet for samme periode. Gennemsnittet for TP-koncentrationen i indløbsvandet for perioden er 0,421 mg/L. Der ses dog flere stigninger i TP i indløbsvandet i alle måneder. Der ses et sammenfald mellem regn og stigningen af TP. Den højeste koncentration af TP måles til 4 mg/L i slut-december 2022 og i februar 2023. TP-koncentrationen i vandet fra indløb til udløb falder 60 % (0,277 mg/L til 0,112 mg/L), hvis man ser på mediankoncentrationen og også 60 % (0,421 mg/L til 0,167 mg/L) hvis man ser på gennemsnitskoncentrationen for perioden februar 2023 til december 2023 (TABEL 4.5). Bemærk derfor at retentionsgraden er 60% for retentionen af TP i filterjorden.



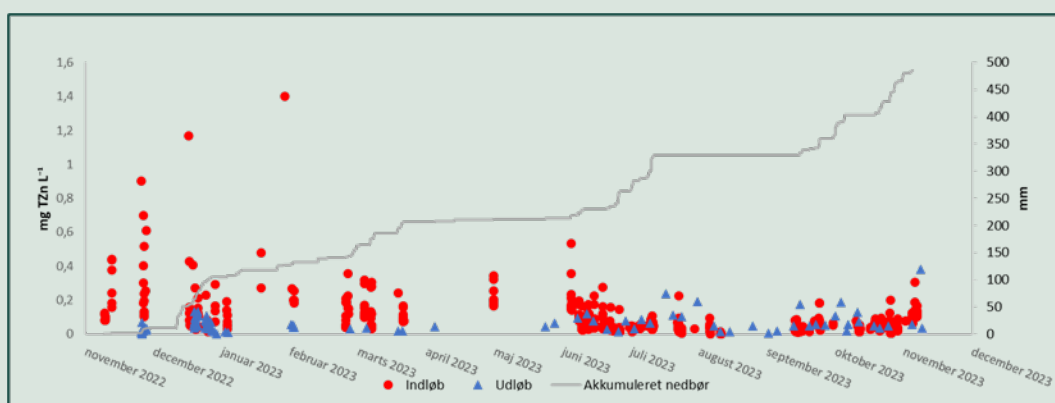
FIGUR 5.19. Koncentrationen af fosfat ug/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanten viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden. Bemærk y-aksens enhed for fosfat: µg/L.

I de første 1-2 måneder af bedets levetid, ses en forøget koncentration i udløbsvandet sandsynligvis pga. en pulje af fosfor i filterjorden, som vaskes ud initialt (FIGUR 5.19). Koncentrationen af fosfat i udløbsvandet ligger i perioden januar-september omkring 50 ug/L, hvorefter koncentrationen stiger i oktober-november 2023 til omkring 300-500 ug/L. Det første halve år ligger fosfatkoncentrationen i indløbsvandet nogenlunde stabilt omkring 100-200 ug/L. Der ses en mindre stigning i starten af maj (~300-500 ug/L). I det andet halvår af perioden ligger fosfat-koncentrationen i indløbsvandet omkring 200 ug/L hen over sommeren (juni, juli, august), mens koncentrationen stiger hen over efteråret (september, oktober) til 450 ug/L – 600 ug/L. Hvor koncentrationen topper i slutningen af oktober (~2700 ug/L) og falder igen i november. Fosfatkoncentrationen i vandet fra indløb til udløb falder 13% (72 ug/L til 63 ug/L), hvis man ser på mediankoncentrationen og 47% (192 ug/L til 101 ug/L) hvis man ser på gennemsnitskoncentrationen for perioden februar 2023 til december 2023 (TABEL 5.5). Fosfat udgør omkring 45,6% af TP beregnet via de gennemsnitlige indløbsværdier for fosfat og TP. For de gennemsnitlige udløbsværdier udgør fosfat 60,5% af TP. For indløbet udgør fosfat 26% af TP beregnet via medianværdierne, mens fosfat for udløbet udgør 56,25% af TP beregnet ud fra medianværdierne (TABEL 5.5).



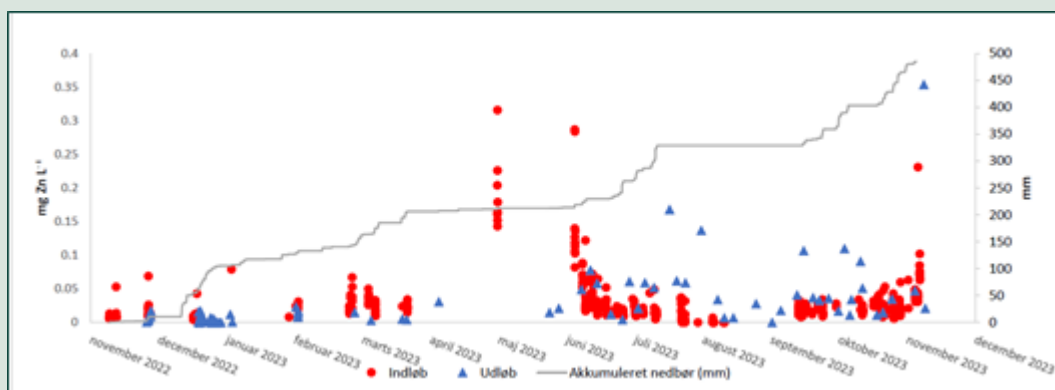
FIGUR 5.20. Koncentrationen af TN mg/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanter viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

TN. I det første halvår af den målte periode (november 2022 – maj 2023) ses en generel højere koncentration af TN (~0,2 mg/L - ~7 mg/L). Især i forårsperioden (marts 2023 – maj 2023) ligger niveauet højere end begyndelsen af perioden. I andet halvår (juni 2023 – december 2023) ligger niveauet for TN-indhold generelt lavere end første halvår (~0,2 mg/L - ~3 mg/L). I andet halvår ses også færre udsving i koncentrationen. I udløbet fra bedet er koncentrationen af TN mere konstant (FIGUR 5.20). Dog ses i de første 3 måneder af bedets levetid, en forøget koncentration i udløbsvandet sandsynligvis pga. en pulje af kvælstof i filterjorden, som vaskes ud initialt (mellem ~1 mg/L – ~10 mg/L). I slutningen af første halvår er koncentrationen ~1 mg/L, mens koncentrationen andet halvår ligger omkring ~0,2 mg/L – ~0,5 mg/L. TN stiger 1,5% (0,595 mg/L til 0,604 mg/L) fra indløb til udløb, hvis man ser på mediankoncentrationen og falder 7,2% (0,921 mg/L til 0,855 mg/L) hvis man ser på gennemsnitskoncentrationen for perioden februar 2023 til december 2023 (TABEL 5.5).



FIGUR 5.21. Koncentrationen af TZn mg/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanter viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

TZn. TZn-koncentrationen i indløbsvandet ligger generelt højere for første halvår af perioden (november 2022 – maj 2023). I denne periode måles også de største koncentrationer (1,2 mg/L – 1,4 mg/L). Koncentrationerne observeres i de første 4 måneder af bedets levetid. Herefter falder de målte koncentrationer en smule (~0,01 mg/L - ~0,4 mg/L). I det andet halvår ligger koncentrationen nogenlunde stabilt mellem 0 mg/L og 0,2 mg/L. for hele perioden ligger koncentrationen af TZn i udløbsvandet nogenlunde stabilt mellem 0 mg/L og 0,2 mg/L. TZn-indholdet i vandet er meget ens fra indløb til udløb fra februar til december 2023, hvis man ser på median og gennemsnit, men alle de høje koncentrationer af TZn reduceres generelt i filterjorden (FIGUR 5.21). Ud fra medianværdierne stiger TZn-indholdet lidt fra indløb til udløb fra 0,045 mg/L til 0,049 mg/L (8,9%), mens TZn-indholdet ved gennemsnitsværdierne falder lidt fra indløb til udløb fra 0,074 mg/L til 0,071 mg/L (-4%) (TABEL 4.5).

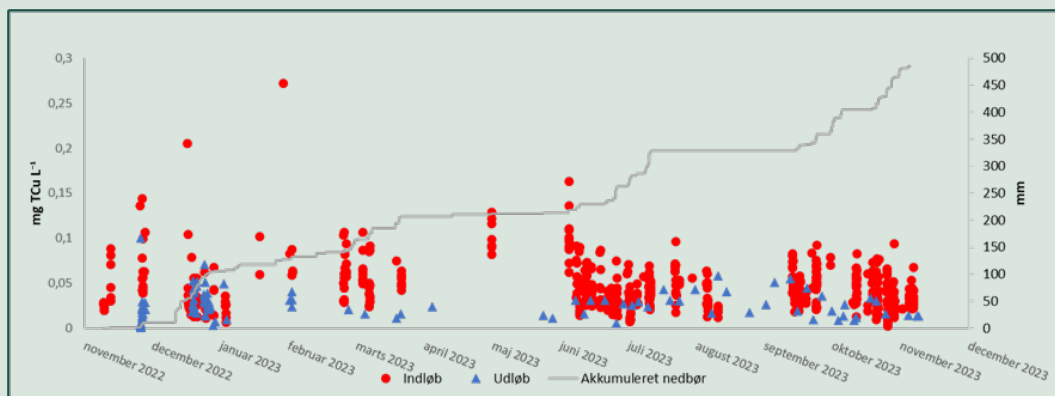


FIGUR 5.22. Koncentrationen af Zn mg/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanter viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

Zn. For både indløb og udløb ligger Zn-koncentrationen nogenlunde stabilt for det første halvår af perioden (november 2022 – april 2023). Koncentrationen ligger for indløbet omkring ~0 mg/L til 0,05 mg/L, mens koncentrationen i udløbet ligger mellem 0 mg/L og 0,025 mg/L. Det ser anderledes ud i det andet halvår af perioden. Koncentrationen i indløbet stiger voldsomt hen over den sidste del af foråret (maj 2023 – juni 2023) med koncentrationer på ~0,15 mg/L til ~0,325 mg/L. Det samme billede ses ved de målte koncentrationer i udløbet. Her er de fleste koncentrationer mellem 0 mg/L og ~0,15 mg/L (FIGUR 5.22). For Zn ses ikke den samme initiale frigivelse fra filterjorden som det er tilfældet for f.eks. fosfor og kvælstof – dog er median og gennemsnit i tabellen regnet på samme periode som de øvrige parametre for sammenligneligheden.

Zn-indholdet i vandet stiger fra indløb til udløb, hvis man ser på median og gennemsnit fra februar til december 2023. Koncentrationen stiger 57,9% (fra 0,019 mg/L til 0,030 mg/L), hvis man kigger på medianværdierne, mens koncentrationen stiger 51,7% (fra 0,029 mg/L til 0,044 mg/L), hvis man ser på gennemsnitsværdierne (TABEL 5.5).

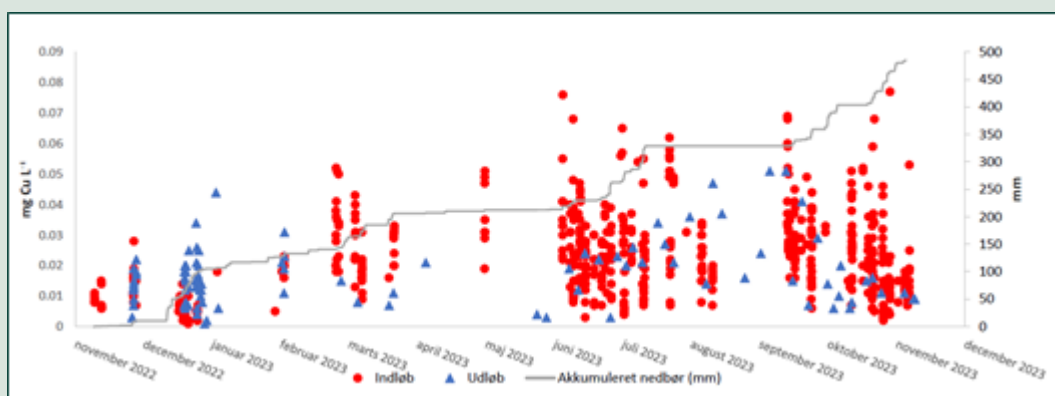
Zn udgør 17,8% og 61,2% af TZn for henholdsvis ind- og udløb, hvis man ser på medianværdierne, mens Zn udgør 39,2% og 62% af TZn for henholdsvis ind- og udløb, hvis man ser på gennemsnitsværdierne (TABEL 5.5).



FIGUR 5.23. Koncentrationen af TCu mg/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanten viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

TCu. Generelt ligger koncentrationen af TCu i indløbet nogenlunde stabilt, dog med en større spredning. Koncentrationen ligger mellem $\sim 0,02$ mg/L og $\sim 0,1$ mg/L hen over måleperioden (november 2022 – december 2023). Dog ses enkelte punkter, der er højere end dette. I december 2022 og februar 2023 måles henholdsvis $\sim 0,2$ mg/L og $0,275$ mg/L. Det samme billede ses for udløbet, hvor koncentrationen for hele måleperioden ligger mellem 0 mg/L og $0,05$ mg/L. For TCu ses ikke en udpræget initial frigivelse fra filterjorden som det er tilfældet for f.eks. fosfor og kvælstof – dog er median og gennemsnit i tabellen regnet på samme periode som de øvrige parametre for sammenligneligheden (FIGUR 5.23).

Kobber tilbageholdes i filterjorden. TCu-koncentrationen i vandet fra indløb til udløb falder 39% ($0,041$ mg/L til $0,025$ mg/L), hvis man ser på mediankoncentrationen og 46% ($0,046$ mg/L til $0,025$ mg/L), hvis man ser på gennemsnitskoncentrationen for perioden februar 2023 til december 2023 (TABEL 5.5).

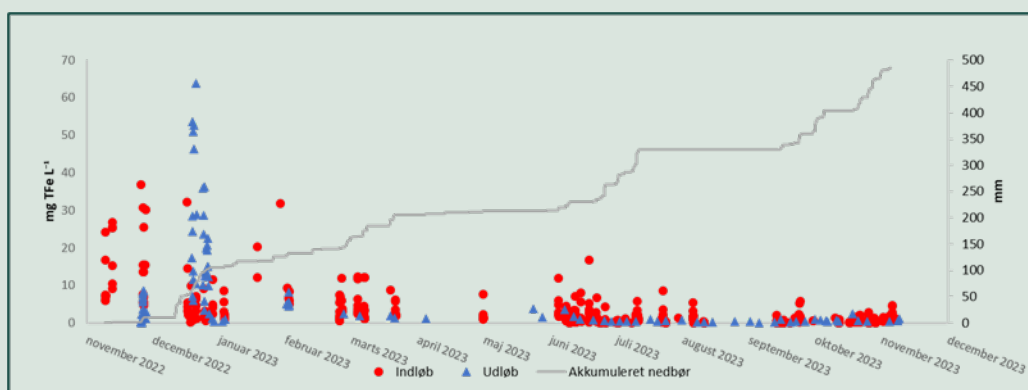


FIGUR 5.24. Koncentrationen af Cu mg/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanten viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

Cu. Koncentrationen af Cu varierer meget hen over måleperioden. Der er ligeledes en større spredning på de målte koncentrationer. For indløbet ligger koncentrationen det første halvår mellem ~0 mg/L og 0,05 mg/L, mens koncentrationen det andet halvår ligger mellem ~0,001 mg/L og ~0,075 mg/L. I udløbet ses også stor variation i koncentrationen af Cu. Billedet ligner meget det samme som indløbet med koncentrationer mellem ~0 mg/L og 0,045 mg/L i det første halvår og mellem ~0,001 mg/L og ~0,05 mg/L for det andet halvår (FIGUR 5.24). Som for T_{Cu} ses der for Cu ikke en udpræget initial frigivelse fra filterjorden som det er tilfældet for f.eks. fosfor og kvælstof.

Cu i vandet fra indløb til udløb falder 22% (0,023 mg/L til 0,018 mg/L), hvis man ser på mediankoncentrationen og 24% (0,025 mg/L til 0,019 mg/L), hvis man ser på gennemsnitskoncentrationen for perioden februar 2023 til december 2023 (TABEL 5.5).

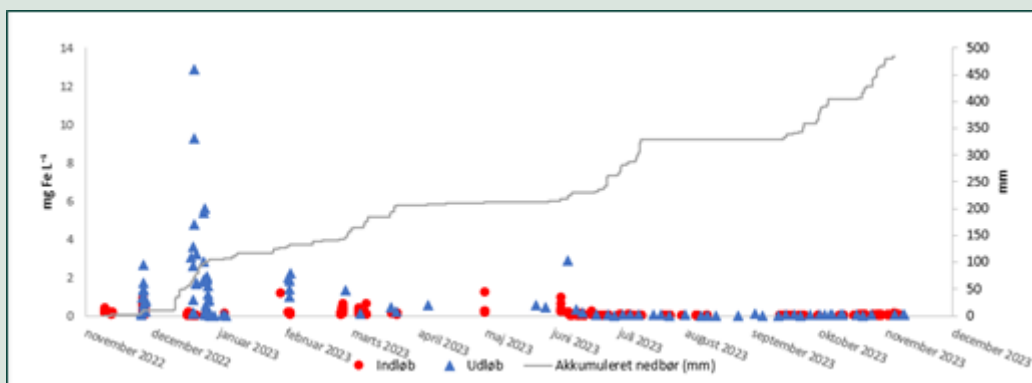
Cu udgør 56,1% og 72% af T_{Cu} for henholdsvis indløb og udløb, hvis man ser på medianværdierne, mens Cu udgør 54,4% og 76% af T_{Cu} for henholdsvis indløb og udløb, hvis man ser på gennemsnitsværdierne (TABEL 5.5).



FIGUR 5.25. Koncentrationen af TFe mg/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanter viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

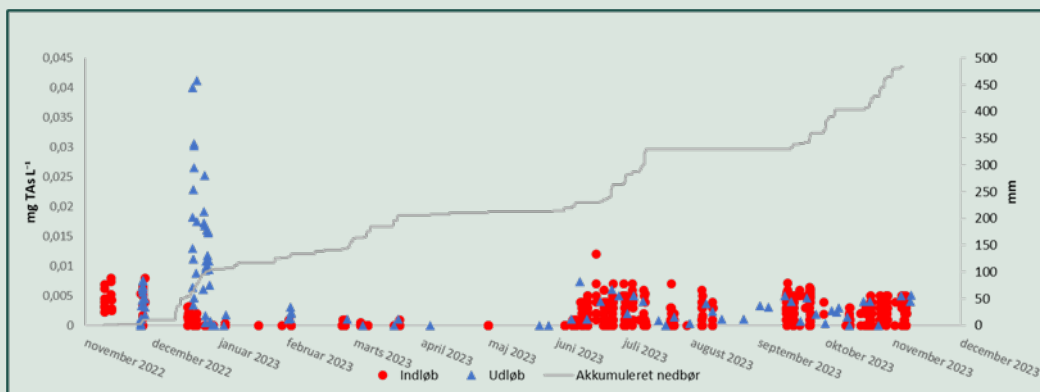
TFe. For indløbsvandet ses der i de første 3 måneder en øget koncentration af TFe i indløbsvandet med en koncentration mellem 0 mg/L og ~38 mg/L, hvorefter koncentrationen falder til mellem 0 mg/L og ~18 mg/L fra februar 2023 til juli 2023. I den sidste del af måleperioden ligger koncentration af TFe i indløbsvandet mellem 0 mg/L og ~5 mg/L. Der ses ligeledes i de første 3 måneder af bedets levetid, en forøget koncentration i udløbsvandet som skyldes en pulje af jern i filterjorden, som vaskes ud initialt med en koncentration mellem 0 mg/L og ~65 mg/L. Koncentrationen af TFe i udløbsvandet er herefter tæt på 0-2 mg/L for resten af perioden (FIGUR 5.25).

TFe-koncentrationen i vandet er meget sammenlignelig fra indløb til udløb. Det er ikke et mål at filterjorden tilbageholder jern. Jernkoncentrationen måles da jern i jorden bidrager til at tilbageholde andre stoffer i jorden. Median- og gennemsnitsværdier for TFe er også derefter med henholdsvis median 0,7 mg/L for både indløb og udløb og gennemsnitlig 1,6 mg/L for indløb og 1,4 mg/L for udløb (TABEL 4.5).



FIGUR 5.26. Koncentrationen af Fe mg/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanter viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

Fe. Koncentrationen af Fe i indløbsvandet ligger mellem 0 mg/L og 1 mg/L for hele måleperioden. Vejbedet bliver derfor næsten ikke tilført noget jern fra oplandet. I udløbet fra bedet er koncentrationen af Fe nogenlunde konstant med en koncentration mellem 0 mg/L og 2 mg/L. Dog ses i de første 3 måneder af bedets levetid, en forøget koncentration i udløbsvandet som skyldes en pulje af jern i filterjorden, som vaskes ud initialt. Her ligger koncentrationen mellem 0 mg/L og 13 mg/L ved den højeste måling (FIGUR 5.26). Fe udgør 5% og 4,9% af TFe for henholdsvis ind- og udløb, hvis man ser på medianværdierne, men Fe udgør 4,4% og 24,8% af TFe for henholdsvis ind- og udløb, hvis man ser på gennemsnitsværdierne (TABEL 5.5).

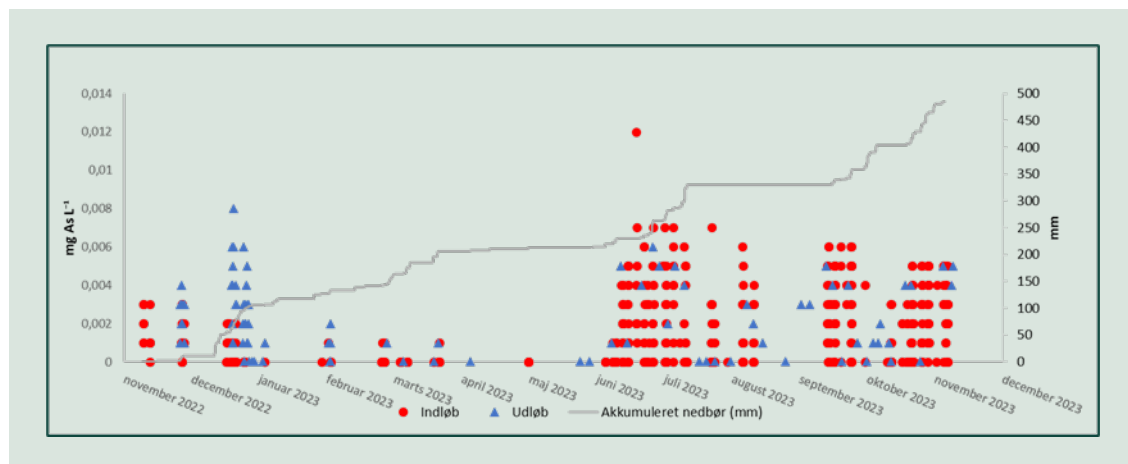


FIGUR 5.27. Koncentrationen af TAs mg/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanter viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

TAs. I det første halvår af måleperioden er koncentrationen af TAs i indløbsvandet lav. De første 2 måneder af måleperioden ligger koncentrationen mellem ~0 mg/L og ~0,008 mg/L, hvorefter koncentrationen falder til ~0 mg/L indtil sommeren. Her stiger koncentrationen til mellem 0 mg/L og ~0,008 mg/L og forbliver i dette interval for resten af måleperioden. I

udløbet fra bedet varierer koncentrationen af TAs også men der måles generelt lave koncentrationer efter de første 3 måneder på mellem 0 mg/L og ~0,008 mg/L. I de første 3 måneder af bedets levetid, ses en forøget koncentration i udløbsvandet som sandsynligvis skyldes en pulje i filterjorden, som vaskes ud initialt. Her er den højeste koncentration på ~0,041 mg/L (FIGUR 5.27).

Medianværdierne for både ind- og udløb er i måleperioden 0,001 mg/L. Ligeledes er gennemsnitsværdierne de samme for både ind- og udløb på 0,002 mg/L (TABEL 5.5). Ser man på alle de målte koncentrationer for arsen så overholder alle de målte koncentrationer (også i de første 3 måneder af bedets levetid) korttidsvandkvalitetskriteriet på 43 µg/L.



FIGUR 5.28. Koncentrationen af As mg/L målt i indløb og udløb over perioden november 2022 til december 2023. De røde prikker viser data for indløb, mens de blå trekanter viser data for udløb. Den grå streg viser den akkumulerede nedbør mm i perioden.

As. Koncentrationen af As varierer fra første til andet halvår. I første halvår ligger koncentrationen mellem 0 mg/L og ~0,003 mg/L, men koncentrationen i andet halvår ligger mellem 0 mg/L og ~0,007 mg/L. I udløbet fra bedet varierer koncentrationen af As også, men der måles generelt lave koncentrationer efter de første 3 måneder (mellem 0 mg/L og ~0,008 mg/L). I de første 3 måneder af bedets levetid, ses en forøget koncentration i udløbsvandet som sandsynligvis kommer en pulje i filterjorden, som vaskes ud initialt (FIGUR 5. 28).

As udgør 100% af TAs for både ind- og udløb, når man ser på både median- og gennemsnitsværdierne. Median- og gennemsnitsværdierne er derfor de samme som for TAs (TABEL 5.5).

TABEL 5.5. Tabel over median og gennemsnitskoncentrationen for alle de målte parametre i udløbsvandet i perioden februar 2023 – december 2023. De målte parametre var: suspenderede stoffer (SS), pH, farve DOC, TP, P, TN, TZ, Z, TCu, Cu, TFe, Fe, TAs og As. Derudover fremkommer median og gennemsnit for farve i 2. halvår (juli-december).

Perioden februar 2023 – december 2023	Indløb	Udløb
SS mg/L (median)	54	29
SS mg/L (gennemsnit)	158	39
SS % < 63 µm (median)	41	59

Perioden februar 2023 – december 2023	Indløb	Udløb
SS % < 63 um (gennemsnit)	41	55
pH (median) 1. halvår	7,8	8,6
pH (gennemsnit) 1. halvår	7,6	8,7
pH (median) 2. halvår	7,0	7,3
pH (gennemsnit) 2. halvår	7,0	7,4
Farve Pt mg/L (median)	41	38
Farve Pt mg/L (gennemsnit)	52	72
DOC mg/L (median)	15,2	10,2
DOC mg/L (gennemsnit)	22,4	16,4
TP mg/L (median)	0,277	0,112
TP mg/L (gennemsnit)	0,421	0,167
Fosfat mg/L (median)	0,072	0,063
Fosfat mg/L (gennemsnit)	0,192	0,101
TN mg/L (median)	0,595	0,604
TN mg/L (gennemsnit)	0,921	0,855
TZn mg/L (median)	0,045	0,049
TZn mg/L (gennemsnit)	0,074	0,071
Zn mg/L (median)	0,019	0,030
Zn mg/L (gennemsnit)	0,029	0,044
TCu mg/L (median)	0,041	0,025
TCu mg/L (gennemsnit)	0,046	0,025
Cu mg/L (median)	0,023	0,018
Cu mg/L (gennemsnit)	0,025	0,019
TFe mg/L (median)	0,7	0,7
TFe mg/L (gennemsnit)	1,6	1,4
Fe mg/L (median)	0,035	0,034
Fe mg/L (gennemsnit)	0,071	0,347
TAs mg/L (median)	0,001	0,001
TAs mg/L (gennemsnit)	0,002	0,002
As mg/L (median)	0,001	0,001
As mg/L (gennemsnit)	0,002	0,002
Perioden 2. halvår (juli-december)	Indløb	Udløb
Farve Pt mg/L (median)	40	28
Farve Pt mg/L (gennemsnit)	47	38

Sammenfatning

Opsummeret har filterjorden en stabiliseringsperiode på 2-3 måneder, hvor der er en initialudledning af nogle af de målte parametre. Efter denne periode sker der et markant fald i median- og gennemsnitskoncentrationen fra indløb til udløb for suspenderet stof, DOC, TP og Cu. For flere af parametrene er der en god retention. Det ses bl.a. hos DOC, TP, Fosfat, TN, TCu og Cu, der alle er parametre, hvor filterjorden holder udvaskningen tilbage. F.eks. holdes 73% af DOC tilbage fra indløb til udløb (gennemsnitsværdi). Ligeledes holdes 39,7% TP tilbage fra indløb til udløb (gennemsnitsværdi), hvoraf 52,6% af fosfat holdes tilbage.

5.1.2.1 Opsummering

Filterjorde bruges oftere og oftere til rensning af afstrømmende regnvand i forskellige typer af anlæg i Danmark – herunder vejbede. Både vejbedene og filterjordene er dog ofte meget forskellige og skal ikke kunne det samme. Vejbedene kan f.eks. nedsive, aflede til recipient eller magasinere vandet til der bliver plads på kloaknettet. De tre situationer stiller vidt forskellige krav til hvad bedene og jordene skal kunne både mht. opholdstid, rensegrader og dermed design. Den nuværende danske guide til sammensætningen af filterjorde er meget bred og giver indenfor rammerne mulighed for blanding af jorde som overholder forskrifterne, men som er vidt forskellige. Dertil kommer at jordene indimellem er meget unaturlige (f.eks. uden biologisk liv pga. varmebehandlet jord eller andet), og transporteres over store afstande hvis der ikke bruges lokale komponenter. Endelig bruges der ind imellem f.eks. kompost eller andet som bidrager med et meget stort næringsindhold i jorden og dermed risiko for udledning af næringsstoffer i stedet for rensning.

Pga. ovenstående har det været relevant at opnå mere viden omkring mulighederne for at udvikle flere/nye jordtyper, øge kendskabet til komponenternes effektivitet og undersøge potentialet for at udvikle nye opskrifter på filterjord også med lokale og mere naturlige komponenter samt evt. komponenter fra andre processer såsom jernslam fra drikkevandsproduktion eller biokul.

Undersøgelserne af enkeltmaterialerne viste generelt at filtersand er en vigtig komponent i jordene for at opretholde en tilstrækkelig hydraulisk ledningsevne og en god filtrationsevne. Derudover sås en god rensning for fosfor, zink og kobber for mange enkeltmaterialer inkl. test af naturlige jorde f.eks. lavbundsjord med et højt kulstofindhold. Men undersøgelserne viste også at nogle komponenter kan være problematiske og udlede større mængder af fosfor og evt. let nedbrydeligt organisk stof, således at komponenten er en næringsstofkilde i stedet for et rensemedie. Det gjaldt f.eks. den ene type biokul og kompost. Derudover er det vigtigt at være opmærksom på indsvingningstiden, altså det faktum at materialerne i starten når der ledes vand igennem kan udlede f.eks. kolloider og små partikler som vaskes ud eller let adsorberet materiale indeholdende f.eks. fosfor.

På baggrund af undersøgelserne af enkeltmaterialerne var det interessant at arbejde videre med udviklingen af nye jordopskrifter indeholdende filtersand, en organisk komponent og en eller flere adsorptionskomponenter med det i mente at jordene både skulle have en tilstrækkelig hydraulisk ledningsevne, rense for i dette tilfælde som minimum suspenderet, fosfor, zink og kobber som testparametre og samtidig tillade plantevækst som beskrevet andetsteds i nærværende rapport. Der blev først udviklet 3 jorde (jord 1-3) og på baggrund af disse blev jord 2b og 3b udviklet og endelig blev jord 4 udviklet på baggrund af jord 2b og 3b. Som beskrevet senere viser jord 4 sig dog at være en helt andet type jord – se mere nedenfor. Arbejdet med udviklingen af jordene og de forskellige undersøgelser viste at det er muligt at bruge naturlige jordkomponenter som f.eks. lavbundsjord med et godt resultat og dermed rensning for både suspenderet stof, fosfor og metaller zink og kobber. Fjernelsen af suspenderet stof er generelt god pga. indholdet af filtersand i jordene. Tilbageholdelsen af fosfor sker så snart der er kalk og/eller Fe i jordene og tilbageholdelse af en stor andel af det tilførte zink og kobber sker i alle jordene.

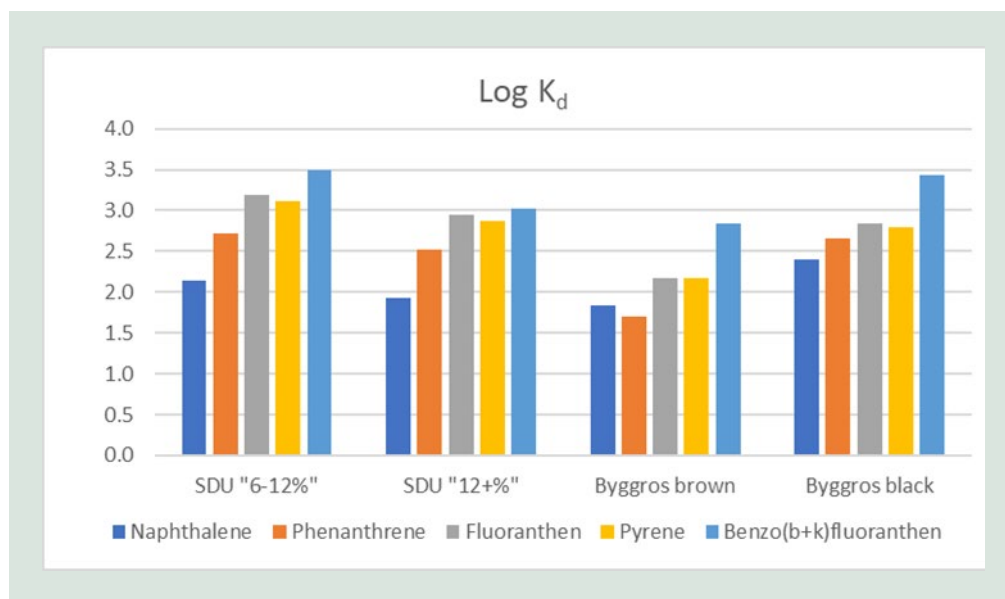
I udviklingsfasen blev sphagnum undervejs sorteret fra da sphagnum er en naturlig ressource som stammer fra højmoser og dermed bidrager man ved anvendelsen til fjernelse af værdifuld

natur. Derudover frigiver nogle af sphagnumtyperne humusstoffer hvilket er uønsket. Kompost og biokul blev ikke anvendt pga. frigivelsen af særligt fosfor og importerede materialer blev fravalgt af bæredygtighedshensyn. Derfor kom de endelige jordtyper jord 3b og jord 4 til at bestå af sand, en naturlig jordkomponent, kalk og jernslam. Jord 3b var med lavbundsjord med højt kulstofindhold, hvilket gav gode resultater i alle tests. Derfor blev der arbejdet videre med de 4 komponenter i jord 4 dog med lidt lavere sandindhold og tilsvarende højere indhold af den naturlige jordkomponent for at sikre tilstrækkelig opholdstid. Jord 4 viste sig dog at være helt anderledes end jord 3b idet lavbundsjorden ikke blev taget fra et lavbundsareal med ferskvandstørveindhold, men et sted fra et lavbundsareal på indvundet havbund, hvilket gav andre egenskaber – se mere under afsnittene om testanlægget på Kallerupvej hvor jord 4 blev brugt.

Det kan konkluderes på baggrund af ovenstående arbejde med udvikling af jordene, at den bedste jord er jord 3b bestående af nedenstående komponenter, men at det også er muligt at blande gode jorde bl.a. med råjord. Den endelige blanding bør også være betinget af om vandet efterfølgende skal udledes til recipient eller om det skal nedsives eller ledes retur til kloak.

5.1.3 PAH

For at skelne mellem sorption og bionedbrydning blev sorptionskonstanter (K_d) af PAH på 4 forskellige substrater bestemt. K_d bliver rapporteret i log værdier, da forskellen kan være betydelig. Som forventet er sorption af Benzo(a)fluoranten højest og af Naphthalen lavest.



FIGUR 5.29. Log værdier af ligevægtskonstanter af 5 PAH i fire forskellige jordtyper.

K_d giver også en volumen ratio hvor stofferne er i ligevægt mellem to faser dvs. et estimat af hvornår jorden er mættet. Dette kaldes en empty bed volume (EBV). En EBV-værdi på 1000 betyder at 1 m³ filter kan behandle 1000 m³ vand, en EBV-værdi på 10 mener at samme 1 m³ filterjord kan behandle 10 m³ vand (TABEL 5.6).

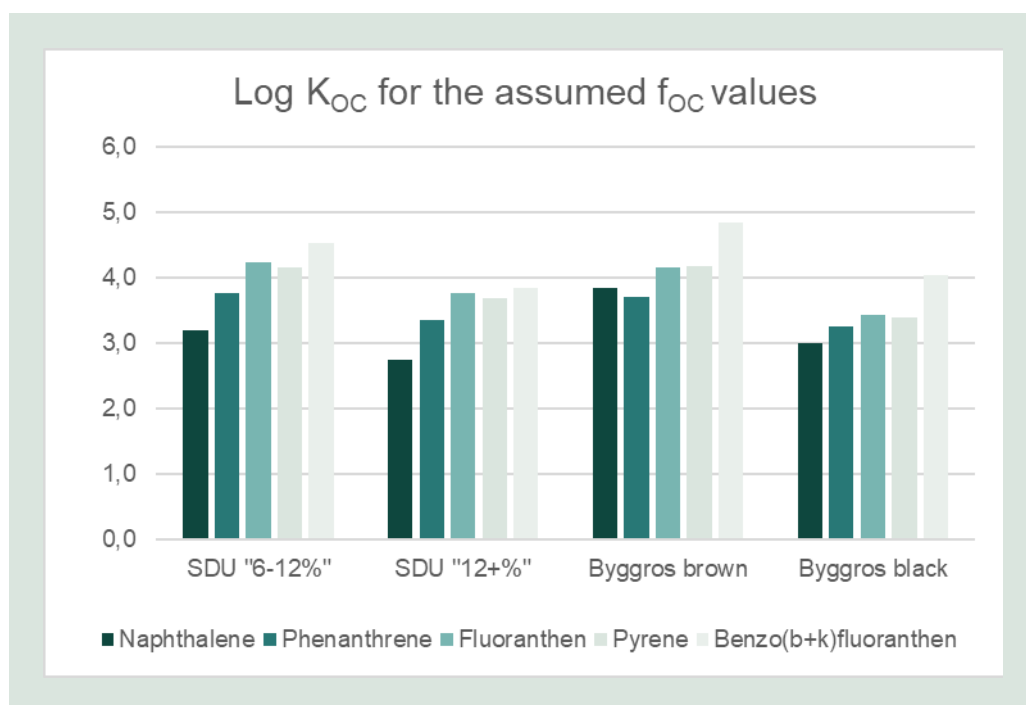
TABEL 5.6. K_{ow}, K_d og K_{oc} af filtermaterialerne.

	Reported * log K _{ow}	Measure d log K _d Se graf	Estimate d Empty Bed Volumes:	Assuming f _{oc} for calculatin g K _{oc}	Resultin g log K _{oc} Se graf	Reported** log K _{oc} in different soils
Naphthalen	3.3					Naphthalen
SDU 6-12%		2.1	140	0.09	3.2	"Woodburn" 2. 6
SDU 12+%		1.9	85	0.15	2.8	"Elliot" 2. 6
<i>Byggros</i> brown		1.8	70	0.01	3.8	"Marlette" 2. 7
<i>Byggros</i> black		2.4	247	0.25	3.0	"Piketon" 2. 8
						"Anoka" 2. 8
Phenanthren	4.46					Phenanthren
SDU 6-12%		2.7	518		3.8	"Woodburn" 4. 3
SDU 12+%		2.5	335		3.3	"Elliot" 4. 3
<i>Byggros</i> brown		1.7	51		3.7	"Marlette" 4. 1
<i>Byggros</i> black		2.7	458		3.3	"Piketon" 4. 3
						"Anoka" 4. 1
Fluoranthren	5.16					
SDU 6-12%		3.2	1522		4.2	
SDU 12+%		2.9	887		3.8	
<i>Byggros</i> brown		2.2	147		4.2	
<i>Byggros</i> black		2.8	690		3.4	
Pyren	4.88					Pyren
SDU 6-12%		3.1	1318		4.2	"Woodburn" 5. 0
SDU 12+%		2.9	733		3.7	"Elliot" 5. 0
<i>Byggros</i> brown		2.2	148		4.2	"Marlette" 5. 0
<i>Byggros</i> black		2.8	623		3.4	"Piketon" 5. 0

	Reported * log K _{OW}	Measure d log K _d Se graf	Estimate d Empty Bed Volumes:	Assuming f _{oc} for calculatin g K _{OC}	Resultin g log K _{OC} Se graf	Reported** log K _{OC} in different soils
						"Anoka" 5.0
Benzo(b+k)fluoranthene	5.78 / 6.11					
SDU 6-12%		3.5	3115		4.5	
SDU 12+%		3.0	1048		3.8	
Byggros brown		2.8	688		4.8	
Byggros black		3.4	2697		4.0	

Eftersom Byggros lys/brown ikke indeholder nogen tilsat organisk materiale, var det forventet at jorden ikke sorberer ret meget og sorption er også ret lavt, men stadigvæk overraskende høj. For at forstå forskellen mellem flere materialer kan K_{OC} værdierne med fordel bruges – dette blev opnået med at tage hensyn til fraktilen af organisk materiale i filterjordene. Hvis det organiske materiale er nogenlunde kemisk ens, skulle K_{OC} værdierne for samme PAH være ens. For Byggros lys/brown blev der tildelt en fraktil af organisk materiale af 1%.

$$K_{OC} = \frac{K_d}{f_{oc}}$$



FIGUR 5.30. Resultaterne viser om K_{OC} passer til litteraturen (TABEL 5.6).

Nedbrydning i kolonneforsøg

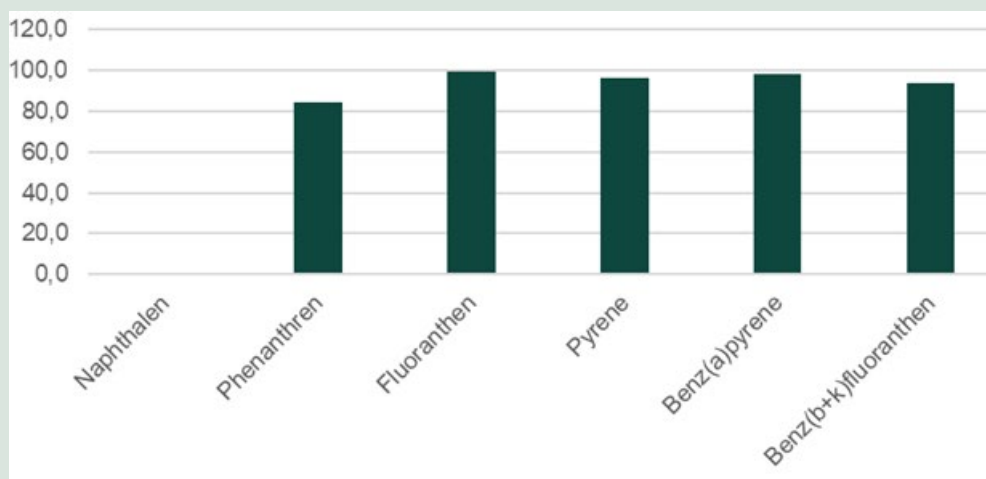
Makroskopiske observationer: De to muldjordstyper kollapsede og stoppede til under permanent drift (forsøg med disse kolonner afsluttede med dette resultat (FIGUR 5.31).

Filterjord Byggros lys/brown gik næsten i opløsning under eksperiment og det var derfor nødvendigt at tilsætte yderligere materiale for at kunne opretholde kolonnedrift.



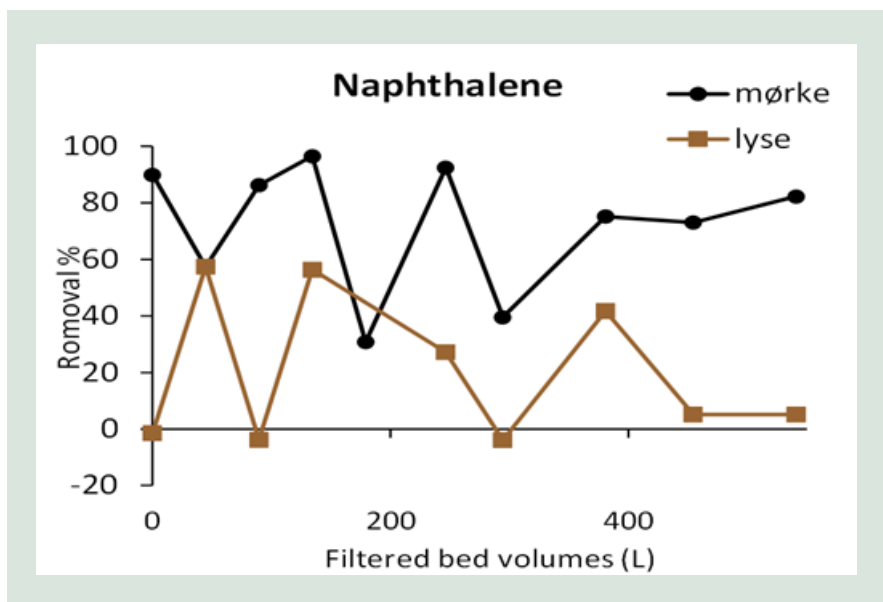
FIGUR 5.31. viser filterkolonne med kollapsed jord.

I begyndelsen var fjernelsen af alle stoffer i alle materialer høj – selv i Byggros lys/brown (FIGUR 5.32).



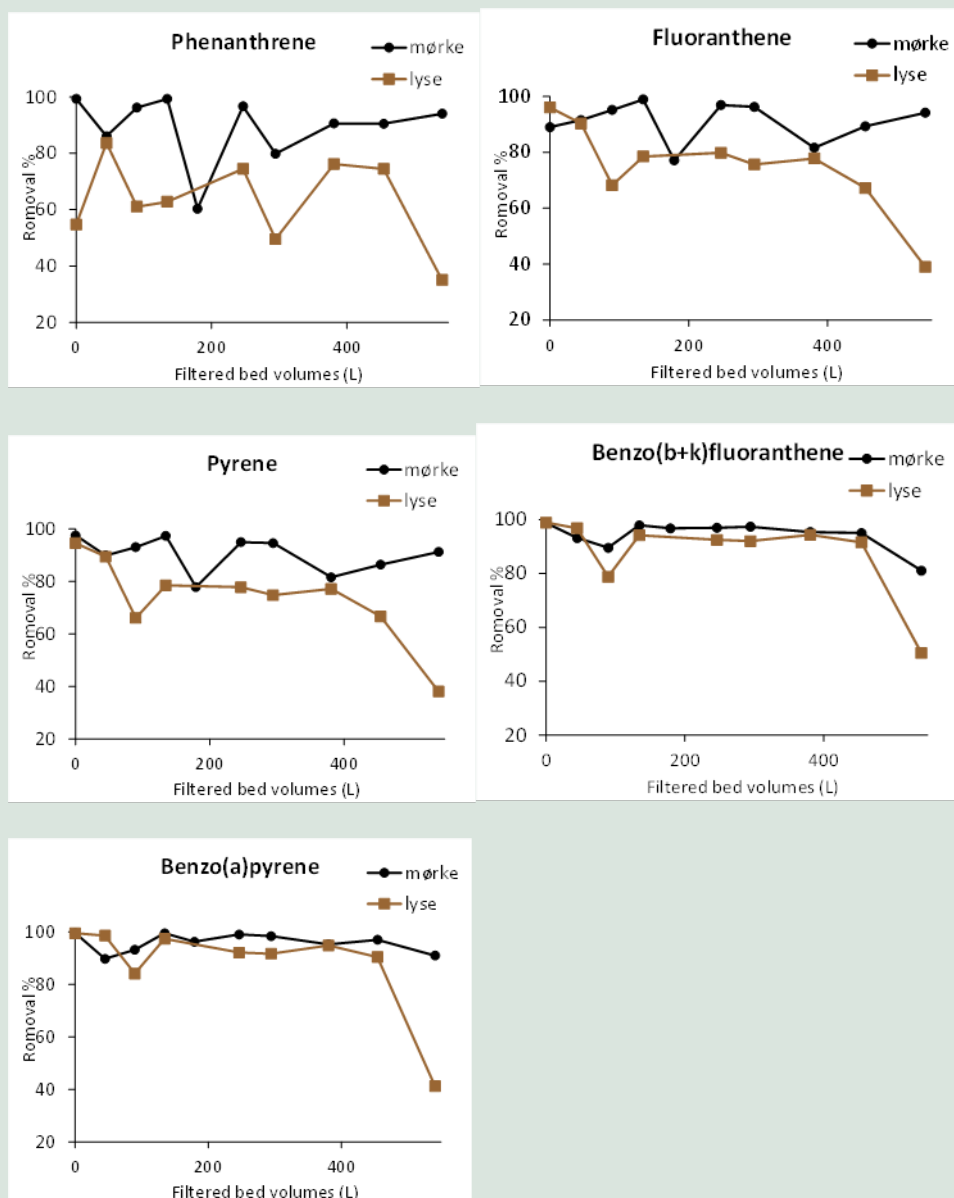
FIGUR 5.32. Fjernelse af PAH i begyndelsen af forsøget.

Det var forventet at sorptionskapaciteten blev mættet og at nedbrydning ville tage over efter udregnet EBV (Lys=70; Mørke=250 for Naphthalen). Som ses i FIGUR 5.33, pågår fjernelsen betydelig længere hvilket kan fortolkes som at der sker bionedbrydning i kolonnerne.



FIGUR 5.33. Fjernelse af Naphthalen over tid i filterkolonne.

Det samme blev observeret for de andre PAH også viste at fjernelsen er højere og tager længere tid (FIGUR 5.34): fjernelsen af PAH (uden Naphthalen) er stabil mellem 84 og 99,5% over 540 EBV.



FIGUR 5.34. Fjernelse af forskellige PAH i filterkolonner over tid.

Sammenfatning

Forsøget viste at fjernelse af opløst PAH i filterkolonner er højt (80-100%). Hvis start koncentrationen er omkring 1 µg/L (typisk for vejafløb) kan koncentrationer mellem 0,1 og 0,01 µg/L opnås. Under stabil kørsel > 540 bed volumina (EBV) dvs en 1m³ filter kan det forventes at jordtyperne kan behandle betydelig mere end 540 m³ vand.

5.1.4 Hybridbedforsøg hos Byggros

Hybridbedene er projektets forsøg på at imødekomme udfordringerne man møde i hhv. in situ målinger på regnvandsbede, og laboratoriemålinger på små kolonner eller i reagensglas.

Ved in situ målinger i terræn er det svært at fange alt indløbsindløbsvandet og endnu sværere at måle udløbsvandet da dette typisk nedsiver eller udledes under terræn. Mængderne af ind-

og udløbsvand er også svært målbare hvorfor rensegraden bliver svær at definere. Desuden vil en række udefra kommende påvirkninger som hundeluftning, tilstopninger, lokal forurening mm. kunne påvirke resultatet og gøre det usikkert.

Ved laboratoriemålinger er man udfordret af at den meget lille skala som forsøgene laves i. Nok har man fuld kontrol over hvad der sker med ind- og udløb, men idet man maskinelt graver en jord og anvender den i laboratoriet, så har man ved berøring og flytning ændret jordens struktur og dermed egenskaber hvilket giver usikre data. Desuden vil flere jorde være problematiske at teste i små kolonner eller reagensglas da partikelfraktionerne kan være større end volumen i kolonnen/reagensglasset. Hvis partikelfraktionerne ændres for at tilpasse jorden til forsøgsopsætningen, har man igen ændret jordens struktur og dermed egenskaber hvilket giver forkert data.

I hybridbedene har projektet valgt at tage det bedste fra de to verdner og sammensmeltet det for at opnå mere troværdige data.

Hybridbedene er opstillet på samme vis som laboratoriets forsøgsopstillinger, med samme detaljeringsgrad og præcision, men med en skala og volumen på forsøgsenhederne som ikke går på kompromis med jordenes naturlige indlejringer og jordstrukturer.

Forsøgsdesignet, grundrammer

- Tankstørrelse: 100x120 cm. 117 cm høj. For at kunne lave en fuld indbygningshøjde på bedene, og at hydraulikken forventes at imitere real life
- Generel opbygning af hybridbed bundlag: EcoRaster, Net: Hate52144, for frit afløb
- Overfladeareal: 0,95 x 1,15 m ~1,09 m²
- Beregningsmæssig oplandsstørrelse for hændelser: 1:25 => 27,25 simulerede m²
- Regnhændelse: 10 min. 0,2 års hændelse valg fordi den dækker ca. 80 % af årsnedbøren. Sat til 52 L/s/ha x 1,2 i klimafaktor. Vandmængde: 102L/kørsel. Der blev monteret 72 dyser á 8,5 L/h. De gav dog nærmere 100 l på 10 min end 102. Der er derfor regnet med 100 l/hændelse
- Vandprofil: Udgangspunkt i BAT anvisningerne, dog med en højere N værdi:
- Fosfat: 400 µg/L
- Nitrat: 1200 µg/l (BAT: 400 µg/l)
- Zink: 200 µg/L
- Kobber: 50 µg/L
- Der er kun testet med opløste stoffer
- Gentagelser: Planlagt 100 gentagelser. Udført: 74 med forureningscocktail og 4 med rent vand
- Hastighed over ugerne: Udgangspunkt, tre regnhændelser/kørsler pr. uge
- Prøveudtagning: ved regnhændelse/kørsel nr. 1, 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43, 48, 53, 58, 63, 68, 73. Desuden ved regnhændelse/kørsel nr. 75, 76, 77, 78.
- Regnhændelse med rent vand: 20 min. 0,5 års hændelse. Vandmængde 200 L/kørsel
- Hydraulik: Ikke målt
- Antal replikationer: 1
- Samlet simulerede belastning: 74 x 100 + 4 x 200 = 8200 liter vand
- 8200 l / 27,25 m² = 301 mm regn.

TABEL 5.7. Jorddesign.

Jorde	Formål	
Filterjord 1	Rensning	Nedsivning
Filterjord 2	Rensning	Nedsivning
Bolbro, biokul, pimpsten	Rensning med forbedret hydraulik	Udledning til recipient
VCS, næringsrig nedsivningsjord	Rensning med forbedret hydraulik og forbedrede vækstegenskaber	Nedsivning
Kallerupvej, jord	Rensning forbedret rensning af P	Nedsivning
Kallerupvej, Real	Rensning forbedret rensning af P	Nedsivning

Testresultater, datakvalitet

Der er ikke replikationer af de enkelte hybridbede. Dette øger usikkerheden. Samtidig giver forsøget ikke information om i hvor høj grad det er muligt at replicere de enkelte vækstmedier, samt hvor stor betydning det vil have.

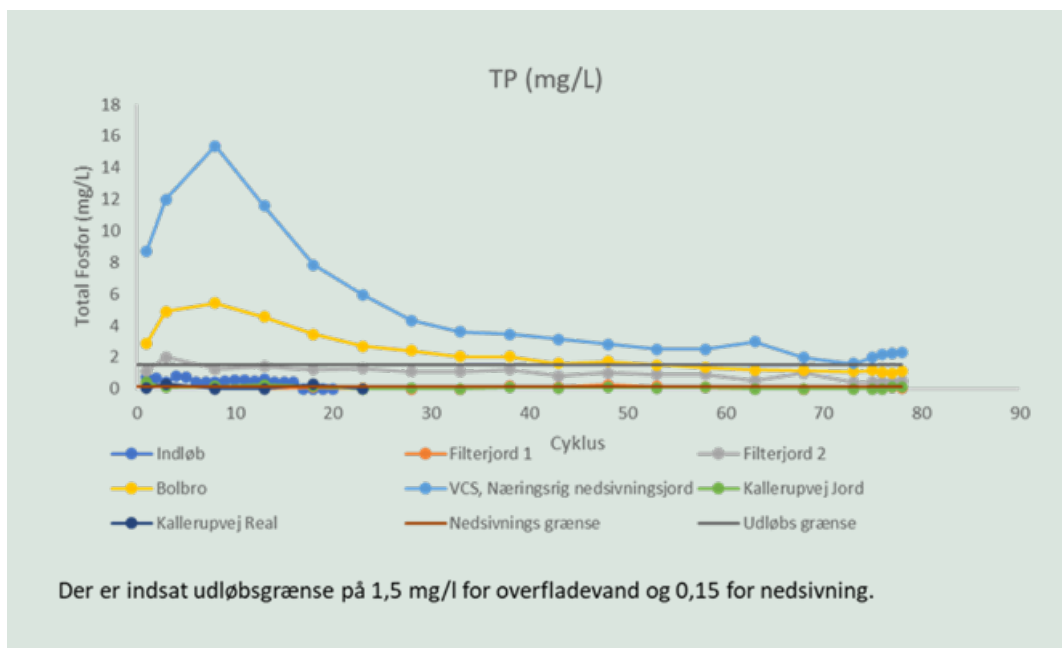
Omend er der 78 forsøgsgentagelser på de enkelte hybridbede og udtaget 19 prøvesæt for næringsstoffer, SS, konduktivitet, organisk stof og PH. Der er desuden udtaget 13 prøvesæt for metaller.

Generelt korrelerer data godt og udsving mellem prøvesæt er små. Dette peger på meget valide data og at forsøgssopstillingen i hybridbedene har fungeret godt inden for rammerne af forsøget. F.eks. nedenstående graf over målinger for suspenderet stof som umiddelbart kan se ud til at fluktuere lidt, men flere hybridbede, viser samme tendenser, så det er givetvis hydrauliske påvirkninger der gør sig gældende. Der ses også et øget udløb af SS fra alle bede, ved skylning med rent vand, hvor der blev kørt med dobbelt vandmængde i hændelserne.

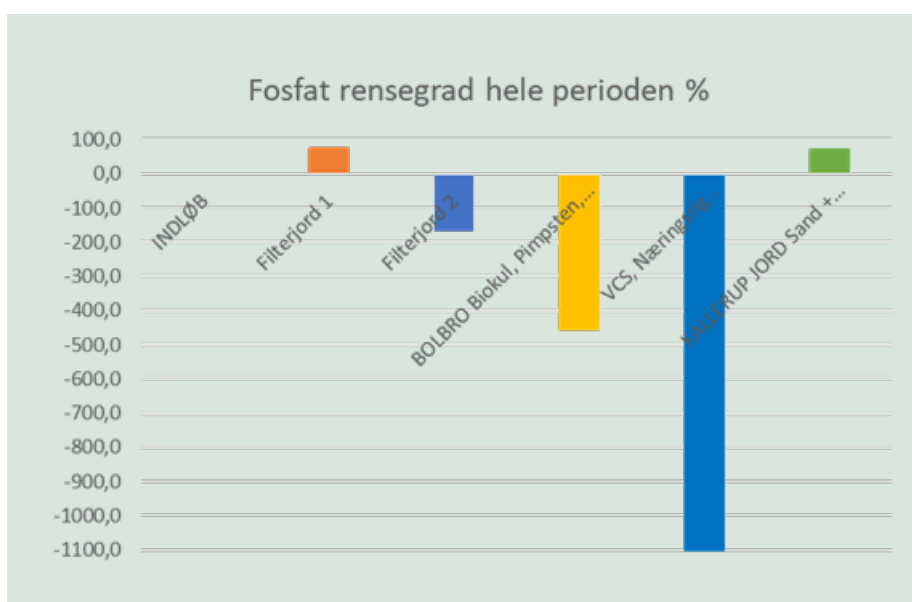
Testresultater P

Flere jorde heriblandt Filterjord 2, viste en del udvaskning i indkøringsfasen og nåede i løbet af testperioden ikke at opnå netto rensning. Alle jorde undtagen VCS, næringsrig nedsivningsjord nåede dog en udledning under 1,5 mg/L i testperioden.

Kallerupjorden og Filterjord 1 viste til gængæld rigtig god tilbageholdelse i testperioden begge over 80 % af Tot P og cirka 70% fosfat.



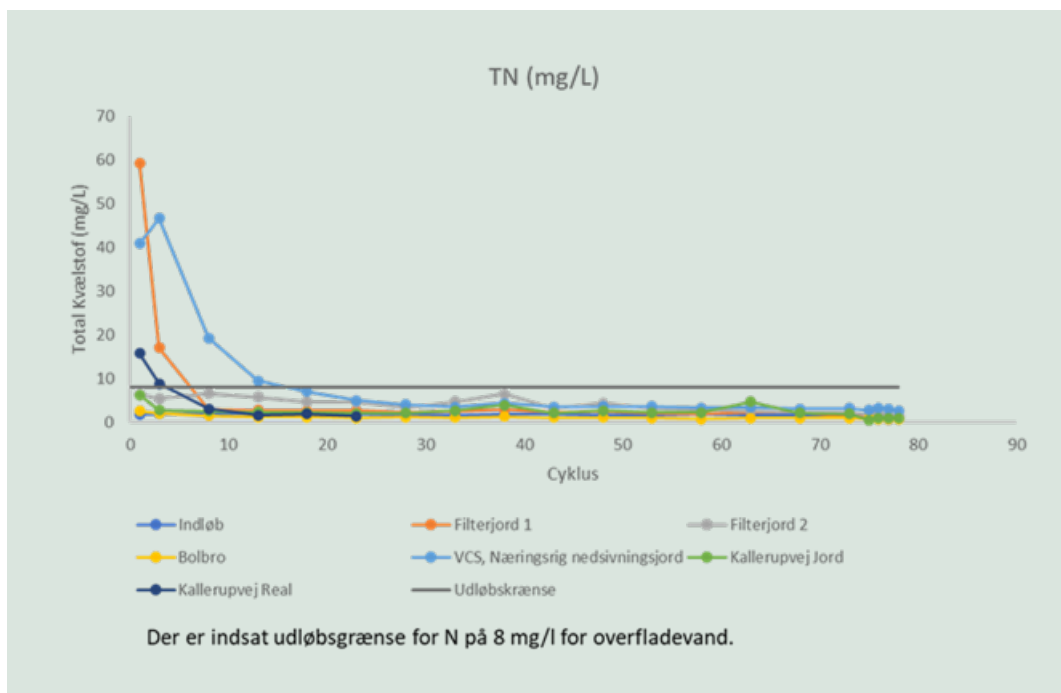
FIGUR 5.35. TP (mg/L).



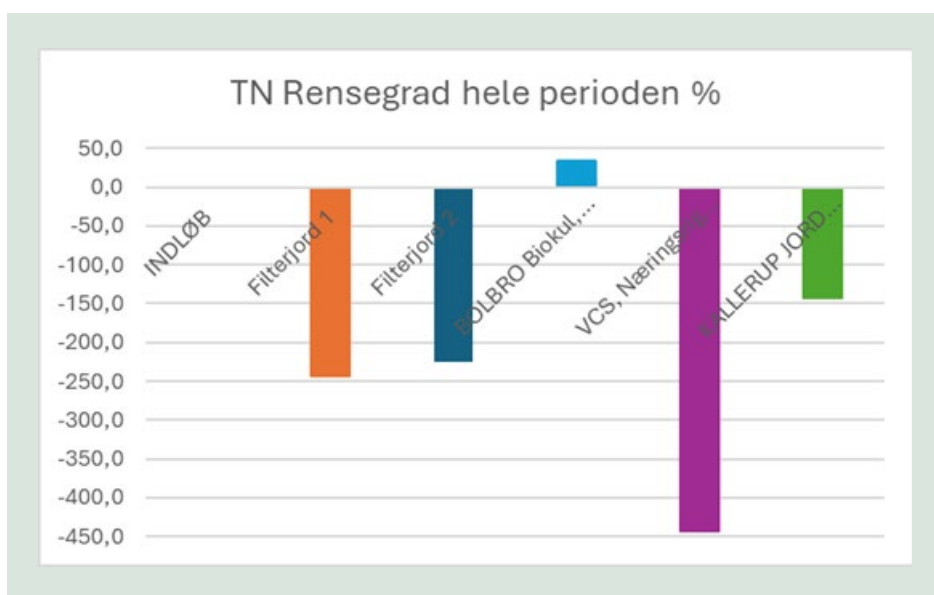
FIGUR 5.36. Fosfat rensegrad for hele forsøgsperioden.

Testresultater N

Generelt set ser det i testperioden ud til at være svært at tilbageholde N/Nitrat i jordsubstraterne. Selvom indløbsværdien er sat højt til 1,2 mg/L, ses der for alle jorde undtaget "Bolbro" jorden at der er et netto udløb på over 2 x indløbet. Så det N jorden indeholder fra start er også er meget svært at tilbageholde. "Bolbro" jorden rensede ~30%. Det kan bemærkes at "Kallerup Real" lækker mere N i indkøringen end "Kallerup Jord", det kan skyldes længere kontakttid.



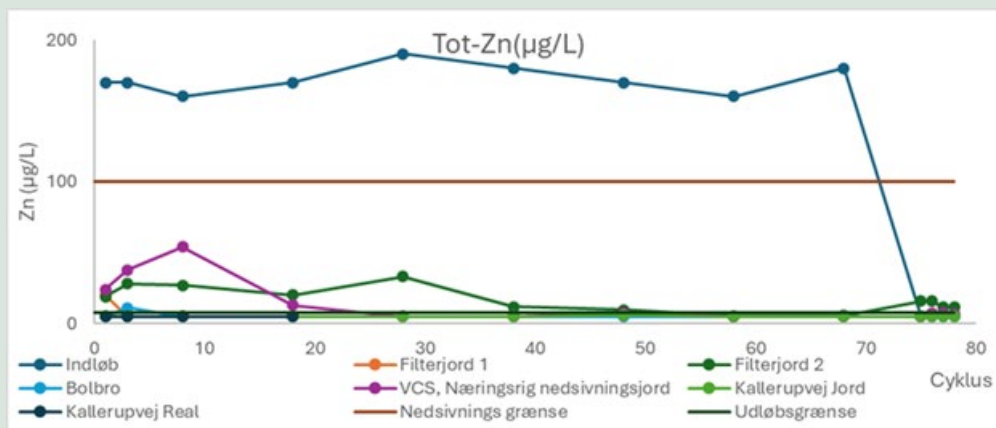
FIGUR 5.37. TN (mg/L) rensegrad.



FIGUR 5.38. TN rensegrad for hele forsøgsperioden.

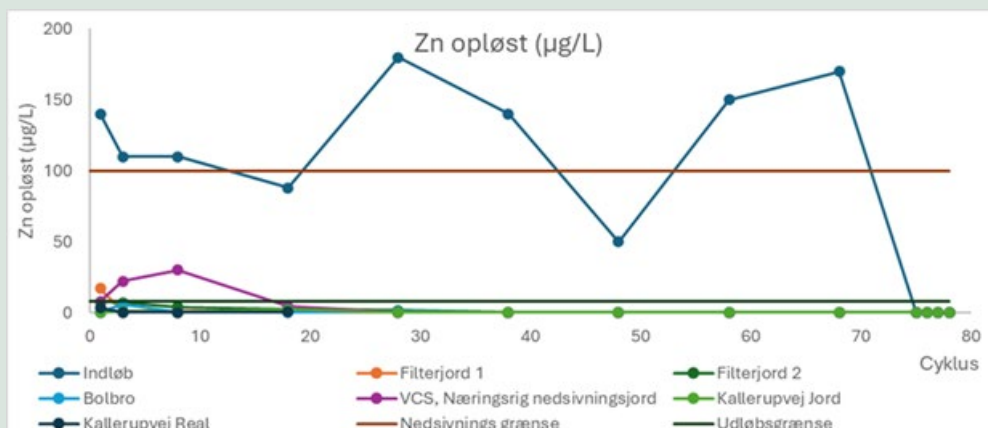
Testresultater Zn

Alle testede materialer renser generelt godt for zink. For Tot-Zn ser vi lidt udvaskning fra "VCS, Næringsrig nedsivningsjord" og for "Filterjord 2" i starten. Der ses desuden er lille udvaskning fra "Filterjord 2" på 12-16µg/L ved udskylningstest i slutningen af forsøget:



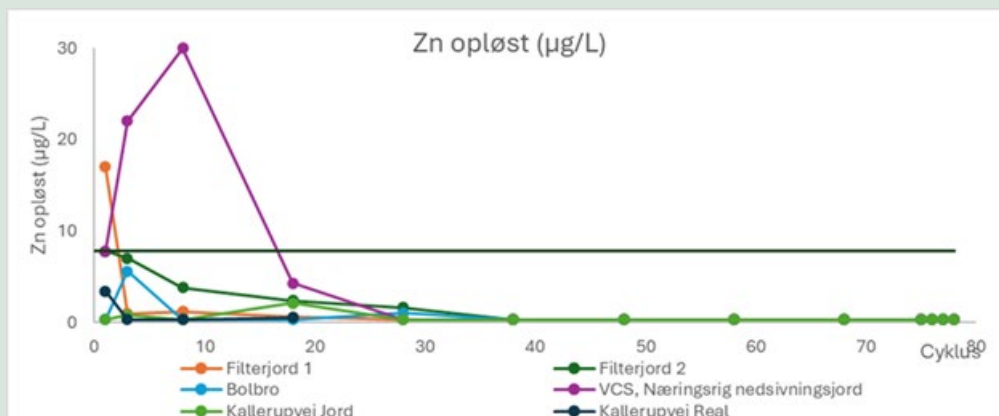
FIGUR 5.39. Total Zn (µg/L) rensegrad.

For filtreret/ opløst Zn kommer alle løsninger ned på et ekstremt lavt niveau under 1 µg/L efter ca. 28 kørsler. Der ses en udledning på 10-30 µg/l lige i starten fra "VCS, Næringsrig nedsivningsjord" som nok kommer fra udskylning som ses ovenfor. Samme tendens ses dog ikke for "Filterjord 2" Som performer fint fra start på den opløste del, trods lidt udskylning af tot-Zn:



FIGUR 5.40. Zn opløst (µg/L) rensegrad.

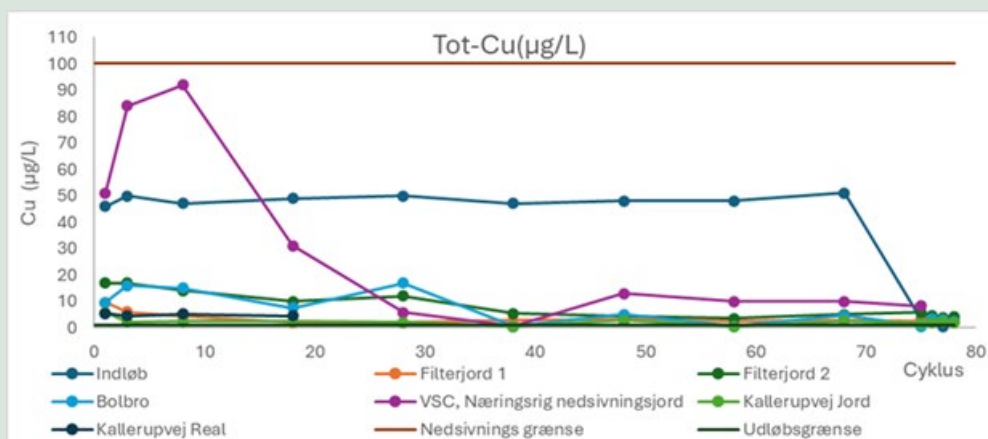
Samme graf som ovenfor, fokuseret på udledningsværdier:



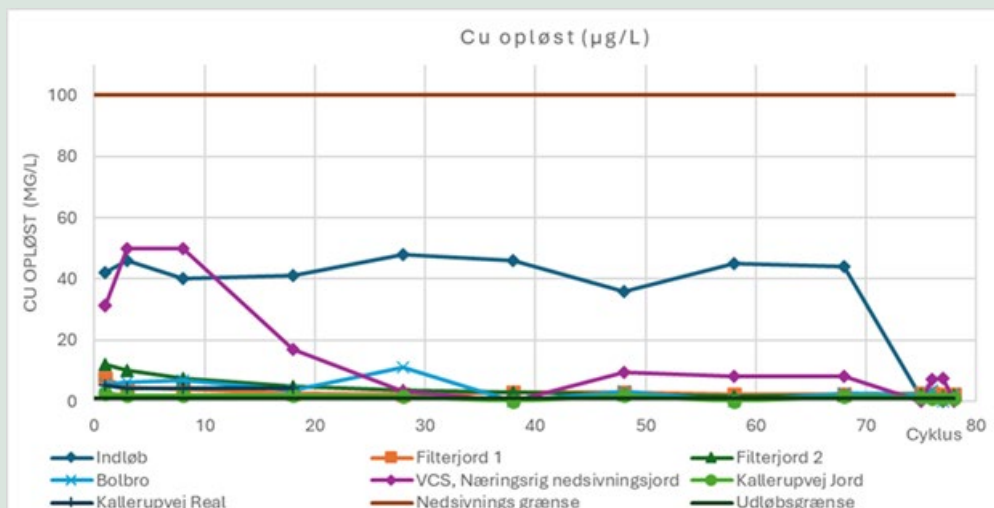
FIGUR 5.41. Zn opløst (µg/L) rensegrad.

Testresultater Cu

Vi så en del udskylning fra "VCS, Næringsrig nedsivningsjord" i starten, ellers performede alle substrater generelt godt. Hvis der fokuseres på en udløbsgrænse på 1-4,9 µg/L for opløst kobber, så kan det selvfølgelig godt være relevant at nærstudere:

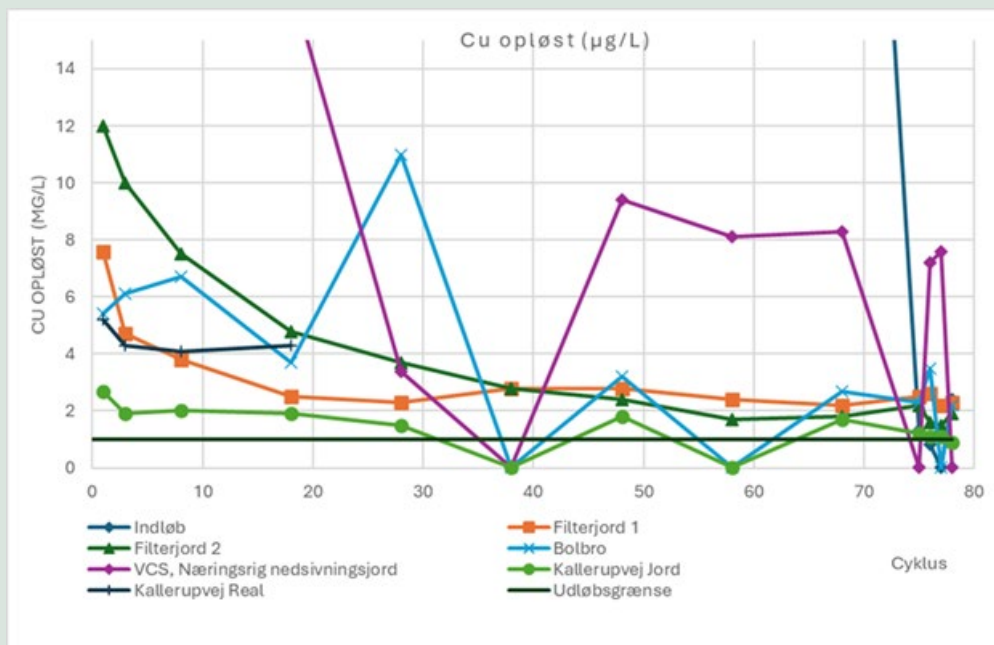


FIGUR 5.42. Total Cu (µg/L) rensegrad.



FIGUR 5.43. Cu opløst (µg/L) rensegrad.

Samme graf som ovenfor, fokuseret på udledningstværdier under 15 µg/L. "Bolbro" blandingen har en enkelt måling på 11 µg/L, eller ligger niveauet meget lavt omkring 3 µg/L for alle blandinger. "Kallerup jorden" performer helt ned omkring 2 µg/L i laboratorieforsøget, men der var en noget langsommere udsivning end forventet, som nok har fået den til at performe lidt bedre. "VCS, Næringsrig nedsivningsjord" svinger lidt, men lægger sig på et niveau omkring 8 µg/L også ved udskylning.



FIGUR 5.44. Cu opløst (µg/L) rensegrad.

I starten af forsøget blev der stillet to spørgsmål: 1) Opfører jordene sig som en buffer eller binder stofferne sig så hårdt, at de kan modstå det osmotiske ligevægtsprincip?

Ved lavbelastningsgennemskylning ses en delvis udvaskning af det tilbageholdte.

Det vil i fremtiden være nærliggende at undersøge mere dynamiske (og derved realistiske) hændelser, både ift. belastning og gentagelsesperioder. 2) I overfladebassiner bundfælder sedimentet sig og nyt vand driver i overfladen, mens sedimentet i regnvandsbedene fanges i toppen af jordlaget og nyt vand driver derved gennem det fangede sediment. Kan det antages at den sedimentbundne forurening ikke vil blive udvasket, da nye hændelser hele tiden vil gennemskylle det tilbageholdte sediment? Der er i forsøget målt en renseeffekt i jordene, dog kan der være en udvaskning i opstartsperioden, som kan være kritisk for bedet.

Igen vil det i fremtiden være relevant at undersøge effekten af vedvarende belastning på sedimentbåret forurening.

Sammenfatning

Ved projektstart blev der stillet to principielle spørgsmål til den måde Byggros betragter regnvandsbedes egenskaber på: Buffer effekt - sediment og belastning af tilbageholdt sediment.

Spørgsmål 1: Opfører jordene sig som en buffer eller bindes stofferne sig så hårdt at de kan modstå det osmotiske ligevægtsprincip?

Svaret er ikke entydigt. Det ses ved gennemskylning med lavere belastning at der udvaskes en andel af det tilbageholdte og der bør kigges mere på dynamikken i forbindelse med mere dynamiske hændelser og med forskellige gentagelsesperioder. Tiden mellem hændelserne kunne forventes at påvirke det osmotiske ligevægtsprincip og dermed om risikoen for udvaskning af allerede tilbageholdte stoffer.

Spørgsmål 2: I overfladebassinger bundfælder sedimentet og nyt vand driver i overfladen. I regnvandsbede fanges sedimentet i toppen af jordlaget og nyt vand drives derved igennem det fangede sediment. Kan vi antage at den sedimentbundne forurening ikke vil blive udvasket da nye hændelser hele tiden vil gennemskylle det allerede tilbageholdt sediment og dermed rense på lige fod med et overfladebassin eller er præmissen ændret pga. sedimentet nu ligger øverst og vedvarende belastes med nyt vand?

Der er ikke undersøgt hvordan sedimentbundet forurening påvirkes af vedvarende belastning så spørgsmålet kan ikke besvares.

Der er i hybridforsøgene kun kigget på kemisk adsorption med en samme regnhændelser og samme forureningsgrad, dette afspejler ikke den virkelige verden som opfører sig lang mere dynamisk. Forsøgene viser, at man ved det opstillede scenarie, kan forvente en reseffekt, men også at der ofte må forvente en udvaskning ved opstart der kan være kritisk. Skal dette undgå skal jordene være så næringsfattige at det må forventes at ville udfordre plantevæksten.

Forsøget har ikke undersøgt sedimentbåret forurening ej heller er hydraulikken i hybridbedene blevet undersøgt. Derfor kan forsøget ikke svare på spørgsmål vedrørende tilbageholdt sedimentforurening eller kapacitet til at holde vandet i bedene samt permeabilitetsniveauet.

Som producent/leverandør af jorde, ser Byggros ikke en økonomisk case i filterjord. Projektet har belyst og undersøgt en del af problematikkerne omkring filterjord, men der mangler en del mere viden på området før man som producent vil kunne stå på mål for renseegenskaberne

for en filterjord. Byggros mener ikke at kunne fremstille en filterjord, der med sikkerhed kan leve op til BAT af flere grunde. De testede jorde er kun skabt én gang og der er ikke undersøgt om de kan genskabes med samme resultater. Der er ikke testet hydrauliske egenskaber og kan derfor ikke sige om de ligger inden for kravene. Der ligger et større arbejde i at få belyst de nævnte perspektiver og dermed sikre at jordene vil performe under mere dynamiske forhold og med en forventning det samme gennem hele levetiden.

Byggros ser som producent det ikke muligt pt at kunne fremstille jorde hvor Byggros kan stå til ansvar for reensegenskaberne i forhold til BAT, der samtidig understøtter plantevækst, og dermed ser Byggros ingen økonomisk case.

5.2 Arbejdspakke 2

5.2.1 Biodiversitetsundersøgelser og dokumentation af eksisterende anlæg

Langelinie

Etablerings år: 2016 + 2017

Filterjord: Plantede bede - Filterjord, Årslev grusgrav + toplag af 10cm vasket grus;
Testbede - Filterjord Dansand A/S



FIGUR 5.45. LAR-vejbede på Langelinie i 2021 (øverst) versus 2024 (nederst). Yderst til venstre ses test-bede (nr. 124 og 116), type A i midten (nr. 81 og 105), type B til højre (nr. 87 og 104) (Foto: MCB).

Otte kulturprægede LAR-vejbede (type A og B) blev etableret i løbet af 2016. De er planlagt af Landskabsarkitekt Lærke K Sangill fra VandCenter Syd. Efterfølgende blev der i april 2017 etableret fire naturprægede testbede primært med hjemmehørende vegetation (FIGUR 5.45).

Sidenhen er vegetationsudviklingen dokumenteret af Københavns Universitet i samarbejde med Vandcenter Syd. I slutningen af 2023, udkom Bjørn & Howe (2023) der redegør over vegetationsudviklingen i perioden 2017-2019. I projektet "Det holistiske LAR-vejbed" er udviklingen af test bedene fuldt til og med 2024 (FIGUR 5.46). Formålet med testbedene var at undersøge hvilke abiotiske faktorer, der ville være styrende for etablering og resiliens af de 26 arter der blev udvalgt til forsøget. Derudover, systematisk at dokumentere etablering af spontan vegetation og dominansen af græs. Testbedene er siden 2017 blevet driftet med årlig nedklipning med busk rydder efterfulgt af fjernelse af biomasse i februar/marts måned. Der har løbende være opsyn og kontrol af invasive- eller aggressive plantearter der potentielt kunne ødelægge forsøget. Ved opgørelsen i juli 2024 var den gennemsnitlige artsrigdom i de fire testbede (gens. 19 arter, sd. 6.29) stort set var uændret siden opgørelsen i 2018 (gens. 19, sd. 2.36). Den gennemsnitlige dækningsgrad af græs var i 2024 17.5% (sd. 16.58) og der var ikke synlig bare jord. Højest artsrigdom af sået og spontant forekommende arter var i BED 124, henholdsvis 14 og 15 arter (TABEL 5.8). Følgende såede arter var til stede i alle fire testbede - *Achillea millefolium*, *Agrimonia eupatoria*, *Centaurea jacea*, *Centaurea scabiosa*, *Centaurea scabiosa*, *Galium verum*, *Lotus corniculatus*, *Potentilla argentea* samt *Silene vulgaris*. Med undtagelse af *Festuca rubra* var ingen af de øvrige spontant forekommende arter til stede i alle fire bede. Dog var *Dactylis glomerata* og *Lolium perenne* til stede i 75% af testbedene.



FIGUR 5.46. Langelinie bed 124 (tv), bed 127 (th) i henholdsvis juni 2018 og juni 2024 (Foto: MCB).

TABEL 5.8. Oversigt over tilstedeværelsen af arter der indgik i forsøgsfrøblanding til de 4 testbede på Langelinie i 2018 samt 2024.

Videnskabeligt navn	Dansk navn	Bed 116		Bed 117		Bed 124		Bed 127	
		2018	2024	2018	2024			2018	2024
<i>Achillea millefolium</i>	Alm. røllike	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Agrimonia eupatoria</i>	alm. agermåne		1	1	1	1	1	1	1
<i>Alchemilla vulgaris</i>	almindelig løvefod								
<i>Anchusa officinalis</i>	lægeoksetunge								
<i>Anthyllis vulneraria</i>	rundbælg	1		1		1		1	
<i>Campanula rotundifolia</i>	liden klokke								
<i>Centaurea jacea</i>	alm. knopurt	1	1		1	1	1	1	1

Videnskabeligt navn	Dansk navn	Bed 116		Bed 117		Bed 124		Bed 127	
		2018	2024	2018	2024			2018	2024
<i>Centaurea scabiosa</i>	stor knopurt		1		1	1	1	1	1
<i>Daucus carota</i>	vild gulerod								
<i>Dianthus deltoides</i>	bakkenellike			1				1	
<i>Echium vulgare</i>	slangehoved	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Filipendula vulgaris</i>	knoldet mjødurt								
<i>Galium verum</i>	gul snerre	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Helichrysum arenarium</i>	gul evighedsblomst								
<i>Hypericum perforatum</i>	prikbladet perikon								
<i>Knautia arvensis</i>	blåhat		1			1	1		
<i>Leontodon autumnalis</i>	høst-borst	1		1		1	1	1	
<i>Lotus corniculatus</i>	alm. kællingetand	1	1	1	1	1	1		1
<i>Medicago lupulina</i>	humlesneglebælg							1	
<i>Origanum vulgare</i>	merian						1		
<i>Potentilla argentea</i>	sølvpotentil	1	1	1	1	1	1	1	
<i>Primula veris</i>	hulkrauet kodriver		1				1		
<i>Saxifraga granulata</i>	kornet stenbræk								
<i>Silene vulgaris</i>	bæresmælde	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Thymus sephyllum</i>	smalbladet timian	1		1		1	1	1	
<i>Trifolium arvense</i>	harekløver								

Hørdumsgade

Etablerings år: 2017

Filterjord: Plantede bede - Filterjord, FLLtype 2, Solum A/S + top lag af 3-5 cm vasket grus;

Testbede - Filterjord Dansand A/S



FIGUR 5.47. Hørdumsgade 2021 (øverst), 2024 (nederst). Plantede bede (tv), testbede (th)
(Foto: MCB).

Plantede bede

I 2022 (FIGUR 5.47) blev den tredje opgørelse over overlevelse/tab af plantede arter på Hørdumsgade. I de otte LAR-vejbede de blev udvalgt til projektet blev der i 2017 i alt plantet 1479 stauder og prydkræsser, to år efter kunne 77% af de plantede arter genfindes, mens dette var reduceret til 59% i 2022. Plantede arter med en overlevelse på mere end 85% inkluderede *Geranium sanguineum* mens arter der havde en overlevelse på mindre en 10% inkluderede *Hylotelephium telephium* 'Herbstfreude' (TABEL 5.9).

TABEL 5.9. Oversigt over overlevelse/tab af plantede arter på Hørdumsgade i 8 tilfældigt udvalgte bede.

Videnskabeligt navn	Oprindelse	Tab %
<i>Hylotelephium telephium</i> 'Herbstfreude'	(hjemmehørende)	92,04
<i>Hypericum perforatum</i>	hjemmehørende	79,17
<i>Primula veris</i>	hjemmehørende	42,31
<i>Origanum vulgare</i>	hjemmehørende	31,68
<i>Geranium sanguineum</i>	hjemmehørende	13,13
<i>Eryngium planum</i> 'Blaukappe'	indført	na
<i>Achillea filipendulina</i> 'Coronation Gold'	indført	84,16
<i>Asclepia tuberosa</i>	indført	81,94
<i>Eryngium yuccifolium</i>	indført	75,00
<i>Rudbeckia fulgida</i>	indført	75,00
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	indført	44,93
<i>Nepeta</i> × <i>faassenii</i>	Indført	16,83

Såede testbede

På Hørdumsgade blev der i efteråret (november) 2017 etableret to LAR-vejbede med samme filterjord og frøblanding som de fire testbede på Langelinie. Formålet med dette var at teste effekten af udsåningstidspunktet for LAR-vejbede.

TABEL 5.10. Oversigt over arter der var til stede i de to såede testbede på Hørdumsgade i 2022.

Videnskabeligt navn	Dansk navn
<i>Achillea millefolium</i>	almindelig røllike
<i>Agrimonia eupatoria</i>	almindelig agermåne
<i>Anchusa officinalis</i>	lægeoksetunge
<i>Centaurea jacea</i>	almindelig knopurt
<i>Centaurea scabiosa</i>	stor knopurt
<i>Daucus carota</i>	vild gulerod
<i>Galium verum</i>	gul snerre
<i>Hypericum perforatum</i>	prikbladet perikon
<i>Knautia arvensis</i>	Blåhat
<i>Origanum vulgare</i>	merian
<i>Potentilla argentea</i>	sølvpotentil
<i>Primula veris</i>	hulkrauet kodriver
<i>Silene vulgaris</i>	blæresmælde

I juli 2022 (TABEL 5.10), var der den gennemsnitlige rigdom af såede arter lidt højere på Hørdumsgade (n=13) versus Langelinie (n=9). Mens artsrigdommen af spontant

forekommende arter var lavest på Hørdumsgade (n=6) versus Langelinie (n=12). Formentlig skyldes denne variation at borgerne på Hørdumsgade aktivt luger eller indplanter arter på Hørdumsgade, mens dette ikke er tilfældet på Langelinie. I første og anden vækstsæson var der dog en tydelig effekt af udsåningstidspunktet, men dette er udvisket over tid. Ud af de 26 arter der oprindeligt indgik i test frøblandingen var ti arter til stede på begge lokaliteter i 2022. Mens *Daucus carota* og *Anchusa officinalis* kun fandtes i testbedene på Hørdumsgade.

Spontant forekommende arter på Hørdumsgade

De plantede bede indeholdt en lang række spontant forekommende arter fx *Agrostis capillaris*, *Anisantha sterilis*, *Bromus commutatus*, *Elytrigia repens*, *Festuca rubra*, *Lolium perenne*, *Poa trivialis*, *Artemisia vulgaris*, *Conyza canadensis*, *Bellis perennis*, *Geranium molle*, *Geum urbanum*, *Jacobaea vulgaris*, *Lavendula angustifolia*, *Taraxacum* sp., *Trifolium dubium* og *Vicia hirsuta* (se TABEL 5.9).

Mens de såede bede blev koloniseret af langt færre arter - *Agrostis capillaris*, *Anisantha sterilis*, *Cirsium arvense*, *Elytrigia repens*, *Festuca rubra*, *Geranium pusillum*, *Taraxacum* sp., *Trifolium pratense*, *Trifolium repens* og *Verbascum thapsus*. Spontant forekommende arter kan være spiret fra jordens frøbank, spredt dertil med vind, dyr eller ved egen hjælp. Derudover ses eksempler på at enkelte arter er plantet af naboer til bedene fx *Lavendula angustifolia* og *Verbascum thapsus*.

Dokumentationen af udviklingen af den urteagtige vegetation på Hørdumsgade ophørte i 2022. Baggrunden for at stoppe dokumentationen af urtebeplantningen var at Vandcenter Syd valgte at ændre plantesystemet. Beslutningen blev taget da vi kunne konstatere et stort tab af etablerede arter og mange indkommende uønskede arter som græs. Konkret igangsatte vi en efterplantning af arter i bedene suppleret med en udsåning af arter om træerne.

Oplevelsen var at artsfaldet havde sammenhæng med driften og herefter blev der derfor iværksat et udviklingsforløb omkring af plejeplanerne for de to typer LAR-vejbede (plantede og såede bede). Plejeplanerne blev ændret så den konkrete drift i bedene var sammenhængende med beplantningens udvikling og foregik i tæt dialog med den udførende drift, for at sikre de bedste praktiske arbejdsgange.

Træøen

Etablerings år: 2019

Filterjord: FLL filterjord fra Mattle ApS



FIGUR 5.48. Træøen, Bolbro. Øverst 2019 før omdannelse, nederst LAR-anlæg 2024 (Foto: MCB).

Træøen blev etableret hen over vinteren 2019/2020 (FIGUR 5.48). Plantning og udsåning af vegetation skete i februar/marts 2020. Anlægget er opdelt i tre zoner, med tre indløb til Zone 1 fra Niels Stensensvej, Bolbro Odense. LAR-anlægget plejes ved årlig nedklipping, efterfulgt af fjernelse af afklip i februar/marts måned.

TABEL 5.11. Træøen, Bolbro. Vegetationsudvikling i anlægget tre zoner efter 5 vækstsæsoner.

Vegetationsudvikling		Træøen juli 2024		
		Zone 1	Zone 2	Zone 3
Artsrigdom (antal)	total	35	29	31
	sået	18	17	19
	spontan	17	12	12
Dækningsgrad (%)	bar jord	5	5	10
	græs	0	2	5
	urt	95	93	85
Højde (cm)	gennemsnit	83,33	103,33	61,67

TABEL 5.12. Oversigt over udvikling af artssammensætningen af den udsåede/plantede vegetation på Træøen, Bolbro.

Videnskabeligt navn	Dansk navn	Artsrigdom juni 2022	Artsrigdom juli 2024		
		Alle zoner	Zone 1	Zone 2	Zone 3
<i>Achillea millefolium</i>	alm. røllike	1	1	1	1
<i>Agrimonia eupatoria</i>	alm. agermåne		1	1	
<i>Anchusa officinalis</i>	lægeoksetunge	1	1	1	1
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	vellugtende gulaks	1	1	1	1
<i>Anthyllis vulneraria</i>	rundbælg	1	1	1	1
<i>Campanula trachelium</i>	nældebladet klokke				
<i>Centaurea jacea</i>	alm knopurt	1	1	1	1
<i>Centaurea scabiosa</i>	stor knopurt	1	1	1	1
<i>Cynosurus cristatus</i>	kamgræs				
<i>Daucus carota</i>	vild gulerod	1	1	1	1
<i>Galium verum</i>	gul snerre	1	1	1	1
<i>Hieracium aurantiacum</i>	pomerans høgeurt	1			
<i>Hypericum perforatum</i>	prikbladet perikon	1	1	1	1
<i>Hypochoeris radicata</i>	alm. kongepen	1	1	1	1
<i>Knatia arvensis</i>	blåhat		1	1	1

Videnskabeligt navn	Dansk navn	Artsrigdom juni 2022	Artsrigdom juli 2024		
		Alle zoner	Zone 1	Zone 2	Zone 3
<i>Leontodon autumnalis</i>	høst-borst				1
<i>Lotus corniculatus</i>	alm. kællingetand	1	1	1	1
<i>Medicago lupulina</i>	humlesneglebælg	1	1	1	1
<i>Origanum vulgare</i>	merian	1	1	1	1
<i>Panicum virgatum</i> 'Heiliger Hain'	hirse		1	1	
<i>Potentilla argentea</i>	sølvpotentil	1			1
<i>Silene dioica</i>	dagpragtstjerne				
<i>Thymus serpyllum</i>	smalbladet timian				1
<i>Trifolium arvense</i>	harekløver		1		1
<i>Verbascum nigrum</i>	mørk kongelys	1	1	1	1

I løbet af vækstsæsonen er der løbende kontrol af invasive arter fx *Solidago canadensis* samt store kraftigt voksende urter fx *Artemisia vulgaris* der potentielt kan udkonkurrere artsrige græslandsvegetationen over tid.

Vegetation er urtedomineret dvs. mindre end 50% dækningsgrad af græs, halvgræs og siv (TABEL 5.11 og TABEL 5.12). Vegetationen er forholdsvis høj og ensartet i zone 1 og 2, mens zone 3 er lavere primært med en randkant af høje urter svarende til de øvrige zoner. I 2024 er dækningsgraden af bar jord lav 5-10%, men dette varierer fra sæson til sæson afhængig af sommertørken.

Udover de såede og plantede arter, findes der en lang række spontant forekommende arter (TABEL 5.15). Nogle af disse arter forekommer i alle tre zoner fx *Dactylis glomerata*, *Plantago lanceolata*, *Festuca rubra*, mens *Filago vulgaris* kun findes i zone 3. Sidst nævnte art er interessant fordi den er indikator for tør næringsfattig jord med neutral pH, mens de øvrige tre arter associeres med ressourcerige miljøer jf Ellenbergs indikator værdier (Hill, 1999). Vegetationen og artssammensætningen afslører derfor en tydelig fugtighedsgradient i anlægget.

Fruens Bøge Alle

Etablerings år: 2020

Filterjord: FilterVext fra Byggros A/S + vasket grus som top lag



FIGUR 5.49. Bed 15 - Fruens Bøge Alle juli, 2021 (tv). versus juli 2024 (th) (Foto: MCB).

I 2020 blev der i alt plantet 2.753 stauder og prydgræsser i de 8 LAR-vejbede på Fruens Bøge Alle, Odense (FIGUR 5.49). Heraf var 66 % sorter af hjemmehørende arter. Derudover blev der ialt lagt 6.221 løg- og knoldplanter. Ved måling i juli 2021 var den gennemsnitlige andel af bar jord 69% (sd. 8,21), gennemsnitlig vegetationshøjde 12 cm (sd. 3.71). Alle plantede arter kunne genfindes i alle bede.

I juli 2024 blev tre tilfældige LAR-vejbede på Fruens Bøge Alle udvalgt til evaluering af filterjorden som vækst medie. I de tre bede var 45 % af de plantede stauder og prydgræsser stadig tilstede, mens kun 3.7% af de 2.242 løg og knoldplanter kunne genfindes (TABEL 5.13). Plantearter med overlevelsesprocent større end 85% inkluderede *Pennisetum alopecuroides*, *Rudbeckia fulgida* og *Centaurea scabiosa*, mens arter med lavere end 10% overlevelse inkluderede *Eryngium planum* 'Blaukappe', *Liatris spicata*, *Amsonia hubrichtii* og *Lotus corniculatus* samt alle løg- og planter.

TABEL 5.13. Status 2024 på tre LAR-vejbede. Samlet tab af stauder, prydgræs, løg- og knoldplanter sammenlignet med etableringstidspunktet.

Videnskabeligt navn	Oprindelse	Tab %
<i>Hylothelephium telephium</i> 'Herbstfreude'	(hjemmehørende)	73,33

Videnskabeligt navn	Oprindelse	Tab %
<i>Achillea millefolium</i> 'Teracotta'	(hjemmehørende)	54,17
<i>Lotus corniculatus</i>	hjemmehørende	93,06
<i>Hypericum perforatum</i>	hjemmehørende	74,47
<i>Origanum vulgare</i>	hjemmehørende	45,19
<i>Geranium sanguineum</i>	hjemmehørende	29,61
<i>Centaurea scabiosa</i>	hjemmehørende	21,43
<i>Eryngium planum</i> 'Blaukappe'	indført	100,00
<i>Liatris spicata</i>	indført	95,00
<i>Amsonia hubrichtii</i>	indført	93,75
<i>Geranium macrorrhizum</i> 'Spessart'	indført	67,05
<i>Aster ageratoides</i> 'Asran'	indført	56,52
<i>Artemisia loviciiana</i> 'Valerie Finis'	indført	53,33
<i>Achillea filipendulina</i> 'Coronation Gold'	Indført	52,38
<i>Nepta × faassenii</i> 'Blue Wonder'	indført	48,89
<i>Rudbeckia fulgida</i>	indført	29,17
<i>Panicum virgatum</i> 'Heiliger Hain'	indført	85,71
<i>Pennisetum alopecuroides</i>	indført	16,67
<i>Allium</i> afl. 'Purple Sensation'	indført	100
<i>Scilla bifolia</i>	indført	100
<i>Muscari armeniacum</i>	indført	98,87
<i>Narcissus poeticus</i> 'Actaea'	indført	96,61
<i>Tulipa tarda</i>	indført	96,61
<i>Tulipa turkestanica</i>	indført	96,61
<i>Crocus tommasinianus</i> 'Ruby Giant'	indført	93,50
<i>Crocus sieberi</i> 'Tricolor'	indført	90,96

KU og VCS besluttede at målinger på den urteagtige vegetation på Fruens Bøge skulle stoppe i 2022, da beplantningen ikke fungerede. Plantedækket var sporadisk i alle bedene. Det store tab af arter var endda overraskende, da de valgte arter var nogle, VandCenter Syd havde gode erfaringer med på mange andre lokaliteter fx Hørdumsdage og Langelinie m.fl. Årsagen til det store tab af planter og generelt dårlig vækst skyldes formentlig en kombination af flere faktorer herunder vækstmediet samt tørkestress. I foråret 2025 blev det besluttet at udskifte filterjorden i alle LAR-vejbede på Fruens Bøge Allé og genetablere beplantningen.

Træer i eksisterende LAR – vejbede

I projektperioden dokumenteredes træernes vækst og vitalitet (Se Bilag 2.2 for yderligere information om måleprogram og resultater). Formålet med notatet er at dokumentere en række aktiviteter gennemført i forbindelse med MUDP-projektet "Det holistiske LAR-vejbed". Aktiviteterne beskrives i dette særskilte notat, da træer modsat den oprindelige plan ikke kunne nå at være en del af afprøvningen af nyudviklede vækst- og filtermedier og dermed

ligger i periferien af projektets hovedformål og undersøgelser. Resultatet af undersøgelsen kan sammenfattes i seks hovedpointer:

- Der er bred enighed om og evidens for at træers fordampning kan spille en rolle i byers vandbalance.
- Det er vanskeligt at kvantificere træers fordampningsbidrag generelt, da det afhænger af lokale klima- og vejrforhold, vækstbetingelser samt træets art, størrelse og vitalitet.
- Aktuelle studier peger på, at veletablerede træer med en kronediameter på omkring 10 m kan fordampe mere end 100 l/dag/træ i vækstperioden. Et finsk studie estimerer, at alt efter træart vil et kronedække på 20% fordampe halvdelen af årsnedbøren.
- Gode vækstbetingelser og i særdeleshed en egnet, ikke-komprimeret eller ikke-komprimeret vækstjord er afgørende for træers fordampningsmuligheder.
- Tørke i vækstperioden er en generel udfordring i urbane sammenhæng og særligt i veldrænende vækstmedier som ofte anvendes i LAR-sammenhæng.
- Træerne på de undersøgte lokaliteter havde en tydelig mindre tilvækst end referencemålinger både i og udenfor urbane forhold. En del af forklaringen antages at være tørke i vækstperioden.

Træers potentiale i klimatilpasning og vandhåndtering anses som stort. Træerne i de undersøgte LAR-vejbede når slet ikke deres vækstpotentiale. Årsagen er ikke afdækket, men vandforsyning og tørkestress antages at spille en rolle. Fremadrettet bør der fokuseres på etablering, etableringspleje samt vandforsyning både under etablering, men også efterfølgende hvis vækstbetingelser for træer i LAR-vejbede skal forbedre. Derudover volumen af tilgængelig jord eller vækstmedie, adgang til vandførende jordlag, tilførsel af overfladevand. Der mangler viden om hvor meget vand et træ i et LAR-vejbed kan håndtere ved interception og fordampning samt flere studier der tester det bedste vækstmedie til både vandhåndtering og trævækst.

5.2.2 Plantevækst forsøg i forbedret filterjord

Der blev gennemført 3 plantevækst forsøg i projektperioden. Forsøg 1 og 2 gennemføres i 2022, mens forsøg 3 gennemføres i 2024. I alt blev plantearternes testet i 9 forskellige filterjorde (Bilag 3.2), hvor vasket grus anvendes som kontrol (FIGUR 5.50).



FIGUR 5.50. Forsøg 1. *Lotus coniculatus* dyrket i vasket grus (kontrol) yderst til venstre, herefter følger type 4,5,6 + kommercielle filterjorde type 2 og type 3 (yderst til højre).

Hovedkonklusioner på plantevækstforsøg:

- 1) Den kommercielle jord (type 3) understøtter samlet set plantevækst **bedre end** den anden kommercielle jord (type 2).
- 2) Forsøgs jord 4 (type 9) understøtter plantevækst **bedre end kontrol, men dårligere end** jord 3/3b (type 6/8), men der **ingen forskel** til de øvrige jorde (type 4, 5, 7).
- 3) Forsøgs jord 3 (type 6) resulterer med undtagelse af rodlængde (type 3, hvilket skyldes *Lotus corniculatus*), **altid** i signifikant bedre plantevækst end alle andre jorde.
- 4) På artsniveau og samlet set kan der **ikke påvises signifikant forskel** i plantevækst mellem følgende filterjorde:
 - type 6/8
 - type 5/7
 - type 5/9
 - type 2/ 9

5.2.3 Strukturerede undersøgelser og dokumentation af nye LAR-vejbede, Kallerupvej

Kallerupvej

Etablerings år 2019

Filterjord: type 9, udviklet i forskningsprojektet "Det holistiske LAR-vejbed"



FIGUR 5.51. Kallerupvej. Øverst Bed 6 (LAV tæthed), Nederst Bed 8 (HØJ tæthed) (foto kredit MCB).

Vegetationsudviklingen i LAR-vejbedene på Kallerupvej (FIGUR 5.51) blev dokumenteret i juli 2023 og 2024 (TABEL 5.14). I løbet af de to år, skete der en kraftig tilgroning af græs, hvilket primært skyldes en lang række arter der græs der formodes at stamme fra den naturlige jord og frøbank som filterjorden (type 9) indeholder. Derudover, findes der en række arter som ikke tidligere er dokumenteret i VandCenter Syds LAR-vejbede fx *Apera spica-venti*, *Pastinaca sativa*, *Phleum pratense*, *Reseda luteola*, *Tussilago farfara*. Disse arter formodes ligeledes at stamme fra den naturlige jord der indgår i filterjord type 9. De fremhævede fem arter

associeres med ressourcerige miljøer, ved neutral pH på fugtig jordbund jf Ellenberg Indikator værdier (Hill, 1999).

TABEL 5.14. Vegetationsudvikling Kallerupvej i første og anden vækstsæson.

Kallerupvej	LAV tæthed				HØJ tæthed			
	2023		2024		2023		2024	
	gens.	sd	gens.	sd	gens.	sd	gens.	sd
Artsrigdom								
Total antal arter	23,5	4,12	26,75	1,89	23	1,83	29,75	4,5
Spontan	11,5	2,08	13,75	1,71	11,5	2,65	16,25	4,03
Frøblanding	12	2,16	13	1,41	11,5	1	13,5	0,58
Biomasse (g/m²)								
Total	34,06	9,51	130,2	61,03	38,1	14,44	136,83	27,24
Urter (ikke-græs)	32,85	8,66	79,95	22,47	36,99	14,48	72,28	17,15
Græs	1,22	1,16	50,25	41,64	1,11	0,26	64,55	11,5
Dækningsgrad (%)								
Græs	1,5	0,58	36,25	29,26	0,5	0,58	35	17,32
Urter (ikke-græs)	96,5	2,5	62,5	27,54	99,5	0,58	65	17,32
Bar jord (%)	1,25	2,5	2,5	2,89	0	0	0	0

I 2024 kan der ikke påvises en signifikant forskel i biomassen mellem de to behandlinger, dog er variationen størst i behandlinger med udsåning ved LAV tæthed (FIGUR 5.52). I takt med at biomassen og dækningsgraden af græs øges, sker der et fald i andelen af urter.

Artsrigdommen øges fra 2024, hvilket primært skyldes flere spontant forekommende arter (TABEL 5.15).



FIGUR 5.52. Udvikling af vegetation på Kallerupvej i første (2023) og anden (2024) vækstsæson (foto kredit MCB).

Spontan vegetation i LAR-vejbede

LAR-vejbedene på Langelinie, Hørdumsgade, Træøen, Fruens Bøge Allé og Kallerupvej klippes hvert år ned med buskrydder til 10cm i februar/marts. Efterfølgende fjernes rives bedene og biomassen samt evt førnelag fjernes. Plantede bede på Langelinie (type A og B), Hørdumsgade og Fruens Bøge Allé luges 2-3 gange pr. sæson for at reducere tilgroning af græs samt bekæmpelse af invasive- samt problematiske arter som ager-padderok der potentielt kan udkonkurrere den øvrige vegetation.

På tværs af alle 5 lokaliteter blev der dokumenteret spontant forekommende arter 79 arter (TABEL 5.15). Listen af arter der forekommer spontant, inkluderer hjemmehørende, indførte, indslæbte og invasive arter.

Videnskabeligt navn	Oprindelse	Hørdumsgade	Fruens Bøge Allé	Langeline	Træøen	Kallerupvej
		2021	2021	2024	2024	2024
<i>Agrostemma githago</i>	indslaebt	1				
<i>Agrostis capillaris</i>	hjemmeværende	1				1
<i>Agrostis stolonifera</i>	hjemmeværende			1		1
<i>Alcea rosea</i>	indført			1		
<i>Alliaria petiolata</i>	hjemmeværende			1		
<i>Anisantha sterilis</i>	indslaebt	1				1
<i>Apera spica-venti</i>	indslaebt					1
<i>Arrhenatherum elatius</i>	indslaebt			1		1
<i>Artemisia vulgaris</i>	hjemmeværende			1	1	
<i>Avenella flexuosa</i>	hjemmeværende					1
<i>Bromus commutatus</i>	indslaebt			1	1	1
<i>Bromus hordeaceus</i>	hjemmeværende	1			1	1
<i>Brunnera macrophylla</i>	indført	1				
<i>Campanula patula</i>	indslaebt				1	
<i>Cardus crispus</i>	indført/indslaebt				1	
<i>Cerastium fontanum</i> subsp. <i>vulgare</i>	hjemmeværende				1	1
<i>Cichorium intybus</i>	indført			1		
<i>Cirsium arvense</i>	hjemmeværende				1	
<i>Clematis</i> sp.				1	1	1
<i>Conyza canadensis</i>	indslaebt	1		1	1	
<i>Cota tinctoria</i>	indslaebt			1	1	1
<i>Dactylis glomerata</i>	hjemmeværende			1	1	1
<i>Dahlia</i> sp.	indført		1			
<i>Echium vulgare</i>	indslaebt				1	
<i>Elytrigia repens</i>	hjemmeværende			1		1
<i>Epilobium hirsutum</i>	hjemmeværende	1				1
<i>Epilobium montanum</i>	hjemmeværende					1
<i>Equisetum arvense</i>	hjemmeværende					1
<i>Fallopia convolvulus</i>	hjemmeværende	1				
<i>Festuca rubra</i>	hjemmeværende	1	1	1	1	1
<i>Filago vulgaris</i>	hjemmeværende				1	
<i>Galinsoga quadriradiata</i>	indslaebt				1	
<i>Galium mollugo</i>	hjemmeværende				1	
<i>Geranium molle</i>	indslaebt				1	
<i>Geranium pyrenaicum</i>	indslaebt	1		1		1
<i>Geranium robertianum</i>	hjemmeværende				1	
<i>Holcus lanatus</i>	hjemmeværende			1	1	1
<i>Hordeum murinum</i>	indslaebt	1			1	
<i>Humulus lupulus</i>	hjemmeværende			1		
<i>Hypochoeris radicata</i>	hjemmeværende	1				
<i>Jacobaea vulgaris</i>	hjemmeværende	1				1
<i>Lavendula angustifolia</i>	indført	1				
<i>Lolium multiflorum</i>	indført	1				
<i>Lolium perenne</i>	hjemmeværende	1	1	1	1	1
<i>Matricaria discoidea</i>	indslaebt		1			
<i>Medicago lupulina</i>	hjemmeværende		1			
<i>Medicago sativa</i> subsp. <i>sativa</i>	indført				1	
<i>Melilotus officinalis</i>	indslaebt	1	1		1	
<i>Melissa officinalis</i>	indført			1		
<i>Papaver cambricum</i>	indført				1	
<i>Papaver rhoeas</i>	indført	1				1
<i>Pastinaca sativa</i>	indført/indslaebt					1
<i>Persicaria maculosa</i>	hjemmeværende				1	
<i>Phleum pratense</i>	indført					1
<i>Plantago lanceolata</i>	hjemmeværende			1	1	1
<i>Plantago major</i>	hjemmeværende		1			1
<i>Poa trivialis</i>	hjemmeværende	1		1	1	1
<i>Polygonum aviculare</i>	hjemmeværende		1			1
<i>Prunus cerasifera</i>	indført		1	1		
<i>Quercus rubra</i>	indført					1
<i>Reseda luteola</i>	indført					1
<i>Rumex crispus</i>	hjemmeværende	1				1
<i>Rumex obtusifolius</i>	hjemmeværende					1
<i>Senecio vulgaris</i>	hjemmeværende					1
<i>Silene vulgaris</i>	hjemmeværende				1	
<i>Solidago canadensis</i>	indført					1
<i>Sonchus oleraceus</i>	hjemmeværende	1	1	1		1
<i>Stachys sylvatica</i>	hjemmeværende	1		1		
<i>Stellaria media</i>	hjemmeværende		1			
<i>Taraxacum</i> sp.		1	1	1	1	1
<i>Tragopogon pratensis</i>	indslaebt			1		
<i>Trifolium dubium</i>	hjemmeværende	1				
<i>Trifolium pratense</i>	hjemmeværende	1		1		1
<i>Trifolium repens</i>	hjemmeværende				1	1
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	hjemmeværende				1	
<i>Tussilago farfara</i>	hjemmeværende					1
<i>Urtica dioica</i>	hjemmeværende			1		
<i>Vicia hirsuta</i>	hjemmeværende	1				
<i>Vicia sativa</i>	indført	1				
Spontant forekommende arter i LAR-vejbede	Antal	28	12	27	31	39

FIGUR 5.53. Oversigt over spontant forekommende arter på Hørdumsgade 2021, Fruens Bøge Allé (2021), Langeline, Træøen og Kallerupvej 2024.

6. Samspil mellem filterjord og plantevalg – betydning for biodiversitet

Under arbejdsplan 2 har Københavns Universitet indsamlet data på hvilke arter af leddyr, primært biller og bier, der benytter sig af eller har etableret sig i 19 undersøgte LAR-vejbede.

Etableringen af dyr i et givent habitat er styret af flere faktorer, især organismens evne til at lokalisere området og dernæst om arealet opfylder organismens krav til at gennemføre hele, eller dele af sin livscyklus.

Hvorvidt en organisme kan finde frem til et LAR-vejbed inde midt i byen, er primært styret af organismens spredningsevner kombineret med afstanden den skal sprede sig og størrelsen på bedet. Det omkringliggende landskab har derfor stor betydning, da det former den lokale artspulje og dermed, hvilke arter, der oftest lokaliserer bedene. Alle de undersøgte bede i dette projekt er etableret i Odense centrum eller i omkringliggende villakvarterer inden for det sidste årti. Dette har indflydelse på hvilke leddyr, der kan findes i de relativt nyetablerede bede.

Derudover kommer selve bedenes anvendelighed som levested eller delvist levested, hvilket primært er styret af tilgængeligheden af føde og mikroklimaet. Desuden stiller nogle arter af leddyr specifikke krav til, hvordan de overvintrer eller hvor de lægger æg, hvilket kan gøre bedet mere eller mindre egnet som levested. Den lille størrelse på de undersøgte LAR-vejbede, begrænser deres anvendelighed for større organismer, men for mange leddyr kan én enkelt plante, eller nogle få kvadratmeter indeholde tilstrækkeligt med ressourcer til at de kan gennemføre hele deres livscyklus. Anekdotisk kan nævnes *Zygaena filipendulae* (sekspletet køllesværmer), som er iøjefaldende både i larve-, puppe- og voksenstadie, hvor alle livstadier blev observeret i flere bede og det altså tyder på, at arten kan fuldføre hele sin livscyklus indenfor et enkelt bed.

I genfangstforsøget på Langelinie blev 275 humlebier markeret (45, 41, 11, 58, 65 og 55 humlebier i hhv. bed 127, 124, 117, 116, 105 og 94). Genfangst blev overvejende gjort i samme bed, som de blev markeret i (varierende fra 29 til 47% genfundne individer; TABEL 6.1) genfangst af bier i nye bede varierede fra 2-16%. Bier markeret i testbedene blev ikke registreret i kulturbedene (nr. 105 og 94), men 3% af markerede bier fra nr. 105 blev fundet i testbed 116. Humlebier har typisk en stor forageringsradius og det er derfor overraskende, at de ikke flytter sig mere mellem bedene. Dette tyder på, at de enkelte bede kan bidrage med nok pålidelige blomsterressourcer over flere dage.

TABEL 6.15. Andel af markerede humlebier registreret under genfangst to dage efter markering. Bedet de blev registreret og hvor de blev genfundet, læses fra venstre til højre.

Bed nr.	127	124	117	116	105	94	ikke genfundet
127	0.4	0.16		0.02	0	0	0.42
124	0.1	0.29	0.02	0	0	0	0.59
117	0	0	0.18	0.09	0	0	0.62
116	0	0	0.05	0.33	0	0	0.73
105	0	0	0	0.03	0.34	0.02	0.51
94	0	0	0	0	0.02	0.47	0.62

Knopurt forsøget sammenlignede planter indsamlet fra naturområder med knopurtplanter i LAR-vejbede i byen. Undersøgelsen påviste at diversiteten på den samme mængde plantemateriale var større udenfor byerne. Dette galt både mængden af observerede minér og galler, men også mængden af leddyr direkte tilknyttet knopurt. F.eks. blev arter som båndfluerne *Terellia colon* og *Urophora cuspidata*, eller sommerfuglen *Cochylimorpha alternana*, som alle gennemfører hele deres livscyklus i blomsterstanden af knopurt, kun fundet uden for byen. Givet arternes livscyklus, der udelukkende foregår i blomsterstanden på knopurt, må det formodes at deres fravær i byen skyldes spredningsbarrierer, mere end bedets egnethed som habitat. Det må derfor også formodes at mængden af mere specialiserede og sjældne arter vil øges i takt med oprettelse af flere bede, samt tid siden etablering.

Data fra vores bankeprøver af de undersøgte *Sorbus latifolia* træer, bestod stort set udelukkende af enkelte arter af barklus, bladlus samt nogle mariehøner. Træarten har en lille naturlig udbredelse omkring Paris, Frankrig, og er ikke naturligt hjemmehørende i Danmark. Dette, samt deres ringe størrelse og nylige etablering er formentlig en stor del af forklaringen på den lave diversitet.

LAR-vejbedene varierer i tæthed og sammensætningen af vegetation, soleksponering, jordtype mm., men overordnet set kan vi baseret på sammensætningen af leddyr, konkludere at artssamfundene er præget af varmekrævende arter, og at der er en tydelig sammenhæng mellem beplantningsvalg og hvilke planteædende og bestøvende leddyr der indsamles.

Biller i undersøgte LAR-bede

Biller er i Danmark en velstuderet gruppe af leddyr med omkring 4000 arter, hvoraf der for størstedelen findes god information på udbredelse og økologi. Gruppen er yderst forskelligartet med mange arter af både generalistiske og specialiserede rovdyr, nedbrydere og planteædere. De mange forskellige livsstrategier og den tilgængelige information gør biller til en ideel indikatorgruppe.

Der blev registreret 2508 biller ved LAR-bedene, fordelt mellem 152 arter og 24 familier. Langt størstedelen af de indsamlede biller er vurderet som ikke truet (LC) på rødlisten og anses desuden som meget almindelige i alle dele af landet. Størstedelen af de biller, der blev indsamlet direkte fra bedene (faldfælder, sweepnet og insektstøvsuger) var enten planteædere

(64%) eller rovdyr (25%), mens kun en mindre andel var nedbrydere (8%). Hovedparten af de observerede biller i bedet, kan formodentlig gennemføre hele deres livscyklus, da de udelukkende findes i og på planterne. De mest almindelige familier af biller i bedene var snudebiller, solbiller, mariehøns, glimmerbøsser og bladbiller.

Snudebillerne, glimmerbøsserne og bladbillerne er alle i larvestadiet ofte meget specialiserede, og spiser kun på bestemte plantearter, slægter eller familier. Solbillerne er derimod i larvestadiet tilknyttet diverse tørre plantestængler, og som voksne indtager de primært pollen og nektar fra blomsterstande.

Ved at opdele hver enkelt planteædende art i kategorier efter antallet af planter de er kendt fra, er det tydeligt at beplantninger har en direkte effekt på artssamfundet af biller. Eksempelvis blev kløverspecialister som spidsmussnudebillerne *Apion apricans*, *A. assimile*, *A. fulvipes*, *A. nigrirarse*, *A. trifoli*, *A. virens* og snudebiller som *Sitona lineatus*, *S. hispidulus*, *Tychius picirostris*, *T. junceus* og *Hypera nigrirostris* fundet i bede med en høj andel af kløver. Ærteblomstspecialister, som *Apion craccae*, der yngler i bælgene eller arter som *Apion loti* og *Bruchus loti* tilknyttet kællingetand, fulgte også tilstedeværelsen af deres værtsplanter. På samme måde fulgte arter som bladbillen *Sphaeroderma rubidum* og spidsmussnudebillen *Apion onopordi* tilstedeværelsen af knopurt, snudebillen *Rhinusa antirrhini* torskemund og bladbillen *Cryptocephalus moraei* perikon.

De indsamlede rovdyr, i bedene var især udgjort af mariehøner, hvor en stor andel af landets mariehøner (23 ud af 55) blev observeret. Den høje andel af mariehøner skyldes formentlig et varmere klima i byerne samt at deres fødeemner, bladlus, tilsyneladende må være talrige. Derudover blev flere arter af løbebiller med forkærlighed for sandede og varme lokaliteter observeret i bedene.

Manglen på f.eks. svampefrugtleger, dødt ved, ekskrementer, ådsler og førne i bedene forklarer den lave andel af nedbrydende biller.

Bier

Bier repræsenterer en artsgruppe af bestøvere med god spredning- og navigationsevne, som kan trives i urbane miljøer, heraf også sjældne og rødlistede arter. Dette skyldes at byen typisk er varmere, tørre og mere blomsterrig end det omliggende landskab. For at gennemføre deres livscyklus er bier primært afhængig af flora og steder, de kan etablere rede.

I alt blev der registreret knap 2700 individer af 67 arter af bier (23% af danske arter) i LAR-vejbedene (TABEL 6.2). Bierne benytter hovedsageligt bedene som delvist levested i form af fouragering i floraen, hvor 1000 humlebier blev registreret samt flere pollenspecialister (oligolektiske arter). Disse specialister består af arter specialiseret i kurvblomstfamilien (*Colletes daviesanus*, *Dasypoda hirtipes*, *Heriades truncorum* og *Osmia leaiana*), ærteblomstfamilien (*Andrena wilkella* og *Melitta leporina*) samt klokkefamilien (*Chelostoma rapunculi*).

TABEL 6.2. Oversigt over slægter, antal arter og fremhævede arter registreret på tværs af bede.

Slægt	Dansk	Antal arter	Fremhævede arter
<i>Andrena</i>	Jordbi	17	Ærtejordbi (<i>Andrena wilkella</i>)
<i>Anthophora</i>	Vægbi	2	
<i>Apis</i>	Honningbi	1	
<i>Bombus</i>	Humblebi	11	
<i>Chelostoma</i>	Saksebi	1	Stor saksebi (<i>Chelostoma rapunculi</i>)
<i>Coelioxys</i>	Keglebi	1	
<i>Colletes</i>	Silkebi	1	Vægsilkebi (<i>Colletes daviesanus</i>)
<i>Dasypoda</i>	Buksebi	1	Pragtbuksebi (<i>Dasypoda hirtipes</i>)
<i>Halictus</i>	Vejbi	1	
<i>Heriades</i>	Hulbi	1	Hulbi (<i>Heriades truncorum</i>)
<i>Hylaeus</i>	Maskebi	5	Vægmaskebi (<i>Hylaeus pictipes</i>) og hornmaskebi (<i>Hylaeus cornutus</i>)
<i>Lasioglossum</i>	Smalbi	11	Klitsmalbi (<i>Lasioglossum tarsatum</i>)
<i>Megachile</i>	Bladskærerbi	1	
<i>Melitta</i>	Høstbi	1	Lucernebi (<i>Melitta leporina</i>)
<i>Nomada</i>	Hvepsebi	1	
<i>Osmia</i>	Murerbi	3	Kurvmurerbi (<i>Osmia leaiana</i>)
<i>Sphecodes</i>	Blodbi	8	
		Total: 67	

Udover flora, bidrager bedene desuden med rederessourcer for jord- og hulboende bier. Den tørre og sandede filterjord kan benyttes af flere jordboende arter til udgravning af underjordiske redegange. Der blev registreret 17 arter af jordbier (*Andrena* spp.), men primært større arter, som formodes at bygge rede i nærområdet. Flere arter af små smalbier (*Lasioglossum* spp.) optrådte hyppigt og antages i højere grad, at grave reder i bedene, heriblandt den rødlistede (næsten truet) *L. tarsatum*, som er afhængig af tørt, varmt og sandet substrat. Desuden blev der registreret flere arter af blodbier (*Sphecodes* spp.), som typisk er kleptoparasit på smalbier. Gravehvepse benytter også bedene som rede- og/eller foderressourcer, fx *Cerceris rybensis*, som jager smalbier, *C. arenaria*, som jager snudebiller, hvilket desuden vidner om, at de små bede kan understøtte mangeartede interaktioner.

Philanthus triangulum (biulv), som jager honningbier, blev også registreret sammen med dens kleptoparasitiske guldhveps, *Hedychrum rutilans*.

Hulboende arter bygger rede i cylinderformede huller, typisk i dødt ved, murværk og hule stængler. Flere særlige hulboende arter blev registreret, bl.a. *Heriades truncurom* (rødlistet, næsten truet) og *Hylaeus pictipes* (rødlistet, kritisk truet). Disse formodes dog at have haft rede i nærområdet og at have brugt bedene til fouragering, da de typisk foretrækker dødt ved eller brombærstængler. Desuden understøtter driften af bedene ikke stængelboende bier, hvor beplantning afklippes og fjernes årligt. Omvendt er fjernelse af biomasse nødvendigt for at opretholde det åbne og varme mikroklima i det sandede substrat. Et forsøg blev udført for at se hvilke arter, som overvintrer i vegetation og potentielt fjernes, hvor *Hylaeus cornutus*, sidst set i Danmark for over 100 år siden, blev udruget fra stængler af kongelys.

Trods LAR-bedenes lille størrelse, urbane kontekst og unge alder, kan Københavns Universitet konstatere, at med det rigtige beplantningsvalg, kan LAR-vejbede hurtigt tiltrække en stor mangfoldighed af leddyr. De kan bidrage med ressourcer til lokale populationer af generalistiske mobile arter, men også understøtte specialiserede arter, som er afhængige af bestemte planter eller miljøforhold til gennemførelse af deres livscyklus.

7. Arbejdspakke 0

Arbejdspakke 0 har beskæftiget sig med projektadministration og formidling. Herunder er arbejds pakken inddelt i:

1. Projektledelse og -koordinering
2. Styregruppemøder
3. Kommunikation
4. Formidling, rapportering og afslutning

Målgruppen for projektet har især været vandselskaber, kommuner og producenter af filterjord, men også statslige styrelser samt internationale aktører m.fl. vil kunne have interesse i resultaterne.

7.1 Projektledelse og koordinering

Der har til opstart af projektet været afholdt to workshops i 2021, den ene vha. ekstern konsulent Henrik Karlsen fra 5i.

AP1 og 2 er løbende blevet integreret via møder med deltagelse fra alle projektpartnere og følgegrupper løbende frem til og med juni 2024. Herefter har arbejdet i projektet primært bestået af databearbejdning og publiceringer og der har derfor ikke været behov for samme mødehyppighed.

Derudover er der afholdt fire følgegruppemøder i perioden fra maj 2021 til og med november 2024.

TABEL 7.16. Oversigt over møder, workshops og projektledelse gennem udviklingsprojektet. Farvede celler angiver, at der har været aktivitet i pågældende kategori og måned.

	AKTIVITETER	Workshops med deltagere fra begge arbejdspakker	Møder med samarbejdspartnere WP1 + WP2	Møder med følgegruppe	Projektledelse workshops, møder, referater mv
	Deltagere	VCS, SDU, AU, KU, Skovskolen, Envidan, Byggros	VCS, SDU, AU, Envidan, Byggros	VCS, SDU, KU, Envidan, Byggros	VCS
2020	Dec				
2021	Jan				
	Feb				
	Mar				
	Apr				
	Maj				
	Jun				
	Jul				
	Aug				
	Sep				
	Okt				
	Nov				
	Dec				
	Jan				

2022	Feb			
	Mar			
	Apr			
	Maj			
	Jun			
	Jul			
	Aug			
	Sep			
	Okt			
	Nov			
	Dec			
2023	Jan			
	Feb			
	Mar			
	Apr			
	Maj			
	Jun			
	Jul			
	Aug			
	Sep			
	Okt			
	Nov			
	Dec			
2024	Jan			
	Feb			
	Mar			
	Apr			
	Maj			
	Jun			
	Jul			
	Aug			
	Sep			
	Okt			
	Nov			
	Dec			
2025	Jan			
	Feb			
	Mar			
	Apr			
	Maj			

7.2 Styregruppemøder

Styregruppen og partnere har kommunikeret direkte med hinanden efter behov løbende i projektet.

7.3 Kommunikation

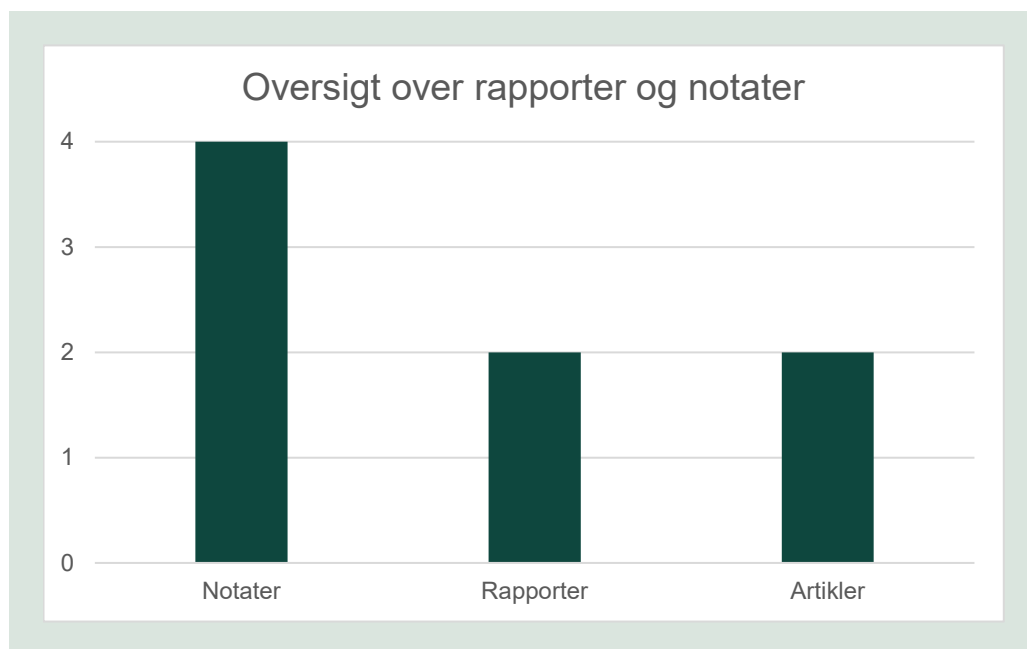
Kommunikationen omfatter kontakt og informationsflow mellem partnere i løbet af projektet. Herunder også arbejds møder, som er afholdt efter behov.

7.4 Formidling og rapportering

Der har været kvartalsvise statusrapporteringer fra februar 2021 til og med februar 2024 udover de efter Miljøstyrelsens retningslinjers udarbejdede projektrapporter.

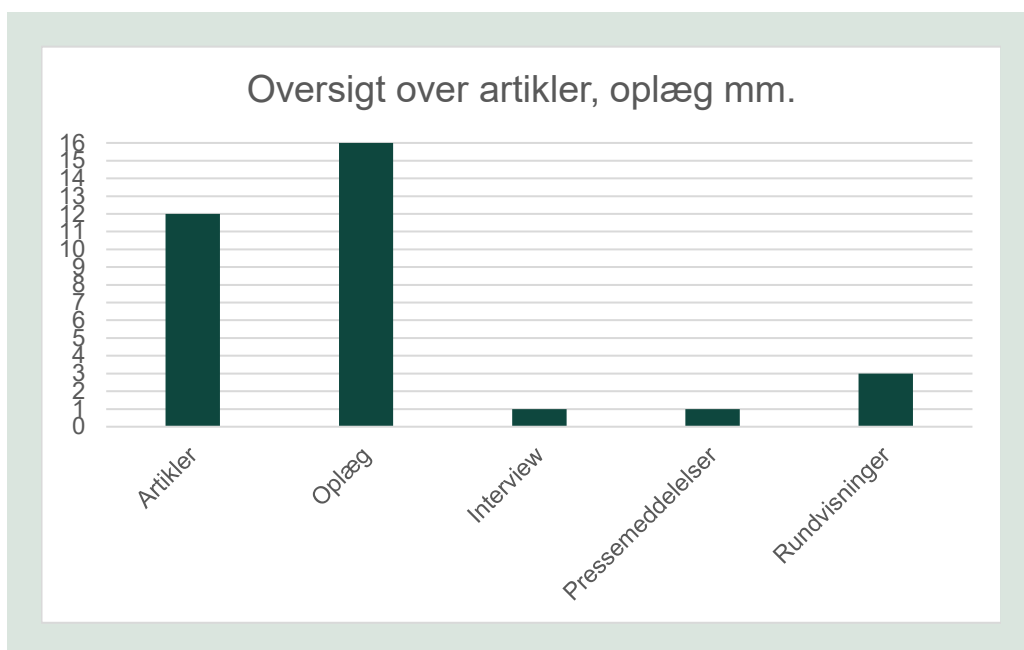
Følgegruppemøderne har fungeret som workshops til vidensdeling og netværk.

Gennem projektet er der udgivet en række videnskabelige rapporter og notater som ses i en oversigt nedenfor i FIGUR 7.1. De to artikler er under udarbejdelse.



FIGUR 7.54. Oversigt over rapporter og notater udgivet i fbm. udviklingsprojektets arbejde.

Der er gennem projektet blevet udgivet artikler og været afholdt oplæg til formidling af information. Senest er et webinar under DNNK afholdt i juni. En oversigt ses nedenfor i FIGUR 7.2. Af de 12 udgivne artikler i diverse medier omhandler 10 fundet af hornmaskebie.



FIGUR 7.2. Oversigt over artikler og oplæg udgivet i fbm. udviklingsprojektets arbejde.

Bilag 1. Vedrørende AP1

- Bilag 1.1** Notat om kolonneforsøg
- Bilag 1.2** Rapport om PAH-analyser
- Bilag 1.3** Notat om opbygning af LAR-anlæg

Bilag 2. Vedrørende AP2

- Bilag 2.1** Notat om plantevækstforsøg
- Bilag 2.2** Notat om træartsvalg til LAR-vejbede
- Bilag 2.3** Rapport om biodiversitet og LAR-løsninger

Resumé

Formålet med Det holistiske LAR-vejbed har været at opnå forbedret rensning af vejvand i LAR-vejbede, der i sammenligning med rørløsninger, har et lavere CO₂-aftryk, forbedrer forholdene for biodiversiteten og bidrager til grøn profil i byområder.

Projektet har været igennem en teknisk orienteret og på samme tid videnskabelig udviklingsproces med henblik på at optimere samspillet mellem filterjordblandinger og beplantningssammensætning, så planterne, rodzo-nen og filtermaterialet som helhed fungerer optimalt og kan dokumenteres videnskabeligt.

Samarbejdspartnerne har udviklet nye typer vækstmedier, der kan leve op til følgende målsætninger, som er essentielle for kommerciel succes:

- Opnå dokumenteret renseeffekt på niveau med stillede krav til nedsivning og udledning til bynære recipienter
- Veldefinerede hydrauliske egenskaber
- Understøtte plante- og trævækst, således at vejbede kan fremstå frodige og bidrage til biodiversitet
- At jordblandingerne kan replikeres til enhver tid med sikkerhed for at egenskaberne er til stede
- At de samlede omkostninger ved anvendelse af LAR-vejbede er billigere end anvendelse af rørføring og rensning på centralt renseanlæg som det gøres i dag
- At alle egenskaberne til vækstmediet kan beskrives ud fra kendte normer og testmetoder og derfor åbner for at producenter kan dokumentere disse

Der er indenfor projektets levetid udviklet en filterjord, som kan opfylde ovenstående. Det er muligt for alle at replikere vækstmedierne ud fra opstillede krav til egenskaber, og dermed sikre åben konkurrence mellem producenter, så udvikling af endnu bedre og mere effektive vækstmedier fortsætter efter projektets afslutning.



Miljøstyrelsen
Lerchesgade 35
5000 Odense C

www.mst.dk