

Litteraturstudie vedr. nye filter- og buffer teknologier til N og P i dræn-og overfladevand

Forfattere:

Hovedforfatter: Specialkonsulent Frank Bondgaard.

Medforfattere: Seniorkonsulent Majken Meldorf Deichmann SEGES Innovation P/S. Landskonsulent Simon Rosendahl Bjorholm.

Indledning

Der arbejdes med mange forskellige typer af miljøtiltag rundt i verden for at forhindre tab af næringstoffer og sediment af ler- og siltpartikler i dræn- og overfladevand. Fosfortabet ved vanderosion, brinkerrosion, matriceudvaskning og makroporetransport på højbundsjorde, udvaskning fra organiske lavbundsjorde samt skønnede bidrag fra vanderosion, overfladeafstrømning og grundvand er det samlede diffuse fosfortab, som er opgjort til 1.327 t P år⁻¹ med et usikkerhedsinterval på 715 – 2261 t P år⁻¹. Landbrugsbidraget er opgjort til 683 t P år⁻¹ med et usikkerhedsinterval på 292 – 888 t P år⁻¹ ifølge rapporten [Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark](#).

I dette litteraturstudie gennemgås forskellige buffere og sedimentfælder, som anvendes i praksis eller på forsøgsbasis rundt i verden til beskyttelse af vandmiljøet, dog er en del af dem stadig på forsøgsstadiet. SEGES Innovation har både besøgt og undersøgt forskellige filterteknologier til N og P i dræn- og overfladevand fra New Zealand, Finland, Skotland, Norge, Sverige og USA. Det er disse som denne rapport stiller skarpt på, og derfor fylder de allerede kendte danske miljøvirkemidler, som der er forskningsmæssigt belæg for, ikke så meget i denne rapport. Minivådområdeordningen bliver nu implementeret og minivådområder med matrice med sedimentationsbassiner berøres ikke, da disse stadig undersøges forskningsmæssigt i [Minivådområder med Matrice](#). Effekten af intelligente randzoner er afklaret i praksis, og på mættede randzoner foregår der stadig en forskningsmæssig indsats. Mange af de undersøgte drænvirkemidler har haft stort fokus på reduktion af nitratudvaskningen i Danmark, så der er i denne rapport mest fokuseret på forskellige metoder, som kan sedimentere ler- og silt partikler og dermed også forhindre udvaskning af især fosfor til vandmiljøet.

New Zealand

Living Water

Living Water er et 10-årigt partnerskab fra 2013-2023 mellem [Fonterra Diary for Life](#) og [Department of Conservation](#) i New Zealand. Partnerskabet afprøver forskellige miljøtiltag, og deres mål er at få landbrug, ferskvand og sunde økosystemer til at trives side om side. De arbejder i fem regioner på tværs af New Zealand. Deres miljøtiltag ses på Tools & solutions, og deres 9-års jubilæum for samarbejdet ses [her](#).

Detainment BundPS120 ©

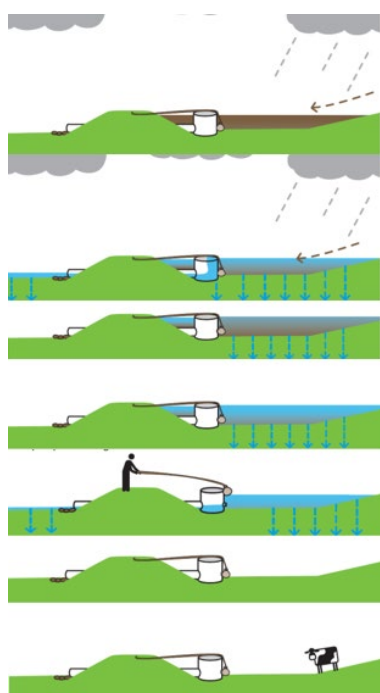
En Detainment BundPS120 (DB) er en større eller mindre jordvold, der placeres ved afstrømningsveje for midlertidigt at tilbageholde overfladevand fra skybrud, som har til formål at forbedre vandkvaliteten. DB'er er normalt placeret på værdifulde og produktive græsarealer, da disse områder ofte er der, hvor mulighederne

for midlertidige vandansamlinger kan optimeres med mindst jordarbejde. De er ikke placeret direkte i strømmende vandløb men ved strømningsveje i terræn. Der findes mange typer af strukturer, som kan etableres for at opbevare vand til forskellige formål, og der er en overflod af navne i New Zealand for at beskrive dem, bl.a. regnvandsopbevaringsdæmning, tilbageholdelsesdæmning, afvandingsdæmning, vandforsyningsreservoir, andedam, sedimentfælde, sedimenttilbageholdsgruber, sedimentretentionsdam, opbevaringsdam, bundslamdam, bundfældningsdam, siltdam, kunstvandingsreservoir, omledningsdæmning, kvægforsyningsdam, osv.

Detainment BundPS120 er ikke dæmninger, men græsarealer, der lejlighedsvis tilbageholder vand, mens dæmninger normalt opbevarer vand. Navnet Detainment BundPS120 (DB) er et beskrivende varemærke, der bevidst blev skabt i 2019 af [Phosphorus Mitigation Project Inc.](#) for at give en utvetydig sammenkædning af DB'er med de forbehold, der gælder for brugen af dette navn. Dette er for at undgå forvirring med andre typer vandopsamlings- eller vandopbevaringsstrukturer. Det giver også større sikkerhed for ydeevne og ansvarlighed for reduktionen af forurenende stoffer, til gavn for landmænd/ejere af jord, da de hermed får klar besked om, hvilke effekter de kan forvente af deres investering i behandlingen af deres regnvandsafstrømning med henblik på at opnå bedre vandkvalitet. PS120, refererer til reduktion af fosforudslip (P), sedimentudslip (S) og en opbevaringsstruktur med en minimumskapacitet vurderet til det opland, den betjener, dvs. $\geq 120 \text{ m}^3$ opbevaringsvolumen pr. hektar af oplandet.

Detainment BundPS120, inkluderer:

- Primære formål er at reducere forureningsbelastninger fra regnvandsafstrømninger.
- Måltrettet fosforsedimentation og sedimentering i det hele taget.
- Beliggende på regnvandsafstrømningsveje på landbrugsarealer.
- Midlertidig opbevaring (mindre end tre dage pr. afstrømningshændelse).
- Anvendelse på små oplande <42 hektar.
- Opnåelse af et minimumsforhold mellem opbevaring og opland på $\geq 120 \text{ m}^3$ pr. hektar.
- Volumen af regnvand opbevaret er <5.000 m^3 .
- Ingen betydelig kompromittering af landbrugsproduktiviteten inden for DB-området og opbevaringsområdet.



Figur 1: illustrerer sedimentation i en DB efter en kraftig nedbørshændelse. Illustration fra [Detainment BundPS120 ©. A Guideline for on-farm, pasture based, storm water run-off treatment.](#) (Detainment Bund = tilbageholdelse; bund = bund, grundlag, base eller ryg).



Figur 2: Sedimentation af silt og ler ved en DB efter en ekstremhændelse. Der ses på dette foto en markant farveforskel på græsset. Foto fra Phosphorus Mitigation Project.



Figur 3: Sedimentation af silt- og lerpartikeler i et dansk vådområdeprojekt. Foto af forskningsprofessor Brian Kronvang. Institut for Ecoscience - Oplandsanalyse og miljøforvaltning. Aarhus Universitet.

Fordele og resultater i anvendelsen af Detainment BundPS120 – DB			
	Problem (årsag)	Fordele	Resultater
1	Vandkvalitet (Fosfor)	Fosfor fra overfladevand sedimenteres i DB'er.	Der er bevist en reduktion på 47% til 68% af fosforbelastning ved overfladeafstrømning.
2	Vandkvalitet (sediment)	Sediment tilbageholdes i DB.	Der er bevist en reduktion på 51% til 59% af sediment ved overfladeafstrømning.

3	Erosion	Kan ved høj vandafstrømning modificere erosion.	Begrænsning af nedstrøms erosion.
4	Oversvømmelse	Mindre vedligeholdelsesomkostninger på nedstrøms infrastruktur.	Begrænsning af skader nedstrøms på boliger, broer, stikledninger, veje, græsgange og drikkevand.
5	Vandførende lag (Grundvand)	Kan have betydning for de vandførende lag ved tilbageholdelse.	Det er bevist, at der er 43-63% infiltration til vandførende lag ved en opholdstid på 72 timer.

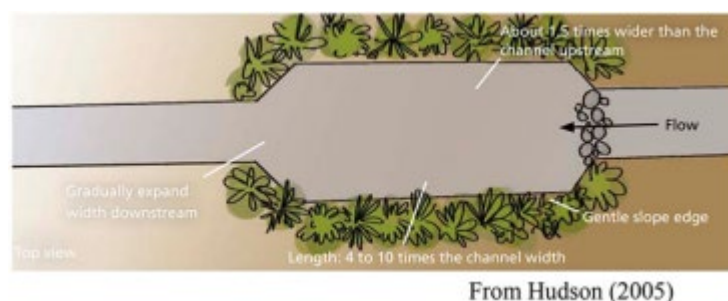
Uddrag af Detainment BundPS120 ©. A Guideline for on-farm, pasture based, storm water run-off treatment side 12. Se [Detainment Bund Trial video](#).

For mere viden om detainment bunds:

- [Detainment BundPS120 ©. A Guideline for on-farm, pasture based, storm water run-off treatment.](#)
- [How risky is intercepting farm Run-Off?](#)
- [The DB Applicability Model: A GIS model for assessing catchments' suitability for the installation of Detainment BundsPS120 to mitigate storm water runoff](#)
- [The ability of detainment bunds to decrease surface runoff leaving pastoral catchments: Investigating a novel approach to agricultural stormwater management](#)

Sedimentfælder direkte i afvandingsgrøfter og vandløb

Sedimentfælder er simple, billige udgravninger i en vandvej (å, dræn eller vandløb), der fanger og reducerer nedstrøms bevægelse af sand og silt. Udvidelse og/eller uddybning af vandvejen reducerer vandhastigheden, hvilket får partikler, der holdes i suspension, til at bundfælde i vandløbet. Denne type af sedimentations bassiner direkte i vandløbet virker ikke alle vegne, og der er tvivl om effekten.



Figur 4: Illustration fra artiklen A framework for applying interceptive mitigations for diffuse agricultural pollution.

En gennemgang af den offentliggjorte litteratur om effektiviteten fra New Zealand identificerede i alt 23 publikationer om emnet. Disse publikationer viste, at årlig effektivitet af sedimentfælder var meget variabel med resultater, der spænder fra 30% til 98%, og den gennemsnitlige årlige effektivitet i sedimentfældemålingerne på landbrugsjord var 59%. Af de præsenterede designkarakteristika var den vigtigste og mest udbredte designmetrik forholdet mellem fældens størrelse og oplandets areal. Mens nogle publikationer antyder, at et lagerforhold på $>100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ eller $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ er passende for at opretholde sedimentfangsteffektiviteten, tyder analysen i dette review på, at der lettest opnås en effektivitet på 55% eller bedre, når forholdet er $>120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Samlet set indikerer denne gennemgang, at selvom data er meget variabel, er der tilstrækkelige data til at antyde, at sedimentfælder kan være en bæredygtig og videnskabeligt forsvarlig foranstaltning mod sedimenttab i New Zealand.

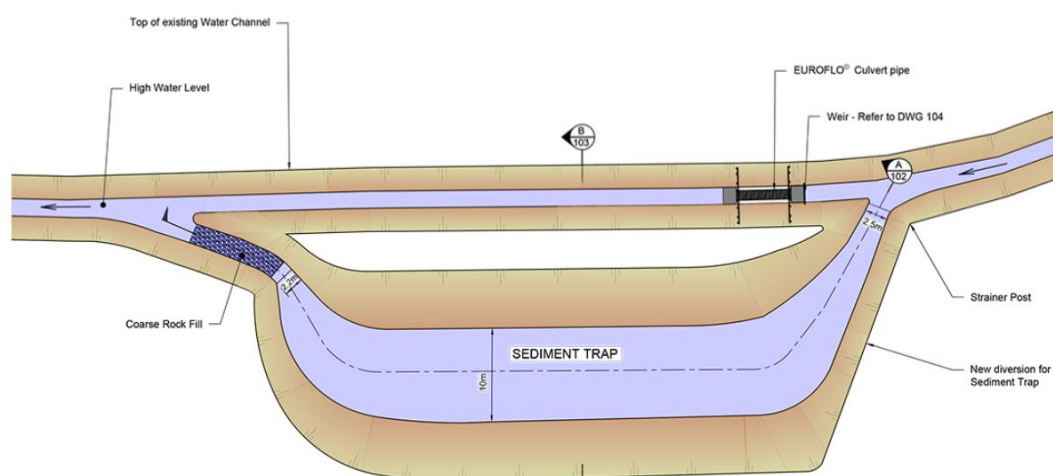
NB: Det vil sige, at 10 hektar kræver en sedimentfælde på ca. 0,1 hektar.

For mere viden om sedimentfælder:

- [Waikato Lake Edge Sediment Traps Trial](#)
- [Sediment traps - a simple and effective solution to sediment in waterways](#)
- [A review of the effectiveness of sediment traps for New Zealand agriculture](#)

Off-line sedimentfælde ved siden af afvandingsgrøfter og vandløb

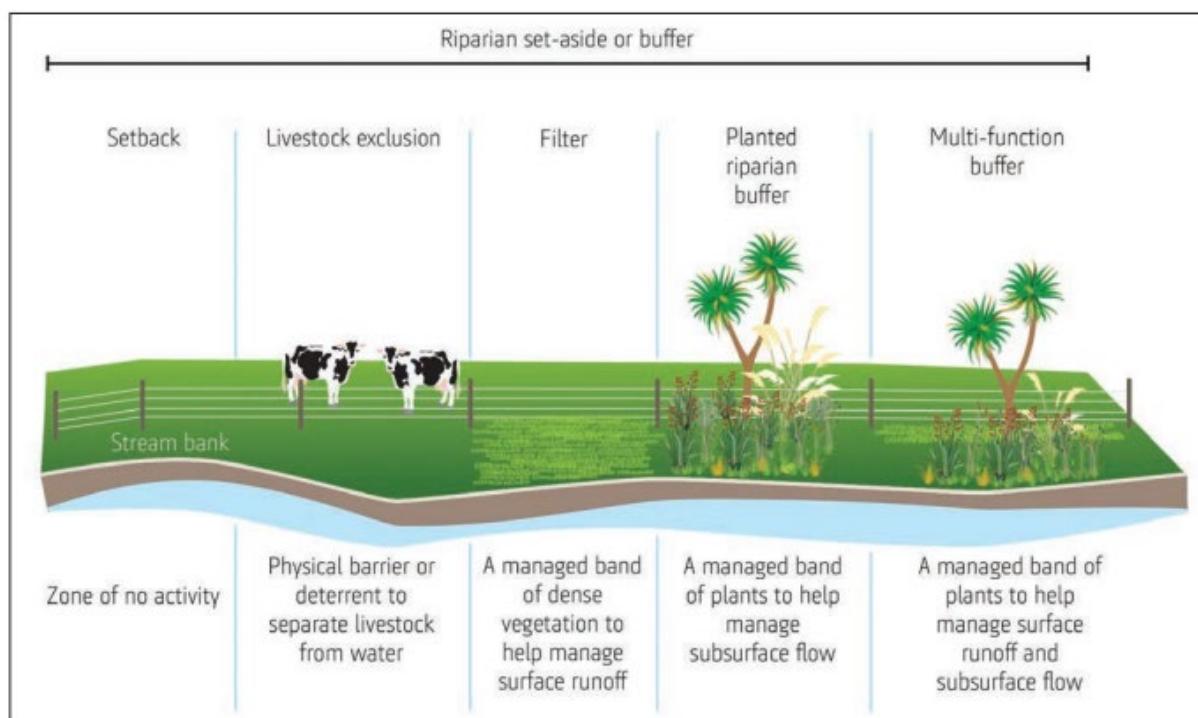
Sedimentfælder skal have en passende størrelse for at bremse vandet, der passerer igennem, så sediment kan bundfælde. Et off-line sedimentfældedesign skal forhindre sediment i at blive suspenderet igen ved kraftig vandføring, eller når fælden skal oprenses. Fælden sidder ved siden af vandløbet, og vandet ledes ind i fælden fra vandløbet. Vandstrømmen ind i fælden kan kontrolleres, så en del af vandstrømmen under f.eks. en ekstremhændelse kan passere ned ad det eksisterende vandløb, hvilket forhindrer sediment i at blive resuspenderet i fælden. Fælden kan også lukkes af i forbindelse med vedligeholdelse (forhindrer sedimenttab, mens dette sker). Det er håbet, at opsamlingen af sediment i fælden vil reducere hyppigheden af mekanisk drænvædligeholdelse nedstrøms i selve vandløbet.



Figur 5: Illustration af Off-line large-scale sediment traps fra Living Water. Fonterra Co-operative Group and Department of Conservation.

Randzone designs

I New Zealand har landmændene med husdyrproduktion tilplantet eller indhegnet arealerne langs vandløbene, enten med græsstriber, såning af hør, buske eller tilplantning med træer. Disse kan kombineres på forskellige måder. Det gøres for at bremse næringsstof- overfladeafstrømningen ved at sedimentere ler- og silt-partikler imens vandet står stille eller ved infiltration af vandet ned igennem randzonen, så afstrømningen ikke er direkte ud i vandløbet. Terrænforholdene og bredde af filtrene er afgørende for effekten, men i guidelinen nævnes en gennemsnitlig effekt på 74% af suspenderet sediment, 67% fjernelse af kvælstof og 59% fjernelse af fosfor i en stribe på 10 meter i tabel 1 i [Riparian buffer design guide](#). Det ville være oplagt at have lignende tabelværdier i Danmark, hvis der skal implementeres mindre sedimentationsbassiner eller bufferzoner i større skala. Guiden læses som om, der er en vis designfrihed til at etablere bufferne langs vandløbene (se side 15).



Figur 6: Illustration fra guide Riparian Buffer Design Guide fra NIWA.

Flydende vådområder

Flydende vådområder består af en kunstig måtte med planter, som er i stand til at gro i vand f.eks. græsser, dunhamre, siv etc. Planterne skal dække deres næringsbehov direkte fra vandet. I modsætning til et konventionelt vådområde, der veksler mellem naturlige oversvømmelser og mere tørre forhold, så er et flydende vådområde nedsænket i vandet hele året rundt. Se [Trialling Floating Wetlands](#) og [How to building a floating Wetland](#). Miljøtiltaget har haft varierende effect. I den første overvågningsperiode (2016-2017) havde det flydende vådområde en effekt på suspenderede sedimenter på omkring 50% og den samlede fosforfjernelseseffektivitet var omkring 50%. Indvirkningen på nitrogenfjernelse var mere variabel. I den anden overvågningsperiode (2019-2020) varierede mængden af suspenderede sedimenter betydeligt afhængigt af sæson og vandstand og blev ikke reduceret af det flydende vådområde. Vedligeholdelsen er en stor udfordring. Se [Floating wetlands](#).



Figur 7: Flydende vådområde direkte i et vandløb. Foto Living Water i New Zealand.

Trådalger - Filamentous Algae Nutrient Scrubbers (FANS)

NIWA's Aquatic Pollution Mitigation Group i Hamilton leder et forskningsprojekt til at udvikle et FANS-system. En ny økoteknologi i aktiv udvikling, der består af lavvandede skrånende kanaler, der er beplantet med fastgjorte eller ophængt med naturligt hjemmehørende trådalger. Når drænvand strømmer ned ad kanalen, optager algerne opløst kvælstof og fosfor fra vandet til algebiomasse. Biomassen kan bruges til naturlig gødning og dyrefoder, disse og andre anvendelser undersøges af forskerholdet og Iwi-partnere.

FANS vil normalt være placeret uden for hovedstrømmen og forsynet ved delvis omdirigering af permanente dræn eller vandløb, men kan også være passende for sæsonbestemte eller mere variable strømme. Algebiomassen høstes regelmæssigt for at fjerne ophobede næringsstoffer, som kan spredes på land som en langsomt frigivende organisk gødning eller bruges som et fodersupplement til kvæg.



Figur 8: NIWA har to prøve-FANS systemer oprettet på mælkebedrifter i Walkato [Foto Stuart McKay/NIWA].

Filamentøse alger, også kendt som trådalger, er en type alger, der vokser i lange trådformede strukturer. Disse alger er almindelige i vandmiljøer som søer, floder og havvand og kan undertiden danne tætte, grønne tæpper på overfladen af vandet. De er en form for encellede organismer, der kan danne tråde eller tråde af celler, der ofte ser ud som lange tråde. Filamentøse alger kan være en del af økosystemet, men hvis de vokser i overdreven mængde, kan de forårsage problemer som vandforurening og iltvind. Det vurderes at have en kvælstofeffekt, der er det dobbelte af minivådområder og en fosforfjernelse, der er 4 gange så høj som i et minivådområde. Se foreløbige resultater her: [Agricultural drainage treatment and nutrient recovery using filamentous algae nutrient scrubbers](#). Oedogonium arter ser lovende ud i New Zealand.



Figur 9: Algevækst i minivådområde ved Odder den 24. april og 5 maj 2012. Foto: Frank Bondgaard, SEGES Innovation.

Links:

[Filamentous Algae as a Nutrient Scrubber for Agricultural Drainage Treatment](#). Doctor of Philosophy in Biological Sciences at The University of Waikato by Harizah Hariz

[Using algae for nutrient pollution mitigation](#). NIWA New Zealand. [Dr Rupert Craggs NIWA](#)

[Algal Turf Scrubber Pilot Project Durham, NC USA](#)

Vurdering af forskellige miljøtiltag i New Zealand

Tabellen fra artiklen [en struktur for implementering af forebyggende foranstaltninger mod diffus landbrugsforurening](#) i 2023 af Chris Tanner mfl. giver en god sammenligning af miljøtiltagene i New Zealand og deres miljøeffekter. Tabellen omfatter også andre miljøgevinster, men disse er ikke medtaget i oversættelsen af tabellen. Tabellen skal ses i sammenhæng med denne artikel [her](#). (PDF-fil: Interceptive mitigations NZ). De grønne felter indikerer en høj fordel eller effekt.

	Reduktionspotentiale				
	Opløst		Partikler		
Miljøtiltag	Nitrat	Vandopl. fosfor	Partikulært fosfor	Sediment	Mikroorg.
Bufferzoner m. græs (GRB)	13	13	2	2	2
Bufferzoner m. træer (PRB)	23	23	1	1	1
Bufferzoner - multi-funktionelle (MRB)	23	13	2	2	2
Sediment fælder (ST)	0	0	1	1	0
Minivådområder (CW)	2	0	2	2	1
Bioreaktorer med træflis/matrice minivådom.	2	0	0	0	1
Trådformede alger	2	2	1	1	2
Detainment bunds	0	0	2	2	1

Scoring for reduktion af forurenede stoffer: 0: Ingen/minimal reduktion. 1: Moderat fordel; reduktioner på 5-20% for forureningsstoffer, 0,5-1 log10 E. coli eller mere 2: Høj fordel; reduktioner på over 20% for forureningsstoffer, 1 log10 E. coli eller mere.

1: Sandsynligvis vil variere for forskellige Hapu og Iwi (klan- og stammegrupper) Se yderligere beskrivelse i artiklen. 2: Ville kræve bred implementering på tværs af landskaber for at påvirke oversvømmelsesstrømme på oplandsskala (sub-catchment). 3: Hvor grundvandsstrømme er tilstrækkeligt lavvandede til at næringsstoffer kan blive opfanget af planters rødder og organisk jord

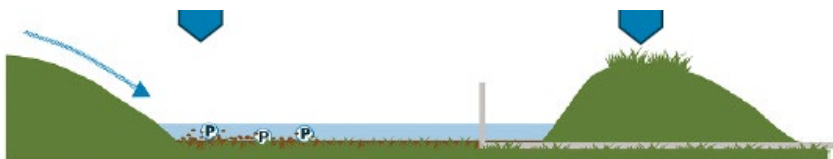
USA

I Iowa arbejdes der med flere forskellige filterteknologier og mange af dem minder om det der arbejdes med i New Zealand.

Vand- og sedimentkontrolbassiner

[Water and Sediment Control Basins](#) (WASCOB'er) er designet til at ligge ved skråninger eller vandløb. De tilbageholder nedbørsafstrømning under oversvømmelseshændelser og udleder langsomt dræn- og/eller overfladevand gennem et stabilt udløb, hvilket reducerer strømmingen med 5 %. Sediment i afstrømningen aflejres i bassinet, hvilket fjerner 80% af det samlede suspendede stof, og reducerer fosforbelastningen med 85%, hvorved vandkvaliteten forbedres nedstrøms. Herudover nævnes der mange andre positive effekter i fakta arket.

Se nogle af WASCOB'er i "[A win-win: The impact of the Iowa Watershed Approach](#)". Miljøtiltaget minder lidt om Detainment BundPS120 © i New Zealand, men her fastholdes en vandstand med et overløbsrør ligesom i minivådområderne i Danmark.



Figur 10: Illustration af en et vand- og sedimentkontrollbassin med overløbsrør fra Iowa University Extension and Outreach

Fosfor damme (Farm Ponds)

Fosfordamme er konstrueret ved hjælp af enten en dæmning eller en udgravning. De kan opsamle og lagre overfladeafstrømning. Dette kan reducere afstrømningen med 10-30 procent, fosforbelastningen med 85 procent og samtidig forhindre jorderosion. Publikation fra [Iowa Watershed Approach – Farm Ponds](#).



Figur 11: Illustration af sedimentation fra fakta arket Iowa Watershed Approach – Farm Ponds

Oxbow restaurering

Ordet Oxbow kan oversættes til dansk som hestesko eller bue. I Iowa udnyttes afsnøringer i vandløbene til miljøtiltag ved at uddybe den hesteskovormede sø og lede drænvand- og overfladevand til området. Opbevaring af dræn- eller overfladevand kan reducere sedimentbelastningen og reducere nitratbelastningen med 56%.



Figur 12: Oxbow restaurering. Fotos fra fakta arket [The Iowa Watershed Approach - Oxbow Restoration](#)

Se forklaring på hesteskoformede søer her: [Hvorfor bugter et vandløb sig? Meanderbue-udvikling](#).

Opsamling og recirkulering af drænvand – Transformingdrainage

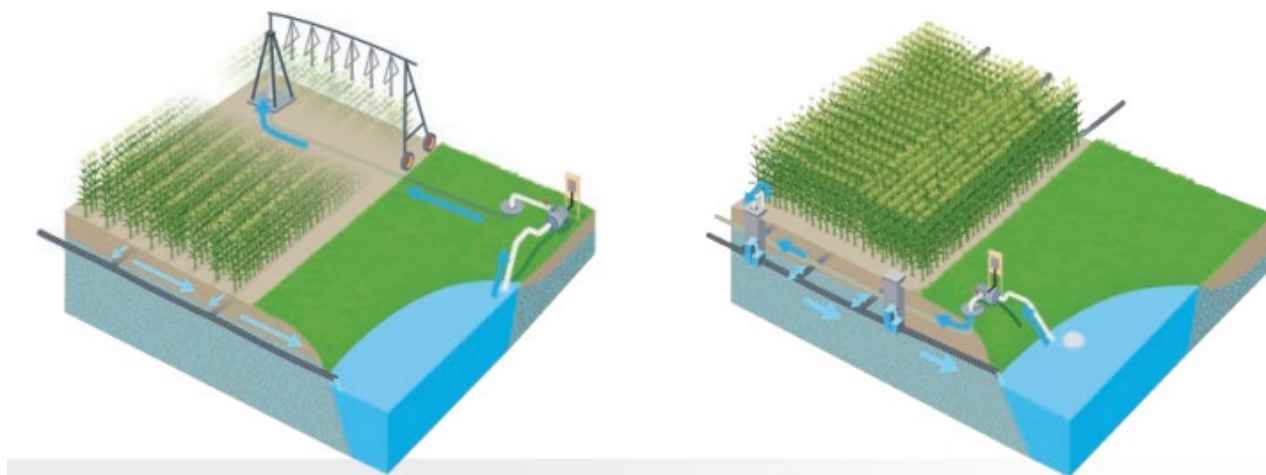
I USA har de i flere år arbejdet med [transformingdrainage](#) eller på dansk opsamling og recirkulering af drænvand. Her anvendes en kombination af drænsystemer, kontrolleret dræning, kontrolbrønde, opbevaringsbassiner til især vinternedbør, vandringsanlæg og pumpe til recirkulering af drænvand. Opbevaringsbassiner er

gode til sedimentation og genanvendelse af tabte næringsstoffer samt til at håndtere kraftige nedbørshændelser nedstrøms. Der er set op til 28 procent reduktion af nitratudvaskningen.

Anlæggene kan alt afhængig af terrænforhold både anvendes til vanding oven på jorden (irrigation) eller ved at pumpe vand direkte tilbage i drænene (sub-irrigation). Systemet kan også anvendes til at pumpe drænvandet ud af marker som bliver for våde i løbet af sæsonen.

I USA er der en bekymring for, at pesticider der er anvendt i marken og som er løber ud i opbevaringsbassinnet, ikke er godkendt i den afgrøde hvor drænvandet senere anvendes til vanding. Dette vil sandsynligvis ikke være et problem, hvis vandet drænes fra én mark og genbruges tilbage til i den samme mark, men hvis flere marker løber ud i bassinet, kan der være et potentiale for afgrødeskade. Mere forskning er nødvendig for at vurdere risikoen.

Tiltaget kan give udbyttesikkerhed ved god styring og passer ind i alle aspekter af hele klimadiskussionen med fødevarer sikkerhed, sikkerhed for nok vand i tørkeperioder ved retention i hele landskabet, bedre håndtering af oversvømmelser ved kraftig nedbør.



Figur 13: Illustrationer af recirkulering af drænvand fra: [Questions and Answers About Drainage Water Recycling for the Midwest](#), [Drainage Water Recycling](#), [Transformingdrainage.org](#), [Catalog & Literature](#). *Agri Drain Corporation – Your partners in Water Management*

Video: [Drainage Water Recycling: Capturing, Storing & Using Drained Water for Multiple Benefits -ABE-168-WV](#) og Video: [Planning Drainage Water Recycling Systems - ABE-169-WV](#)

Skotland

I Skotland viser [James Hutton Institute](#) i deres virkemiddelsværktøj [Smarter buffer](#) flere forskellige nye metoder til sedimentation før dræn- eller overfladevand løber i vandløb. Der er meget information at hente i dette link om miljøtiltag i Skotland.

Bufferzoner i lavninger

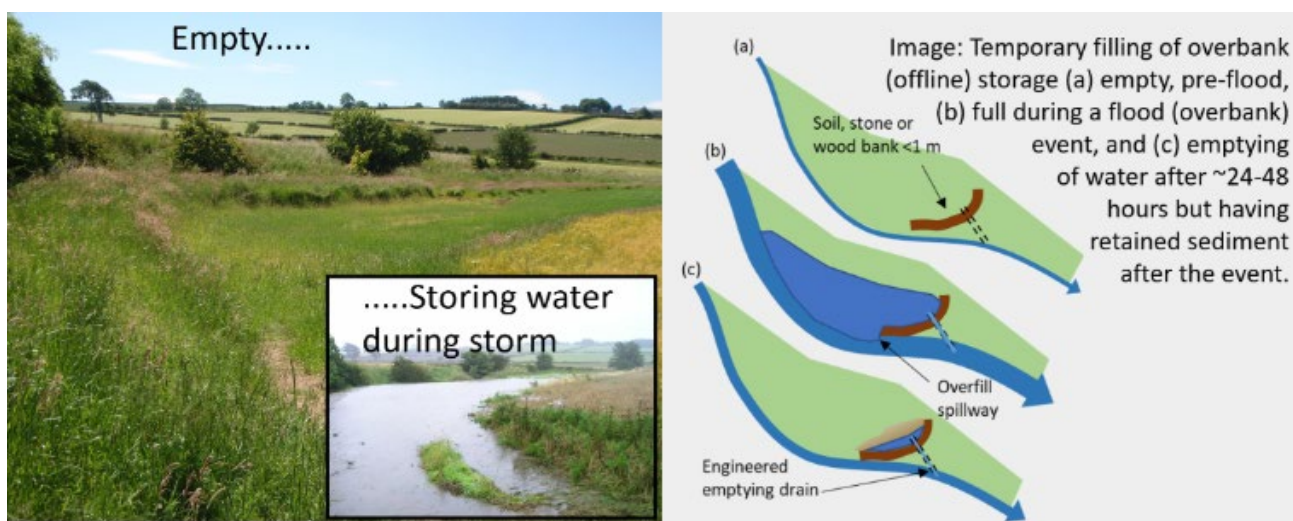
Buffer zoner (Raised buffer: field runoff) som er en slags lavninger langs vandløbet der opbevarer overfladevand fra marken og sikrer infiltration og sedimentation ved at overfladevandet af dræner direkte ned i jorden. Effekt ikke nævnt.



Figur 14: Fra [Smarter buffer](#). James Hutton Institute

Bufferzoner med jordvolde

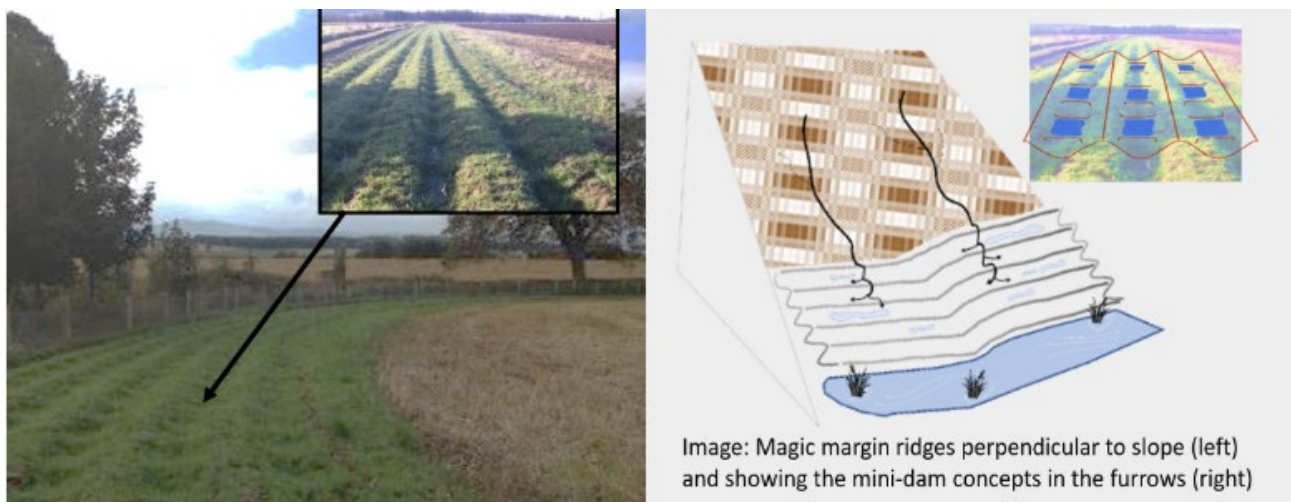
Bufferzoner (Raised buffers: overbank) med jordvolde som ved oversvømmelseshændelser sikrer sedimentation ved at vandet drænes langsomt ned i jorden. Minder om Detainment BundPS120 © i New Zealand og WASCOB'er i USA. Effekt ikke nævnt.



Figur 15: Fra [Smarter buffer](#) James Hutton Institute

Magiske bufferzoner

[Magic margies](#) er bølgede jordvolde som kan være med til at sikre sedimentation af ler- og silt partikler i overfladevand. Effekt ikke nævnt.



Figur 16: Fra [Smarter buffer](#) James Hutton Institute

Integrerede bufferzoner

De skotske integrerede buffer zones er lavet i tæt samarbejde med Danmark i projekt BufferTech og anvendes til sedimentation fra drænvand. Disse kaldes i [Danmark Intelligente bufferzoner](#), IBZ. Der er konstruktionsforskelle mellem de skotske og danske miljøtiltag. I Danmark graves træerne med i terræn i et bassin i en IBZ, mens træerne i Skotland plantes direkte i jordoverfladen efter sedimentationsbassinet. I de danske forsøg har det vist sig at det kan være vanskeligt at få træerne til at gro i råjord, ligeledes kræver den skotske version af denne type bufferzoner ikke så meget flytning af jord i terræn som den danske version. Zak et al. (2018) viste effekter på 26 % for nitrat og 48 % for total P, svarende til 140 g N/år og 2,4 g P/år fjernelse pr. m² af det integrerede bufferzoneareal.



Figur 17: Integreret buffer zone ved James Hutton institute i Skotland hvor elletræerne er plantet direkte i overjorden og med en grøft foran. Foto Frank Bondgaard, SEGES



Figur 18: Intelligent bufferzone ved Sillerup hvor både træer og grøft er nedgravet i terræn. Dronefoto SEGES.

Der er i Skotland lavet en afrapportering af mange af miljøtiltagene og professor [Marc Stutter](#) som er medforfatter til undersøgelsen har følgende kommentar:

"Skovbeklædte og konstruerede buffere zoner scorede højere end de konventionelle græs buffer zoner med hensyn til resultaterne for diffus forureningskontrol, kulstofretention og geomorf oversvømmelseshåndtering."

Øvrige Links:

[3D buffer strips: Designed to deliver more for the environment](#) fra Chief Scientist's Group report October 2020 Scotland.

[Intelligente bufferzoner](#). Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi Dato: 12. March 2019 Danmark.

[Integrerede Skyddszoner](#) I Sverige

Sverige

I Sverige er der lavet ca. 3.000 Våtmarker og fosfordamme. Våtmarker kan bedst sammenlignes med vådområdeprojekter i Danmark, mens fosfordamme mest ligner minivådområder. Disse mindre tiltag minder dog mest om mindre vandhuller eller damme, som navnet også antyder. Der er ikke så strenge udformningskrav, da der i Sverige mest er fokus på sedimentation af silt og ler og ikke nitratreduktion som i Danmark.

Der arbejdes også med dobbeltprofiler (two stage ditches), se videoen [Tvåstegsdiken | Hur, Var, Varför](#). Der anvendes strukturkalkning med brændt kalk i større stil (structure liming) som har den effekt at fosfor bliver bundet mere i den krummestruktur som kalken er med. [Se Strukturkalk - Hur Var Varför](#). Lime-filter ditches hvor kalk og biochar placeres sammen med nye dræn afprøves også.

Øvrige links:

[Dammar som samlar fosfor](#). Jordbruks verket

[Fosfordamn. Rich waters](#)

[Våtmarker och fosfordammar](#).

[New services for water management in agricultural landscapes - a catalog of ideas and experiences](#)

[Fuldskala implementering af miljøtiltag i Västervik området I Sverige](#). Projekt Waterdrive

Video: [Fosfordammar - Hur Var Varför](#)

Overview of Measures. www.water-drive.eu

Finland

Dobbeltprofil

En dobbeltprofil (to-trins grøft = two-stage ditches) er bredere end en traditionel afvandingsgrøft. Konstruktionen sænker hastigheden i vandløbet, reducerer risikoen for erosion i vandløbsbredderne og oversvømmelser i nedstrøms områder. Der er delte meninger om vedligeholdelse af tiltaget, men oprensning og fjernelse af trævækst kan være nødvendigt.

Pilotundersøgelser i Midtvesten i USA og Finland viser, at to-trins kanaler kan give vandkvalitetsfordele ved at fange og behandle suspenderet sediment, fosfor og kvælstof (f.eks. Mahl et al. 2015; Västilä et al. 2016).

Akkumuleringshastighederne af P, N og C i det aflejrede sediment blev kvantificeret ud fra de vertikale sedimentære massefordelinger. Baseret på denne 9-års overvågning var den sedimentære tilbageholdelse i den 830 m lange flodslette 6450 kg/a for SS, 4,7 kg/a for P, 23,2 kg/a for N og 228 kg/a for C. Sammenligning af tilbageholdelsen med de samlede transporterede læs viste, at retentionseffektiviteten af flodsletten var 6,8 % for SS, 3,5 % for P, 0,42 % for N og 0,62 % for C.

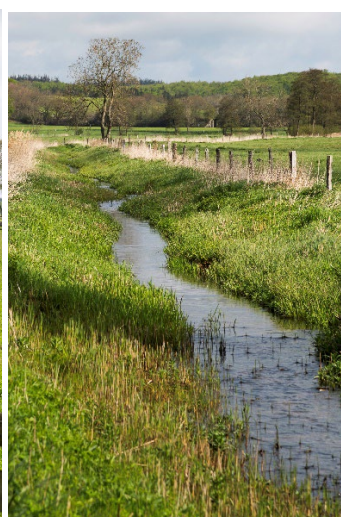
I Finland er effektiviteten af dobbeltprofiler blevet evalueret grundigt ved at beregne procentdelen af suspenderet sediment og sedimentær akkumulering af P, N og kulstof (C) i forhold til de samlede transporterede læs over en 9-årig periode mellem somrene 2010 og 2019 (Västilä & Jilbert 2021). Nettotilbageholdelsen og erosionen af suspenderet sediment på flodsletten, hovedkanalsider og lavstrømskanalen blev opnået ud fra gentagne højopløsningsundersøgelser af tværsnitsgeometrien. Akkumuleringshastighederne af P, N og C i det aflejrede sediment blev kvantificeret ud fra de vertikale sedimentære massefordelinger. Baseret på denne 9-års overvågning var den sedimentære tilbageholdelse i den 830 m lange flodslette 6450 kg/år for suspenderet sediment, 4,7 kg/år for P, 23,2 kg/a for N og 228 kg/a for C. Sammenligning af tilbageholdelsen med de samlede transporterede belastninger viste, at retentionseffektiviteten af flodsletten var 6,8 % for suspenderet sediment, 3,5 % for P, 0,42 % for N og 0,62 % for kulstof. Se [Two-stage ditches](#) fra EU projektet Waterdrive. Se også dobbeltprofil i New Zealand [her](#).



Figur 19: Dobbeltprofil i Finland. Foto Mikko Ortamala.



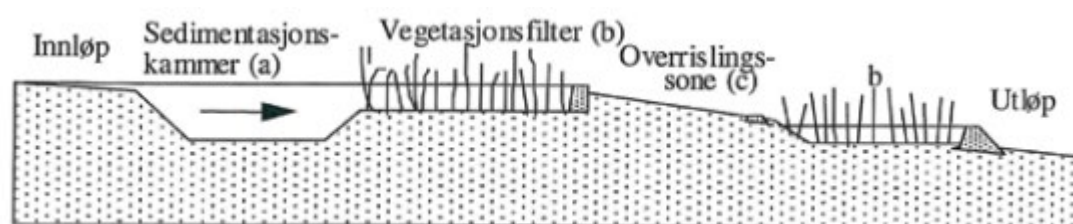
Figur 20: Dobbeltprofil i Finland. Foto Mikko Ortamala.



Figur 21: Dobbeltprofil ved Aakjær Gods i Odder. Foto Frank Bondgaard SEGES Innovation

Norge

Norge har i mange år arbejdet med fangdammer eller renseparker til at sedimentere ler- og silt. Der anvendes rene sedimentations bassiner, eller bassiner kombineres med vegetationsfiltre og overrisling. Der arbejdes med et program kaldet [Agricat 2](#) som er en oplandsorienteret model, der kan bruges til at beregne tabet af jord og fosfor fra landbrugsjord. Ligeledes er der modeller stillet op for design af fangdammer, f.eks. kræver 150 hektar et bassin på 2.100 kvadratmeter. I 4 undersøgte fangdammer (Braskerud m.fl., 2005) har det vist sig at den gennemsnitlige sedimentation af jord pr. fangstdam var fra 18 til 75 tons/år og tilbageholdenheden af fosfor var fra 20 til 46 kg/år. I tabellen ses en tilbageholdelse af jordpartikler på 45-68 procent og en relativ fosforfjernelse på 23-42 procent.



Figur 22: Illustration fra artiklen [Fangdammer for partikkel og fosforrensing](#)



Figur 23: Principskitse af fangdam med sedimentationsdam, vådområdefilter og overrislingszone. Illustration: Anne-af Grete Buseth Blankenberg, [NIBIO](#) fra [Fangdammer og renseparker](#).



Fangdam med hoppesteiner. Foto: A.M. Næss.

Figur 24: Foto af A.M. Næss i artiklen [Fangdammer – effektive oppsamlere av jord og næringsstoffer](#)

Der arbejdes også med forskellige typer af bufferzoner langs vandløbene og det anbefales at høste græsset i randzonerne da øget fosforindhold i plantemassen også kan betyde øget risiko for fosforudvaskning gennem vinteren.

Link:

[Effekt og utforming av kantsoner mot vann i distrikt med høy husdyrtetthet](#)

Oversigt kvælstof- og fosforeffekter

Land	Dræn – og overfladeafstrømning. N og P effekter	Tilbageholdelse af sediment
New Zealand		
Detainment BundPS120 ©	Reduktion på 47 % til 68 % af fosforbelastningen ved overfladeafstrømning.	Reduktion på 51-59% af sediment ved overfladeafstrømning
Sedimentfælder direkte i afvandringsgrøfter og vandløb	-	Spænder fra 30% til 98%, og den gennemsnitlige årlige effektivitet i sedimentfældemålingerne på landbrugsjord var 59%.
Off-line sedimentfælde	-	-
Randzoner	Gennemsnitlig effekt på 67 procent fjernelse af kvælstof og 59 procent fjernelse af fosfor i en stribe på 10 meter. Tabelværdi fra Riparian buffer design guide	Gennemsnitlig effekt på 74 % af suspenderet sediment,
Flydende vådområder	Effekt på 0-50 procent	Effekt på 0-50 procent
Trådalger - Filamentous Algae Nutrient Scrubbers (FANS)	FANS vurderes at have en kvælstofeffekt der er det dobbelte af minivådområder og en fosforfjernelse der er 4 gange så høj.	--
USA		
Vand- og sedimentkontrolbassiner (WASCOB'er)	Reducerer fosforbelastningen med 85%	Fjerner 80% af det samlede suspenderede sediment
Fosfor damme (Farm Ponds)	Reducerer fosforbelastningen med 85%	-
Oxbow restaurering	-	-
Opsamling og recirkulering af drænvand (Transformingdrainage)	Der er set op til 28 procent reduktion af nitrat-udvaskningen	-
Skotland		
Buffer zoner (Raised buffer: field run-off) i lavninger.	-	-
Bufferzoner (Raised buffers: overbank) med jordvolde	-	-

Magiske bufferzoner (bølgede jordvolde)	-	-
Integrerede buffer zones – skovklædte bufferzoner som de danske Intelligente bufferzoner	Forsøg har vist en effektivitet på 26 % for nitrat og 48 % for total fosfor	-
Sverige		
Fosfordamme	Reduktion på op til 40 % af fosforbelastningen	-
Dobbeltprofil (two-stage ditches)	Se Finland	Se Finland
Finland		
Dobbeltprofil (two-stage ditches)	Retentionseffektivitet på 3,5 % for fosfor, 0,42 % for kvælstof og 0,62 % for kulstof.	Retentionseffektivitet på 6,8 % for suspenderet sediment
Norge		
Fang dammar	En relativ fosforfjernelse på 23-42 procent i 4 forskellige fangdammar.	Tilbageholdelse af jordpartikler på 45-68 procent i 4 forskellige fangdammar.

Konklusion

Der er mulighed for at lave mange forskellige former for buffere, sedimentations bassiner og fosforfælder i landskabet uden at det går alvorligt ud over arealanvendelsen eller landskabets visuelle udseende. Mange af miljøtiltagene vil ofte være tilgroede på et eller andet niveau efter nogle år, og vil med tiden derfor falde godt ind i landskabet som naturlige elementer. Sedimentationsfælder til især fosfor har ikke større pladskrav, og New Zealand har fint demonstreret hvordan arealerne midlertidig kan anvendes til fosforsedimentation ved ekstremhændelser med Detainment BundPS120. Arealerne kan stadig anvendes til slæt og afgræsning efterfølgende. USA er forsøgsmæssigt langt fremme med tanker og forsøg der skal klimasikre deres landbrug. Her tænkes opbevaring og genanvendelse af drænvand helt anderledes end hidtil. I disse anlæg vil sedimentation og denitrifikation uden problemer kunne implementeres i forbindelse med det at opbevare vand i genanvendelsesbassiner til vanding over eller under jorden. På mange flade arealer anvendes der kontrolleret dræning. I [kataloget](#) fra Agri Drain Corporation – Your partners in Water Management ses meget af den Teknik der bruges i midtvesten i USA.

Hvis sedimentations bufferzoner, bassiner eller fælder skal etableres i større skala i Danmark, vil der være et stort behov for tabelværdier som kan anvendes ved selve implementering når der skal sikres mod dræn- og overflade afstrømning af ler- og silt partikler. Et godt eksempel på dette ses i New Zealand i relation til randzoner i deres guide [Riparian buffer design guide](#) side 13.

Der er allerede meget erfaring at hente fra eksisterende projekter i Danmark med sedimentations bassiner i minivådområderne, matriceminivådområderne og de få intelligente randzoner. I den gennemgåede litteratur i dette notat ligger sedimentationen af fosfor i et spænd på ca. 30 – 85 procent. Især Finland, Norge og Sverige har fokuseret meget på sedimentation og her ses også en stor variation i konstruktion af disse miljøtiltag. Generelt har disse lande mere fokus på indpasning af tiltaget i det aktuelle landskab og ikke så meget præcise

vejledninger. Det går mere efter hvor er det fornuftigt at lave miljøtiltagene. En af de kommuner der har vist vejen til hvordan miljøtiltagene implementeres i stor skala er Västervik kommune i Sverige. Kommunen har samtidig vist at fosfortiltagene virker i praksis. Se projekt Waterdrive og [Sweden - Västervik case area](#).

I bilaget er vist nogle af de fosfortiltag som SEGES Innovation har besøgt igennem årene.

Yderligere referencer i Danmark og foto af miljøtiltag

[Virkemidler til reduktion af fosforbelastningen af vandmiljøet](#). Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 379 2020

[Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet](#). DCA rapport nr.174. August 2020

[Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark](#). Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 397. 2020



Figur 25: Fosfordam i Sverige. Foto Flemming Gerts, SEGES Innovation



Figur 26: Fosfordam i Sverige. Foto Flemming Gerts, SEGES Innovation



Figur 27: Bred bufferzone i Finland. Foto Airi Kulmala MTK



Figur 28: Mættet randzone i USA. Foto Frank Bondgaard. SEGES Innovation



Figur 29: Mættet randzone i USA med rød streg som markerer drænelledning. Foto Frank Bondgaard. SEGES Innovation



Figur 30: Intelligent bufferzone med naturlig tilgroning af elletræer. Foto Frank Bondgaard. SEGES Innovation



Figur 31: Intelligent bufferzone med birketræer. Foto Frank Bondgaard. SEGES Innovation



Figur 32: Simple afvægeforanstaltning til sedimentation i afvandingsgrøft i England. Foto Frank Bondgaard. SEGES Innovation



Figur 33: Anvendelse af jordvolde i marker tæt på vandløb som ligger længere nede af vejen. Foto Frank Bondgaard. SEGES Innovation



Figur 34: Dobbeltprofil i Finland. Foto Mikko Ortamala.



Figur 35: Nyetablerede vandløb i tidligere marker i Finland for at sænke farten på vandet og øge sedimentationen. Foto Frank Bondgaard



Figur 36: Ældre minivådområde i Finland. Foto Frank Bondgaard