

Foreløbig virkemiddelrapport til forbedrede forhold på vandlidende og oversvømmel- sestruede landbrugsjorder

Effekter, konsekvenser, barrierer og synergier for afvanding, biodiversitet, næringsstof- og klimabelastning

December 2022

UDKAST

Indhold

1	Baggrund og formål	1
2	Indledning	2
2.1	Historisk udvikling og fremskrivning	2
2.2	Øget afstrømning i vandløb	3
2.3	Stigninger i havvandstanden	3
2.4	Konsekvenser ved vandlidende jorder	3
3	Virkemidler i forbindelse med vandløb	5
3.1	Forvaltning af vandløb	5
3.1.1	Grødeskæring	5
3.1.2	Oprensning	6
3.1.3	Brinkslåning	7
3.2	Genslyngning af vandløb	7
3.3	Omløb	9
3.4	Dobbeltprofil	10
3.5	Miniådal med genslyngning	11
3.6	Vådømråder	13
3.7	Vandtilbageholdelse	14
4	Virkemidler på vandlidende højbundslande	16
4.1	Grubning	16
4.2	Forbedring af jordens infiltrationsevne og overfladedræning	19
4.3	Forbedring af jordstrukturen	21
4.4	Nydræning, omdræning eller reparation/vedligeholdelse af dræn	24
5	Det vådere vejr på markfladen	28
5.1	Ændret maskinbrug	28
5.2	Øget høstkapacitet	30
5.3	Øget tørringskapacitet	31
6	Konklusion / opsummering	32
7	Oversigt over virkemidler	1
8	Litteraturoversigt	1

1 Baggrund og formål

I efteråret og vinteren 2019/2020 faldt store mængder nedbør over Danmark, hvilket medførte, at mange landmænd oplevede problemer med vandlidende og oversvømmede marker. Problemerne omfattede ikke kun de kyst- og vandløbsnære landbrugsjorder, men også lavninger på højbundslande stod vandfyldte i længere perioder. Samtidig gjorde det våde vejr, og de mange nedbørsdage, at en del landmænd havde problemer med at få høsten i hus og efterfølgende sået vinterafgrøder. Våde og vandlidende landbrugsjorder har en negativ konsekvens for landmændene, både økonomisk og driftsmæssigt. Samtidig påvirker de vandlidende arealer også landbrugets belastning på miljøet og klimaet negativt, da næringsstoffer i højere grad udvaskes til vandmiljøet som suspenderet materiale, og udledningen af lattergas kan øges i de våde og vandlidende lavninger (Elberling, 2019).

Indikatorer viser, at årsnedbøren fortsat vil stige, og at fremtidens vejr vil byde på vådere vintre og somme med flere ekstreme nedbørshændelser. Der er derfor behov for udvikling og implementering af klimatilpasningsløsninger, som kan bidrage til, at dyrkningsmæssigt værdifulde landbrugsjorder i mindre grad oversvømmes eller er vandlidende i længere perioder. Løsninger bør tage højde for vandbalancen i hele oplandet og kobles til de forventede effekter af klimaforandringerne, hvis de for alvor skal kunne bidrage til at løse udfordringerne. Samtidig skal løsningerne også tage hensyn til arealanvendelsen og øvrige interesser – herunder både dræning, afvanding, natur, biodiversitet og miljø. Den samlede klimatilpasningsløsning skal rumme en palette af forskellige virkemidler i relation til både markflade, vandløb og langs kysterne.

Formålet med denne rapport er derfor at afdække og vurdere en række forskellige virkemidler til håndtering af vandlidende og oversvømmelsestruede landbrugsjorder. Virkemidlerne, som er beskrevet i denne rapport, er tiltænkt som løsning i mindst ét af de tre følgende indsatsområder:

1. **Kyst- og vandløbsnære arealer.** Disse påvirkes både af stigende grund- og havvandsstand samt stigende vandmængder i selve vandløbene.
2. **Højbundslande.** Disse arealer er ofte i risiko for at blive vandlidende på grund af vandstandsende lag tæt på terræn, og ved tilstedeværelsen af et hængende, sekundært grundvandsspejl i kombination med stigende nedbørsmængder.
3. **Det våde vejr og udviklingen i klimaet,** herunder også den geografiske variation af disse, vil påvirke det tilgængelige antal dage til eksempelvis såning, høst og jordbearbejdning.

For hvert indsatsområde vil en række virkemidler og løsninger til vandproblemerne blive beskrevet, og der vil blive foretaget vurderinger af, hvilke synergieffekter og/eller udfordringer virkemidlerne potentielt vil have i forhold til klima, miljø, natur og biodiversitet. Dette skal gøre det mere overskueligt at vægte fordele og ulemper på tværs af virkemidlerne, samt i sidste ende bidrage til en mere holistisk tilgang og proces til implementering.

2 Indledning

2.1 Historisk udvikling og fremskrivning

Gennem de seneste 60 år er der sket en ændring i det danske klima, der har medført stigende årlige nedbørsmængder og hyppigere, ekstreme nedbørshændelser. I perioden 1874 til 2017 er den gennemsnitlige, årlige nedbørsmængde steget med 100 mm (Cappelen, 2018), og klimatiske fremskrivninger viser, at nedbørsmængderne forventes at stige yderligere i perioden frem mod 2100. I Tabel 2.1 er ændringerne i klimanormalerne i Danmark angivet for tre tidsintervaller: 1961-1990, 1981-2010 og 2006-2015. Heraf ses, at landsgennemsnittet for den årlige nedbør er steget med 80 mm fra perioden 1961-1990 til 2006-2015. Antallet af nedbørsdøgn er ligeledes steget uanset grupperingen af nedbørsmængder.

I Tabel 2.2 ses fremskrivninger af klimaet frem til 2100. Af tabellen fremgår, at nedbørsmængden forventes at stige med knap 14 %, mens antallet af dage med nedbør over 20 mm vil stige med 61 %.

Prognoseerne fra DMI antyder, at den gennemsnitlige nedbørsmængde i sommerhalvåret ikke vil øges, men at nedbøren i højere grad vil falde som kraftige byger. Det antydes ligeledes, at vinternedbøren stiger med omtrent 25%, der overvejende vil falde som regn, som konsekvens af en stigning i den landsgennemsnitlige temperatur på 3,4°C (DMI, 2020). På trods af Danmarks beskedne, geografiske størrelse, vil effekten af klimaforandringerne variere markant mellem de forskellige landsdele (van Roosmalen et al., 2007). I denne rapport behandles de klimatiske ændringer med udgangspunkt i de landsdækkende data, men ønsker man at foretage en konkret vurdering for en bestemt landsdel eller kommune, vil det være nødvendigt at tage udgangspunkt i lokale data fra DMI's Klima-atlas (<https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klima-atlas/>).

De stigende nedbørsmængder medfører en øget nedsivning af vand til grundvandsmagasinerne. Med de forventede nedbørsstigninger kan det forventes, at udfordringerne forbundet med terrænnært grundvand på markarealer vil være stigende.

Tabel 2.1 Oversigt over klimanormalernes parametre for tre perioder i Danmark. (DMI, 2021a).

Parameter / periode	1961-1990	1981-2010	2006-2015
Summeret nedbør (mm)	712,00	746,20	791,90
Nedbørdøgn \geq 0,1 mm (antal)	171,00	174,10	200,00
Nedbørdøgn \geq 1,0 mm (antal)	121,00	-	-
Nedbørdøgn \geq 10,0 mm (antal)	17,00	18,90	20,30
Middel af maksimumtemperatur (°C)	10,90	11,50	12,00
Middeltemperatur (°C)	7,70	8,30	8,90
Middel af minimumtemperatur (°C)	4,40	5,00	5,60
Summeret solskin (timer)	1495,00	1574,10	1722,10

Tabel 2.2. Oversigt over fremskrivning af klimatiske udvalgte parametre under RCP8.5-scenarium, De procentvise ændringer fra referencetilstanden er angivet i parentes (DMI, 2021b).

Parameter	Reference (1981-2010)	2041-2070	2071-2100
Gennemsnitsnedbør (mm/døgn)	2,03	2,17 (6,56%)	2,31 (13,75%)
Maksimal døgnnedbør (mm/døgn)	32,69	36,58 (12,54%)	40,21 (23,02%)
Nedbørdøgn \geq 10,0 mm (antal)	18,29	21,22 (16,37%)	23,39 (29,31%)
Nedbørdøgn \geq 20,0 mm (antal)	2,97	3,89 (32,19%)	4,76 (61,02%)
Daglig Maksimumstemperatur (°C)	11,96	13,82 (1,91%)	15,16 (3,18%)
Middeltemperatur (°C)	8,45	10,41 (1,97%)	11,81 (3,37%)
Daglig minimumstemperatur (°C)	4,79	6,87 (2,04%)	8,22 (3,41%)
Solindstråling (W/m ²)	117,18	114,67 (-2,09%)	113,03 (-3,40%)

2.2 Øget afstrømning i vandløb

Hydrologien i det danske landskab har igennem de sidste 150 år gennemgået en stor forandring. Oprindeligt var det danske et vådt landskab med mange små søer, åer og vandmættede lavbundsarealer (Knudsen, 2004). Under den industrielle revolution i Danmark steg behovet for at kontrollere vandets bevægelser i det åbne landskab (Bavnshøj, 2004). For at øge afvandingsevnen, blev mange danske vandløb kanaliseret fra anden halvdel af 1800-tallet og frem til anden halvdel af 1900-tallet, og det anslås, at 50 procent af landbrugsarealerne er drænet i forskelligt omfang (Gertz et al., 2012). De stigende nedbørsmængder og den øgede dræning af landbrugsarealerne i oplandet til vandløbet har derfor medført, at afstrømningen i vandløbene ligeledes er steget betydeligt. Både som konsekvens af de øgede vandmængder fra nedbøren, men også som følge af, at nedbøren ledes markant hurtigere til vandløbene via dræn og grøfter.

Gennem de seneste årtier er der sket et skifte i forvaltningen af de danske vandløb. Fra udelukkende at have fokus på afvanding, til at miljøhensyn også skal inddrages i forvaltningen af vandløb (Stenak, 2004). Dette er eksempelvis sket via vandrammedirektivets krav om opnåelse af god økologisk tilstand i de danske vandløb, der har medført gennemførelse af en lang række vandløbsrestaureringsprojekter over hele landet. Samtidig er der foretaget ændringer i regulativerne for vandløbene, således vedligeholdelsen og skikkelsen af det enkelte vandløb i højere grad også bør tage hensyn til miljøforhold.

Restaurering af udrettede vandløb har ofte fokus på at genskabe den naturlige hydrologiske tilstand, som var kendetegnet for vandløbet før udretningen. Restaureringstiltagene fører ofte til et hævet vandspejl og reduceret vandføringsevne i vandløbet (Fejerskov et al., 2019; Skovgaard et al., 2014). Foruden genskabelse af den naturlige hydrologi vil man i restaureringsprojekter også forsøge at øge den fysiske variation i vandløbet, eksempelvis ved udlægning af gydegrus og variationsskabende sten. Ved at øge den fysiske variation vil forholdene for både fisk og smådyr blive forbedret, som følge af en øget iltning af vandet og flere skjulesteder. Ændring af de hydrologiske forhold vil ikke kun påvirke forholdene i selve vandløbet, men vil også have konsekvenser for de ånære arealer langs vandløbet, og i visse tilfælde, hele ådalen. Oversvømmelser af vandløbsnære landbrugsarealer kan have stor økonomisk betydning for landmanden, både i form af tabt udbytte og som følge af en merudgift til afledning af vandet.

2.3 Stigninger i havvandstanden

Vandstanden i havene er steget i hele verden, som følge af klimaforandringernes temperaturstigninger, og den resulterende afsmeltning af havis omkring polerne. I Danmark er havvandstanden vurderet til at have steget med 8 cm i perioden 1889-2017 – dette uden at korrigeres for landhævninger eller lokale sætninger i undergrunden (IPCC, 2014; Broge et al., 2013; Ludwigsen et al., 2020; Marfeldt, 2011).

Den primære årsag til vandstandsstigningerne er afsmeltning af indlandsis og gletsjere over hele kloden, og det forventes, at stigningen i havvandstanden vil øges yderligere mod slutningen af indeværende århundrede. I Danmark forventes middelhavvandstanden at være steget med 60 cm ved udgangen af dette århundrede (Olesen et al., 2014). Ved en havvandsstigning på dette niveau, vil der være øget risiko kraftige opstuvninger i de nedre løb af vandløbene (Krvavica and Ružić, 2020). Opstuvninger i vandløbssystemer har allerede medført store udfordringer i en række danske byer, hvor kombinationen af en høj afstrømning i vandløbene og en høj vandstand i de indre farvande, har medført omfattende oversvømmelser af byområder. Det må derfor forventes, at hændelser som disse, i fremtiden vil påvirke de vandløbsnære arealer endnu længere oppe i vandløbssystemet, og dermed vil der i højere grad kunne ske oversvømmelse af vandløbsnære landbrugsarealer.

2.4 Konsekvenser ved vandlidende jorder

Et højt grundvandsspejl eller dårlig nedsivning øger risikoen vandmættede marker, og er landbrugsjorder beliggende tæt på overfladevand i risiko for at periodevist at blive oversvømmet ved kraftige nedbørshændelser.

Hyppig og/eller længerevarende vandmætning af landbrugsjorder kan medføre en række konsekvenser for den enkelte bedrift. Herunder kan nævnes:

- **Reduceret periode til markarbejde**

Vandmættet jord har en forringet bæreevne, der kan gøre jorden ufarbar for tunge landbrugsmaskiner (Aslyng, 1970). Dette kan forsinke tidspunktet for såning, hvormed afgrødens vækstsæson forkortes, hvilket i sidste ende kan medføre et udbyttetab for landmanden.

- **Øget risiko for strukturskader**

Jordens forringede bæreevne medfører ligeledes en risiko for komprimering af jorden, der kan give midlertidige eller permanente markskader. Komprimering af jorden vil også ofte medføre en dårligere afvanding (Shah et al., 2017), hvilket igen øger risikoen for vandmætning af jorden.

- **Ringere vækst**

Studier af hvedeudbytte har vist, at udbyttet blev reduceret med (over 50 %) 57% på vandmættet jord sammenlignet med hvede dyrket på veldrænede jorder (Herzog et al., 2016). Det reducerede udbytte sker delvis på grund af udvikling af iltfattige forhold i rodzonen, der kan medføre begrænset rodtybde og rodvækst hos afgrøderne (Huang Bingru et al., 1994). Den begrænsede rodudvikling vil ydermere føre til en mere tørkefølsom afgrøde senere i vækstsæsonen.

Ovenstående eksempler medfører alle et lavere udbytte og dermed en reduceret fortjeneste for landmanden, samtidig med at det har en miljømæssig betydning. Landbruget er således afhængigt af, at dræning og afvanding i vandløbene fungerer, således at vandløbsnære marker ikke oversvømmes eller forbliver vandlidende over længere perioder (Aslyng, 1970; Belford et al., 1985; Jensen, 2019)

For at løse de periodevise udfordringer med vandlidende landbrugsjorder foreslås ofte, at løsningerne findes og planlægges på baggrund af en helhedsorienteret hydrologisk undersøgelse af hele oplandet. Dette gør det muligt at optimere og skabe synergi mellem indsatser, værdier og bindinger i forhold til både vandløb og vandløbsnære arealer (f.eks. §3-naturtyper og gældende lovgivning) samt interesser (landbrug, natur, miljø, rekreative interesser og landskabelige hensyn) (Klimatilpasning.dk, 2019). De helhedsorienterede løsninger er resource- og tidskrævende og bidrager ikke til hurtige løsninger, som der ønskes af landmænd med udfordringer i form af vandlidende jorder, dårlig dræning og oversvømmelser.

I de følgende afsnit vil virkemidlerne for de forskellige indsatsområder blive gennemgået og vurderet i forhold til virkemidlets funktion og effekt, samt virkemidlets konsekvenser, barrierer og afledte synergieffekter ved implementeringen.

3 Virkemidler i forbindelse med vandløb

Det følgende afsnit gennemgår en række virkemidler i relation til vandløb for at undgå eller at reducere vandlidende landbrugsjorder langs vandløb og oversvømmelser af disse. Nogle af virkemidlerne vil gøre bestemte områder mere våde for til gengæld så at holde det dyrkningsmæssigt værdifulde landbrugsjord tørrer. Følgende virkemidler gennemgås:

- Forvaltning af vandløb – herunder grødeskæring, oprensning og brinkslåning
- Genslyngning af vandløb
- Omløb
- Dobbeltprofil
- Miniådal med genslyngning
- Vådområde
- Vandparkering

3.1 Forvaltning af vandløb

Vedligeholdelsen af de offentlige vandløb er beskrevet i de enkelte vandløbsregulativer. Et vandløbsregulativ danner grundlag for og beskriver det enkelte vandløbs vedligehold, udformning og vandføringsevne i vandløbet. Regulativet er udarbejdet med henblik på at tilgodese de miljø- og afvandingsmæssige interesser i vandløbet og i vandløbets opland.

Det er vigtigt for en landmand med jord ned til et vandløb at sikre, at vandløbet og vandløbsmyndighederne overholder bestemmelserne fastsat i regulativet, da dette er med til at sikre vandløbets vandføringsevne. Dette kan gøres ved være i god og løbende kontakt med vandløbsmyndigheden f.eks. via et vandløbslaug.

Vedligeholdelsen af vandløb sker primært gennem grødeskæring eller ved oprensning af vandløbsbunden.

3.1.1 Grødeskæring

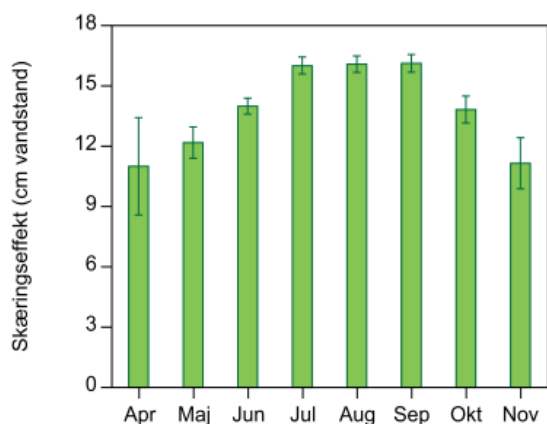
I en fremtid med hyppigere og kraftigere nedbør, øgede temperaturer og flere solskinstimer forventes det, at grødevæksten fremadrettet vil udgøre en stigende faktor i forhold til vandstandsstigninger ved skybrud i sommerhalvåret og potentielt som overvintrende grøde i vinterhalvåret. Af den grund og for at reducere oversvømmelser af vandløbsnære landbrugsarealer, er grødeskæring et vigtigt virkemiddel.

I vandløbsregulativerne står grødeskæringens forløb og omfang beskrevet. I et eksempel fra Lyngbygård Å ved Aarhus står det i regulativet beskrevet, at grøden skal skæres manuelt, hvis dette er muligt, og at skæringsforløbet skal være i en eller flere strømrender, således der bibeholdes grødeøer og/eller grødebræmmer af varierende størrelse. Ligeledes er hyppigheden og terminen for grødeskæringen beskrevet i regulativet for hele åens strækning (Aarhus Kommune et al., 2018).

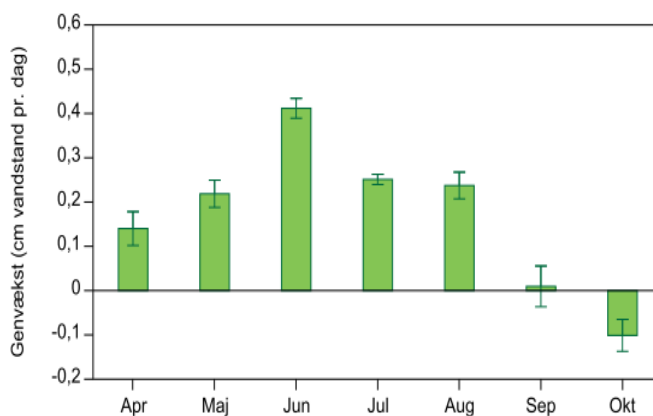
Ved grødeskæring fjernes plantebiomasse fra vandløbene ved brug af maskinkraft eller ved håndkraft, afhængigt af vandløbets størrelse. Formålet med grødeskæring er at sænke vandspejlet i vandløbet ved at reducere plantemassens stuvende effekt på afstrømningen i vandløbet. Effekten af grødeskæring er dog betinget af bl.a. artssammensætning i vandløbet, samt tidspunkt for og hyppighed af grødeskæringen. På grund af det lave lysindfald i vinterhalvåret, hvor grøden ofte er bortvisnet eller overvintret i rodnettet, vil grødeskæring ofte ikke have en effekt på vandstanden i denne periode af året (Allan and Castillo, 2009).

Ved analyse af data fra 126 danske målestationer har man fundet, at grødeskæringens gennemsnitlige effekt på vandstanden i vandløbet er højest i perioden juli-september, samt at grødens genvækst efter grødeskæring er højest i juni måned, men falder herefter i perioden frem til oktober (Figur 1 & Figur 2) (Simonsen et al.,

2016). Tendenser viser, at grødeskæringens effekt er størst i vandløb med lavt fald, med en dybde på omtrent 1 meter med en konstant, høj vandføring (Bach et al., 2016).



Figur 1. Grødeskæringseffekt som gennemsnitligt fald i vandstand.



Figur 2. Planternes genvækst efter afbildet som vandstandsstigning pr. dag imellem skæringer eller efter 3 uger af sidste grødeskæring fra Simonsen et al. 2016.

Den opnåede effekt af grødeskæring varierer fra landsdel til landsdel, men vil overordnet være afhængig af de afstrømningsmæssige forhold i den givne vækstsæson. Undersøgelserne viser, at effekten af grødeskæring er højest i Nord- og Vestjylland, hvor det anslås, at der med et ophør af grødeskæring i det nedre løb af Lindensborg Å (Nordjylland), vil afstedkomme en vandspejlsstigning på omkring 1 meter. Hvorimod det i Havelse Å (Ved Roskilde Fjord) kun ville medføre en begrænset ændring af vandstanden (Bach et al., 2016). Den vandstandssænkende effekt af grødeskæring blev af (Simonsen et al., 2016) estimeret til at være omkring 22 dage.

Ved grødeskæring ændres artssammensætningen i vandløbet, idet den forstyrrelse af økosystemet, som skæringen medfører, skaber bedre vækstbetingelser for planter med vækstpunkter nede ved rødderne (basalvækst). Blandt de mest almindeligt forekommende arter med basalvækst er enkelt- og grenet pindsvineknop, hvorimod arter som vandstjerne, vandaks og vandranunkel har vækstpunkter i spidsen af planten (apikalvækst). Ved hyppig grødeskæring risikerer man dermed af favorisere de arter, der har en hurtig genvækst fra rodzonen (Simonsen et al., 2016).

Ved selektiv grødeskæring, hvor man fokuserer på at slå grøde med basaltvækst, kan vandløbsmodstanden muligvis sænkes, uden at dette medfører en negativ effekt på Dansk vandplanteindeks (DVPI) (Bach et al., 2016). Foruden manuel grødeskæring kan dette gøres via f.eks. [pincetmetoden](#).

3.1.2 Oprensning

Ved oprensning af vandløb fjernes aflejret sediment, vegetation og andre fysiske elementer fra vandløbsbunden. Dette gøres for at sikre, at de fysiske dimensioner i vandløbet overholder den fastlagte skikkelse som angivet i vandløbets regulativ (geometrisk skikkelsesregulativ), som bidrager til at sikre en bestemt vandstand eller vandføringsevne. Herunder også at drænudløb ikke dækkes af aflejringer, hvorved det vil miste sin effekt.

Når vandløbet oprenses, vil den stuvende effekt fra vegetationen og aflejringer på bunden blive reduceret. Lokal oprensning af vandløbsbunden vil dog have en begrænset effekt på vandstanden i vandløbet, såfremt årsagen til stuvningen findes længere nedstrøms i vandløbssystemet. I disse tilfælde vil vandets hastighed blot nedsættes og vandføringen være uforandret (Kristensen et al., 2011).

Oprensning af vandløbet kan dog have store konsekvenser for de biologiske og fysiske forhold i vandløbet, vandløbet, som habitat, ændres hurtigt og drastisk. Studier har vist, at der kan gå op mod et år, før sammensætningen af hvirvelløse dyr i vandløbet er genskabt (Buczyński et al., 2016; Dąbkowski et al., 2016; Płaska et al., 2016; Zawal et al., 2016b, 2016a).

Endeligt kan vandløbsoprensning medføre et skifte til en dominans af de såkaldte pionerarter (Stępień et al., 2019), hvilket kan bidrage til en forringelse af plantesamfundenes spredningsevne og modstandsdygtighed mod invasive arter (Omelchuk and Prots, 2014; Stępień et al., 2019). Ved sammenligning mellem uregulerede og regulerede danske vandløb ses det, at artsdiversiteten i regulerede vandløb generelt er lavere end i de uregulerede vandløb.

Effekten af vandløbsoprensning er tidsbegrænset, da oprensningen ikke fjerner årsagen til den gradvise hævnning af vandløbsbunden. Effekten af oprensning er velkendt, da vandløbets skikkelse føres tilbage til en allerede defineret skikkelse i vandløbsregulativet. Oprensning af vandløb er et lokalt virkemiddel og påvirker kun arealer i umiddelbar nærhed af den oprensede strækning.

3.1.3 Brinkslåning

Ved slåning af brinker fjernes nedhængende vegetation i vandløbet. Nedhængende vegetation kan bremse vandets bevægelse og skabe områder med nedsat vandføring langs brinken. Det er særligt gældende i små og dybt nedskårne vandløb under kraftige nedbørshændelser (Miljøstyrelsen, 2016).

Uønskede arter, der kan påvirke vandløbets vandføring negativt, kan fjernes ved målrettet brinkslåning med le. Brinkslåning med plejl er omkostningseffektivt, da man hurtigt kan slå større brinkstrækninger. Ved slåning med plejl kan erosionsrisikoen forøges ved at efterlade det slåede materiale, der udskygger den eksisterende vegetation eller ved at blotlægge bar jord på brinken (Buisson et al., 2008; Kristensen et al., 2011).

Virkemidlet brinkslåning kan afhjælpe lokale problemer med forringet vandføring i vandløbet. Varigheden af indgrebet er kortvarigt, og skal foretages når brinkvegetationen igen formindsker vandføringsevnen i vandløbet. Regulering af vandløb gælder også skråningsanlægget, derfor står pleje af vandløbsbrinken ofte beskrevet i det lokale vandløbsregulativ.

Tabel 2. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Forvaltning af vandløb	Gennemgang af vandløbsregulativer og lovgivning kan være med til at sikre, at de afvandingsmæssige forpligtigelser bliver overholdt.	Gennemgang af de lovgivningsmæssige aspekter vil kræve en faglig indsigt og det vil ofte være nødvendigt at indgå samarbejde med rådgivere, for at kunne vurdere om lovgivningen bliver overholdt.	Der kan skabes en dialog og samarbejde med andre lods ejere og kommunen (offentligt vandløb) i forhold til forvaltning af vandløbet. F.eks. Gennem et vandløbslaug.

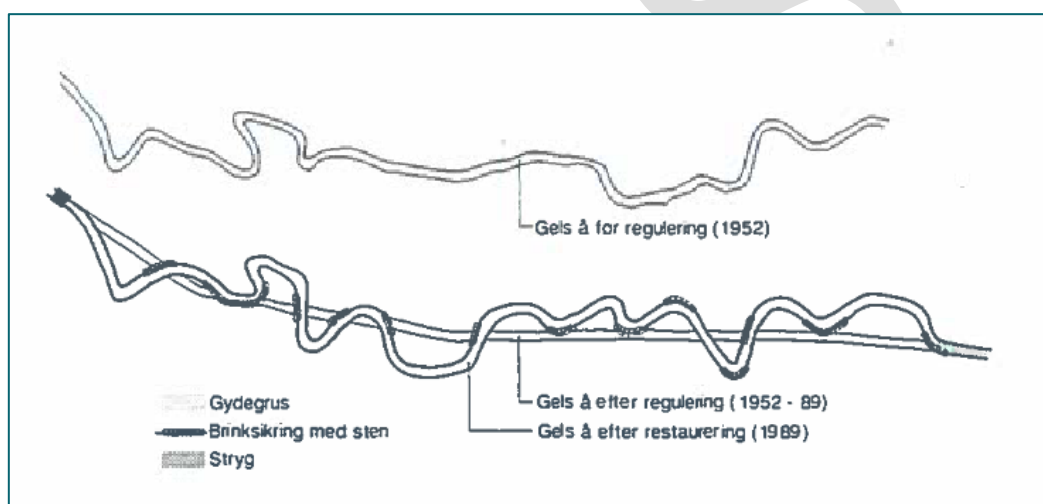
3.2 Genslyngning af vandløb

Genslyngning af et vandløb er et stort indgreb i vandsystemet, hvor vandløbet lægges nærmere det oprindelige forløb forud for udretning og udgravning. De hyppigste fysiske ændringer er, foruden en længere vandløbsstrækning, hævnning af vandløbsbunden og et reduceret fald og hældning på brinkerne. Herved kommer vandløbet i større hydraulisk kontakt med de vandløbsnære arealer og den omkringliggende ådal.

Ved genslyngning af et vandløb forlænges vandets vej fra kilde til hav, hvormed vandhastigheden i vandløbet sænkes. Begge elementer vil, i samspil med en hævnings af vandløbsbunden, hæve vandspejlet i vandløbet og dermed mindske niveauforskellen mellem vandspejlet og de omkringliggende jorder. Hævningen af vandspejlet fører derfor ofte til, at nærliggende arealer bliver vådere pga. faldende gradient på grundvandsspejlet i ådalen.

Ved at kombinere genslyngning af vandløb med reetablering af den omkringliggende ådals naturlige hydrologi, kan området agere som et forsinkelsesbassin/buffer ved kraftig sommerregn, såfremt denne placeres optimalt i vandløbets opland. Derved kan vandstandsstigninger mindskes på nedstrøms strækninger med værdifulde landbrugsjorder.

Ved genslyngningen af Gels Å (Haderslev Kommune) i 1989 blev den restaurerede vandløbsstrækning forlænget med i alt 490 meter (Figur 3), og antallet af mæanderbuer steg fra 0 til 16 (Kronvang et al., 1994). Restaureringens effekt på vandføringsevnen kom til udtryk ved et lavere Manningtal (højere strømningsmodstand) efter den fuldendte restaurering. En efterfølgende indvandring af grøde til strækningen medvirkede til, at de lavest liggende arealer oversvømmedes omkring to gange årligt, hvor der før restaureringen ikke forekom oversvømmelser. De periodevise oversvømmelser af bredzonen kan derfor agere som stødpuder for nedstrøms liggende arealer.



Figur 3. Kort over de historiske forløb af Gels Å. Øverst ses forløbet før reguleringen (udretningen) i 1952. Nederst sammenholdes det regulerede forløb med det restaurerede (genslyngede) forløb (Kronvang et al., 1994).

For at genslyngning skal være et effektivt virkemiddel kræver det grundige undersøgelser af både vandløb og opland. Genslyngning kan afhjælpe oversvømmelsesrisici nedstrøms den genslyngede strækning, da den omkringliggende ådal oftere vil oversvømmes under store nedbørshændelser. Arealanvendelsen på de vandløbsnære arealer er en vigtig overvejelse at gøre sig, før dette virkemiddel implementeres (Skovgaard et al., 2014).

Table 3. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Genslyngning af vandløb	Vandstanden hæves og strømshastigheden reduceres i vandløbet. Vandløbet vil fremstå mere terrænnært, hvilket vil medføre at de vandløbsnære arealer bliver vådere og oversvømmes hyppigere.	Virkemidlet kræver en helhedsorienteret tilgang med involvering af lodsejere langs vandløbet, oplandet og ofte hele ådalen. Dette er en tids- og ressourcetekrævende proces.	Øget vandtilbageholdelse, der kan bidrage til at mindske vandstandsstigninger på nedstrøms strækninger med værdifulde landbrugsjorder. Forbedrede forhold for arter tilknyttet vandløbet og de vandløbsnære arealer - både som følge af de ændrede hydrologiske forhold, men også via optimering af fysiske forhold i vandløbet ved udlægning af sten, grus og dødt ved. Forbedring af de rekreative forhold, hvis virkemidlet kan kombineres med anlæggelse af stier, fiskeri og lignende.

3.3 Omløb

Omløb i et vandsystem dækker over en række tekniske anlæg med forskellige formål, alt efter anlæggets placering i vandsystemet. Fælles for alle anlæggene er, at de kan bruges som genvej for vandet i vandløbet, hvorved belastningen af vandløbet omkring omløbet reduceres. Etableres et omløb nederst i vandsystemet kan det agere som et sekundært udløb ved vandføringer over en fastlagt vandstand - også kaldet nødoverløb. Dette sekundære udløb kan muligvis reducere en opstuvningseffekt, og derved afhjælpe en forøget vandstand opstrøms i systemet (Nørgaard, 2020a).

Placeres omløbet længere opstrøms i vandløbet kan det benyttes til at lede vandet udenom oversvømmelses-truede arealer. Ved et sådant tiltag eksisterer en risiko for at overbelaste vandløbet længere nedstrøms, og en konkret beregning og vurdering af tiltaget bør foretages forud for etablering af omløbet. Omløbet kan benyttes til at føre vand fra vandløbet videre til midlertidig opbevaring i andre tekniske anlæg, se eksempelvis afsnit 3.6 og 3.7 om etablering af ådale/vådområder og vandtilbageholdelse.

Omløb som virkemiddel er særligt benyttet i store floder. Et eksempel på dette er omløbet af floden Waal i den hollandske by Nijmegen, hvor et 200 meter bredt og 3 km langt omløb blev bygget og integreret i byens rum, som en del af projektet "Room for the River" (Figur 4) (Climate-ADAPT, 2021). Formålet med projektet ved Nijmegen var vandparkering og stormflodssikring i stor skala, men det samme princip kan anvendes i mindre skala og til beskyttelse af værdifulde natur- og landbrugsarealer.



Figur 4. Billede af det etablerede omløb (til højre) i floden Waal ved Nijmegen (Foto: RWS).

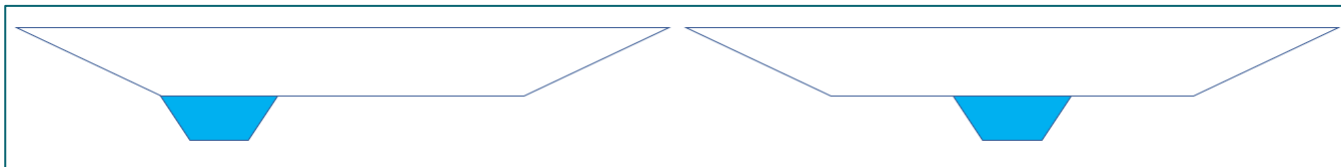
Effekten af omløb som virkemiddel mod oversvømmelse af vandløbsnære arealer afhænger af placeringen af de udsatte arealer og hvorvidt omløbet kombineres med andre virkemidler. Fælles er dog, at omløbet under store nedbørshændelser permanent sænker vandspejlsstigningen på strækningen opstrøms omløbet.

Tabel 4. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Omløb	Fungerer som et sekundært forløb, der kan aflaste vandløbet i forbindelse med høje afstrømninger.	Virkemidlet vil kræve en grundig og helhedsorienteret tilgang, der også involverer arealer langs vandløbet og i oplandet. Afhængig af omløbets forløb mv. kan virkemidlet være et stort indgreb i det eksisterende landskab. Lovgivningsmæssigt kan det være en udfordring at få tilladelse til virkemidlet.	Drosling ved høje afstrømninger. Rekreative tiltag kan tænkes ind i designet, især hvis omløbet er beliggende i nærhed af byer.

3.4 Dobbeltprofil

Ved etablering af et dobbeltprofil sænkes de eksisterende vandløbsbrinker, således der opstår en banket langs vandløbet. Brinken og banketten vil fremstå tør det meste af året og vandløbet vil ligge uændret i sit primære profil. Dette tiltag skaber en bufferkapacitet langs vandløbet, som udnyttes ved store afstrømninger. På Figur 5 ses principskitser for énsidet og tosidet dobbeltprofil langs et vandløb. Virkemidlet kræver vedligeholdelse, da der er risiko for tilgroning af vegetation på både banket og tracé, som vil kunne reducere Manningtallet (øge modstanden) i vandløbet (Nørgaard, 2020b).



Figur 5. Skitsering af hhv. ensidet og tosidet dobbeltprofil.

Dobbeltprofilet kan være både én- og tosidigt, afhængig af hvad der kan lade sig gøre på den aktuelle strækning af vandløbet. Et internationalt studie viser, at vandføringskapaciteten ved etablering af dobbeltprofil kan øges med op til 54% under ekstreme afstrømningshændelser, når det sekundære profil er 5 gange bredere end det primære profil (Paradis and Biron, 2017).

Det sekundære profil vil kun tidvist oversvømmes og det forventes, at den hydrauliske modstand øges i det øjeblik vandløbet overstiger kapaciteten i det primære profil. Herved kan det sekundære profil agere som en midlertidig opbevaring og derved forsinke vandets bevægelse nedstrøms (Wiborg et al., 2014).

Det forventes, at vedligehold af det dobbelte profil kan være nødvendigt, herunder fjernelse af uønsket opvækst af buske eller træer fra det brede, øvre profil (Buisson et al., 2008; Fejerskov et al., 2019). Korrekt dimensioneret kan et vandløb med dobbeltprofil håndtere lave sommerafstrømninger i det primære profil, mens det sekundære profil kun tidvist vil blive oversvømmet, som ved høje afstrømninger om vinteren eller ved ekstreme nedbørshændelser (Fejerskov et al., 2019). Den lokale forøgelse af vandføringskapaciteten, kan ved høje vandføringer udsætte de nedstrøms arealer for en øget hydraulisk belastning i form af erosion mv. ved store afstrømninger. En undersøgelse af konsekvenserne på de nedstrøms arealer, ved etablering af et dobbeltprofil, bør udføres før etableringen iværksættes.

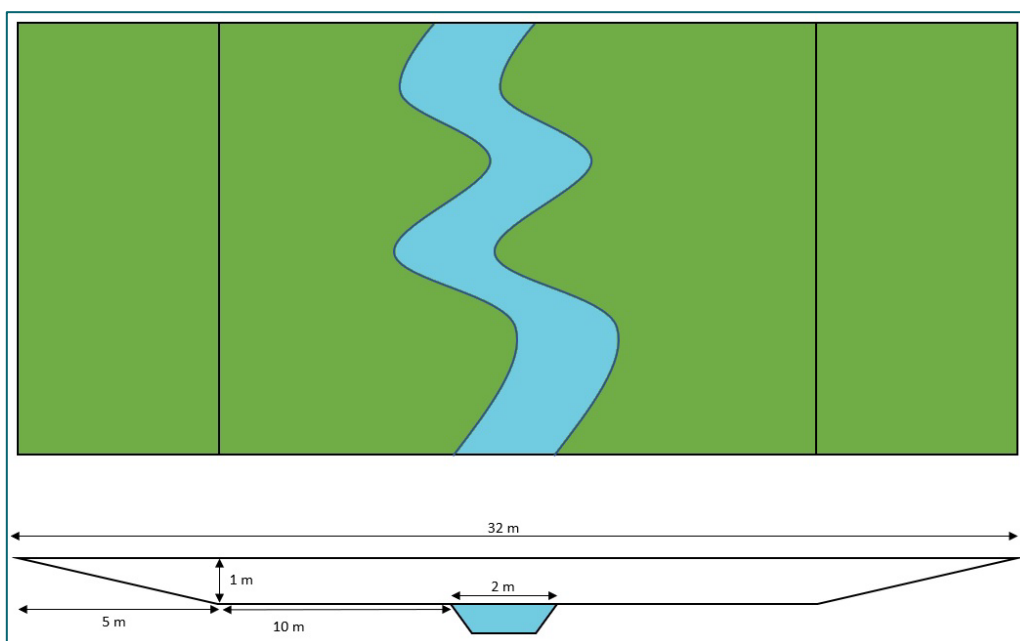
Tabel 5. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Dobbeltprofil	Dobbeltprofilet vil fungere som buffer i tilfælde af høj afstrømning/vandstand i vandløbet, og kan bidrage til at mindske oversvømmelsen af værdifulde landbrugsjorder langs og nedstrøms vandløbet.	Virkemidlet er et forholdsvis stort indgreb, både vandløbsmæssigt og økonomisk, og vil kræve løbende vedligeholdelse for at opretholde sin effekt. Virkemidlet vil kræve et detaljeret kendskab til afstrømningsforholdene i vandløbet ved forskellige hændelser, således dobbeltprofilet kan dimensioneres korrekt.	Dobbeltprofilet giver en større hydrologisk og økologisk buffer langs vandløbet, og kan bidrage med en øget deponering af sediment og næringsstoffer ved høje afstrømninger. Virkemidlet kan også anvendes til klimasikring af byområder, hvor det kan kombineres med rekreative formål (vandrestier).

3.5 Miniådal med genslyngning

Etablering af en miniådal sker ved en afgravning af vandløbsbrinkerne, så dette strukturmæssigt minder om en naturlig ådal. Vandløbet genslynges og løber i bunden af det etablerede profil (Figur 6).

Dette virkemiddel er egnet til små vandløb i områder med fladt terræn, og hvor vandløbets fald er lavt. Etableringen af miniådale er tiltænkt områder, hvor man ønsker en mere naturlig vandløbsdynamik med et vandløb tæt på det omgivende terræn, og samtidig skaber en buffer til at aflede store vandmængder, ligesom i et dobbeltprofil. Modsat dobbeltprofilet forsøger man med en mini-ådal aktivt at forbedre de fysiske forhold i vandløbet, samtidig med, at man sikrer tilstrækkelig afvanding ved forhøjede vandføringer.



Figur 6. Principskitse af en miniådal, set fra siden og fra oven.

Ved store afstrømningshændelser vil vandet løbe over bredderne i det genslyngede vandløb, hvilket bringer det sekundære profil i spil. Derved kan miniådalen potentielt have en højere vandføringskapacitet (Moeslund et al., 2013; Skovgaard et al., 2014). Som nævnt i afsnittet vedrørende dobbeltprofiler, så vil det sekundære profil fremstå tørlagt det meste af året, hvilket øger risikoen for tilgroning med hurtigt voksende pionerarter, som eksempelvis pil (*Salix sp.*). Dette skal medregnes som en ekstra, potentiel vedligeholdelsesudgift (Moeslund et al., 2013).

Ved oversvømmelse af miniådalen er der en sandsynlighed for aflejring af fosfor bundet til partikler. Det kan dog forventes, at det partikulære fosfor vil mobiliseres ved store afstrømninger, hvormed er den egentlige retention af fosfor er begrænset til den mængde, der optages af planter i det sekundære profil (Skovgaard et al., 2014).

På grund af den øgede magasinkapacitet i miniådalene, er dette virkemiddel særdeles egnet til at aflede vand ved store nedbørshændelser. Varigheden af miniådalens effekt er permanent under forudsætning af tilstrækkelig vedligeholdelse.

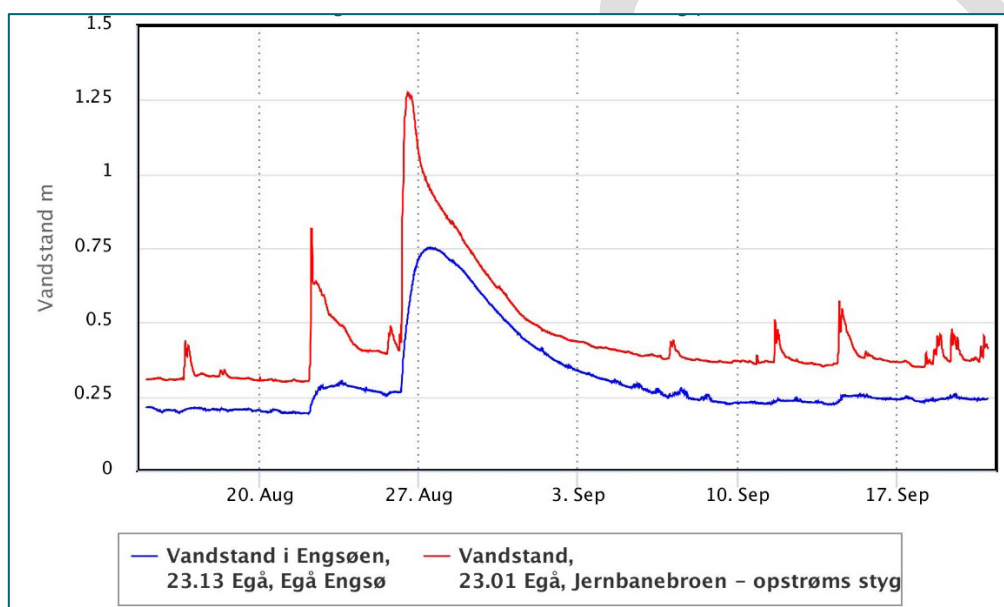
Tabel 6. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Miniådal med genslyngning	En miniådal fungerer i princippet på samme måde som et dobbeltprofil, men vil omfatte en større del af de vandløbsnære arealer. Miniådalen vil fungere som buffer i tilfælde af høj afstrømning/vandstand i vandløbet, og kan bidrage til at mindske oversvømmelsen af værdifulde landbrugsarealer langs og nedstrøms vandløbet.	Virkemidlet er et forholdsvis stort indgreb, både vandløbsmæssigt og økonomisk, og vil kræve løbende vedligeholdelse for at opretholde sin effekt. Virkemidlet vil kræve et detaljeret kendskab til afstrømningsforholdene i vandløbet ved forskellige hændelser, således vandløbs- og ådalsprofilet kan dimensioneres korrekt.	Miniådalen giver en større hydrologisk og økologisk buffer langs vandløbet, og kan bidrage med en øget deponering af sediment og næringsstoffer ved høje afstrømninger. Virkemidlet kan også anvendes til klimasikring af byområder, hvor det kan kombineres med rekreative formål (vandrestier).

3.6 Vådområder

Det primære formål med etablering af vådområder er at genskabe den naturlige hydrologi langs vandløbene og i ådalene ved implementering af tiltag både i vandløbet og ådalen. Tiltagene vil ofte omfatte genslyngning af og bundhævning i vandløb kombineret med tiltag på de tilstødende arealer, hvor driften og afvandingen reduceres eller ophøres. Den restaurerede ådal kan bidrage til at mindske både den hydrauliske og næringsstofmæssige belastning af vandløbsstrækninger og vandløbsnære arealer nedstrøms ådalen (Fejerskov et al., 2019; Moeslund et al., 2013; Wiborg et al., 2014).

Vådområdeprojektet ved Egå Engsø blev gennemført i 2006, hvor hovedformålet var at reducere kvælstofførslen til Århus Bugt. Foruden tilbageholdelse og omsætning af kvælstof, har vådområdet også et stort potentiale til vandtilbageholdelse. Opmagasineringsvolumen for Egå Engsø er anslået til 900.000 m³ vand, og en stor del af dette volumen kom i spil i august 2012, hvor der i området faldt 48 mm nedbør på 3 timer, svarende til en 50 års hændelse. Nedbørshændelsen medførte en vandstandsstigning på 50 cm i vådområdet, svarende til en opmagasinerings af 600.000 m³ vand. Det tog op mod 14 dage, før vandstanden i engsøen var tilbage til udgangspunktet (Andersen, 2012). En tidsserie for udviklingen af vandstanden i tilløbet til Egå Engsø og i selve engsøen fremgår af Figur 7.



Figur 7. Kotesat vandstand i ind- og udløbet af Egå Engsø under nedbørshændelsen i august 2012 (WSP, 2021).

Ved restaurering af ådale og etablering af vådområder opnås en permanent forsinkelse af vandets strømning under store nedbørshændelser. På trods af virkemidlets arealmæssige omfang og høje anlægsomkostninger vil opmagasineringseffekten og de afledte effekter af virkemidlet på oplandsniveau være permanente. Afhængigt af arealanvendelsen og de fremtidige fugtighedsforhold i vådområdet vil behovet for vedligeholdelse af virkemidlet være reduceret eller i samme omfang, som før etableringen.

Tabel 7. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Vådmarker	Vådmarker kan tjene en lang række formål i landskabet, som eksempelvis vandtilbageholdelse, næringsstoffjernelse, reduktion af CO ₂ -udledning og forbedrede natur- og vandløbsforhold.	Etableringen er ofte en langvarig proces og vil kræve en helhedsorienteret tiltag med inddragelse af en lang række interessenter (lodsejere, myndigheder, styrelser) og en grundig kortlægning af de hydrologiske og anlægsmæssige forhold og konsekvenser. Det vil være nødvendigt at inddrage arealer i hele ådalen. Dette medfører, at etableringen ofte forløber over flere år. Virkemidlet er omkostningstungt og det vil være nødvendigt at søge midler via eksisterende ordninger.	Vådmarker kan skabe en sammenhæng i landskabet og kan bidrage med en lang række synergier inden for både natur, miljø, klima, landskab, landbrug og rekreative forhold. Vådmarker kan bidrage til at mindske både den hydrauliske og næringsstofmæssige belastning af vandløbsstrækninger og vandløbsnære arealer, herunder værdifulde landbrugsarealer, nedstrøms ådalen

3.7 Vandtilbageholdelse

Vandtilbageholdelse skal forstås som en kontrolleret og midlertidig opmagasinering af vand langs vandløbet eller i oplandet til vandløbet. Ved en grundig analyse af hydrologien i oplandet, og med kendskab til de strækninger, hvor vandløbet historisk er gået over sine bredder, vil det være muligt at implementere tiltag, der kan målrette og optimere vandtilbageholdelsen i bestemt områder. Formålet med vandtilbageholdelse kan være beskyttelse af værdifulde landbrugsarealer længere nedstrøms i vandløbet, men virkemidlet kan også have en klimatilpasningsmæssig effekt, der reducerer risikoen for oversvømmelse af byer og infrastruktur. I dette afsnit behandles vandtilbageholdelse ikke som et enkelt virkemiddel, men som flere forskellige virkemidler med den samme overordnede funktion: at reducere den vandmængde, der transporteres gennem vandløbet ved ekstremhændelser.

Nedenstående forslag til vandtilbageholdelse skal ses som forslag til virkemiddelkataloget. Effekten af de enkelte forslag er refereret fra studier og udsagn fra fagfolk. Det kan ikke forventes, at en implementering af et givent virkemiddel vil have den samme effekt, uden forudgående, grundige undersøgelser og analyser af det pågældende område, samt kortlægning af årsagerne til lokal oversvømmelse fra vandløbet.

I Belford, England har en forskergruppe undersøgt effekten af små vandparkeringsanlæg med en kapacitet mellem 400-1000 m³ langs et vandløb med et opland på 5,7 km². De nedstrømsliggende arealer var her plaget af oversvømmelser ved pludselige og kraftige nedbørshændelser (Quinn et al., 2013; Wilkinson et al., 2010). Vandparkeringsanlæggene var alle udpeget på steder, hvor terrænforholdene var gunstige, således at de færdige anlæg faldt mest muligt ind i landskabet. Anlæggene var designet til at fyldes ved et kotefastsat overløb fra vandløbet, og de blev designet, så de kan tømmes og tilbagelede al opmagasineret vand til vandløbet på mindre end 10 timer. Studiet viste, at det ved korte nedbørshændelser var muligt at dæmpe vandstandsstigningen i vandløbet, men at anlæggene samtidigt blev fyldt hurtigt op. Anlæggene var derfor ikke effektive ved længerevarende nedbørshændelser (Nicholson et al., 2019).

I Italien er sommertørke en stigende udfordring for landbruget. I et forsøg på at imødekommende den stigende tørke i sommerhalvåret forsøgte (Camnasio and Becciu, 2011) at designe et vandparkeringsssystem, der kunne imødekomme behovet for markvanding, men samtidig agere som vandparkerung under store

vandføringshændelser. Modellen blev implementeret med udgangspunkt i floden Secchia, over en periode med 30 års hydrometridata.

Ved at designe vandparkeringen til sikring af en fastsat minimumsvandføring, forkortedes antallet af dage med risiko for udtørring fra gennemsnitligt 76 dage til 14 dage, og samtidig leveredes der vand til markvanding i et opland svarende til 2200 ha, med hensyntagen til vandindvindingsbehovet længere nede i vandløbssystemet.

Anvendelse af vandparkering benyttes i dag primært i forbindelse med klimasikring af byer. I Næstved kommune benyttes de såkaldte klimasøer delvist til regnvandssikring, men også til at lede opsamlet vand ud i vandløb, der er i risiko for sommerudtørring (Miljøstyrelsen, 2021).

Ved at målrette vandtilbageholdelse langs vandløb i områder med stort behov for markvanding, kan man muligvis opmagasinere vand i vandparkeringssystemet indtil der opstår et behov for markvanding. Implementeringen af virkemidlet vil kræve udvikling af et varslingsystem, således magasinkapaciteten i vandparkeringen kan øges forud for den forventede anvendelse, samt for at undgå at anlæggene overfyldes (Camnasio and Becciu, 2011).

Tabel 8. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Vandtilbageholdelse	Vandtilbageholdelse omfatter en kontrolleret og midlertidig tilbageholdelse og opmagasinering af vand - enten på arealer langs vandløb eller i oplandets lavninger. Vandtilbageholdelse bidrager til at reducere og drosle den vandmængde, der skal transporteres via vandløb ved ekstreme afstrømningshændelser.	Der skal laves frivillige aftaler med lodsejere. Midlertidig oversvømmelse af evt. eksisterende natur kan være udfordrende at få til ladelse til. Stor usikkerhed omkring, hvor ofte vandtilbageholdelse bliver nødvendigt. Flade terrænforhold giver ikke mulighed for anvendelse af dette virkemiddel.	Områder til vandtilbageholdelse som naturlige elementer i landskabet, eksempelvis i lavninger. Foruden en klimaeffekt, kan vandtilbageholdelsesmagasiner også sikre vand til vandløb og markvanding i tørre sommerperioder.

4 Virkemidler på vandlidende højbundsjorde

Højbundsjorde er generelt karakteriseret ved at have et højt indhold af ler, især i dybden (Breuning-Madsen et al., 2013). Lerindholdet har stor betydning for markens udbyttepotentiale, da lerholdige jorder har en højere evne til at tilbageholde vand og næringsstoffer i jordsøjlen. Det betyder dog samtidig, at disse jorder også har højere risiko for at blive vandlidende, når dræningen på marken er mangelfuld eller utilstrækkelig. Det er muligt at identificere de forskellige årsager til, hvorfor højbundsjorder bliver vandlidende, hvilket er beskrevet i "[Guide til identificering af årsager til vandlidende højbundsjorder](#)". Overordnet set kommer det vand, der giver udfordringer på højbundsjorder, enten fra oven dvs. nedbør, der ikke kan komme væk, eller fra neden i form af trykvand eller terrænnært grundvand, som forårsager vandlidende forhold.

Når nedbøren forårsager vandlidende forhold på højbundsjorde, skyldes det, at vandet er forhindret i at infiltrere i jorden. De typiske årsager er 1) vandstandsene jordlag, 2) tilslæmmet jordoverflade, 3) dårlig jordstruktur og 4) mangelfuld dræning.

Udfordringer med trykvand eller terrænnært grundvand er ofte vanskeligere at konkretisere, men de typiske tegn er, at marken er længe om at blive farbar, og kan derfor være vanskelig at så eller høste rettidigt. Plantevæksten vil typisk være ringe og resultere i lave udbytter, samt et højt ukrudtstryk med særligt vandtolerante arter. Endeligt vil der desuden være udfordringer med overfladestrømning og erosion, og der vil nemt kunne dannes dybe kørespor.

Udfordringerne med vandlidende forhold – uanset om de er forårsaget af nedbør og overfladevand eller trykvand og terrænnært grundvand - vil kræve en forbedring af afvandringsforholdene. I nedenstående afsnit vil følgende virkemidlerne til løsning af disse udfordringer gennemgås:

- Grubning
- Forbedring af jordens infiltrationsevne og overfladedræning i form af planering
- Forbedring af jordstrukturen – herunder dræning med skakter
- Nydræning, omdræning eller reparation/vedligeholdelse af dræn

Sidstnævnte virkemiddel – nydræning, omdræning eller reparation/vedligeholdelse af dræn – kan løse udfordringer med vand forårsaget af nedbør og overfladevand samt trykvand og terrænnært grundvand.

4.1 Grubning

Kompakte jordlag – også kaldet vandstandsene jordlag - kan forhindre overfladevand i at trænge ned gennem jorden og ned til drænsystemet. Dette vil ofte vise sig ved, at der er vand på jordoverfladen, eller overjorden er vandmættet. Vandstandsene jordlag kan opstå naturligt samt ved menneskelige aktiviteter, som kørsel med tunge køretøjer. Når det skabes naturligt, skyldes det kemiske forbindelser, der udfældes og sammenkitter sandkorn. Dette kaldes også cementerede jordlag, og kan eksempelvis være al-lag og myremalm-lag (Breuning-Madsen and Krogh, 2005).

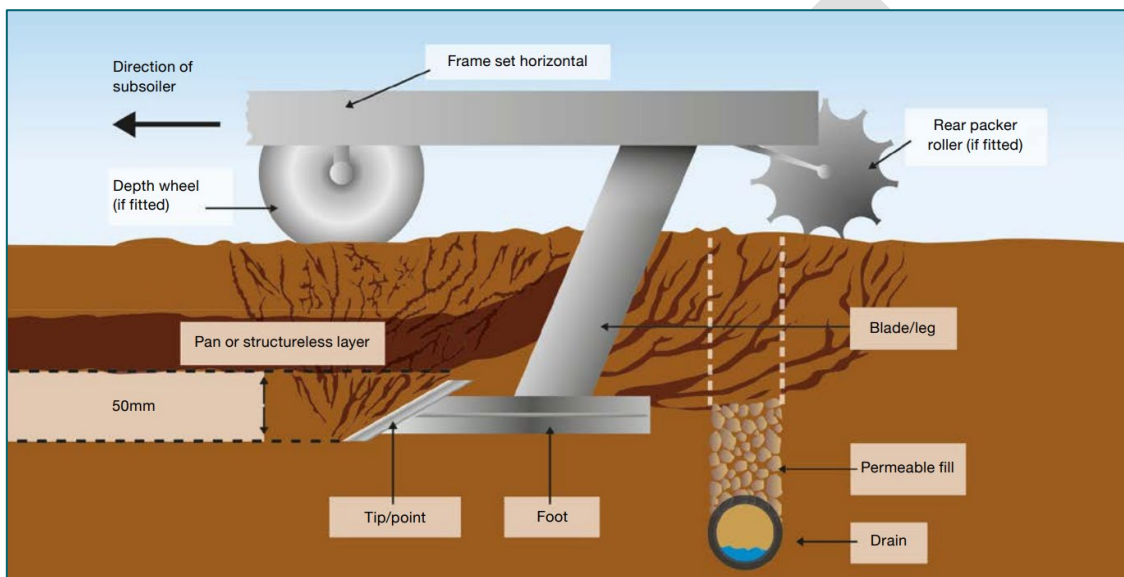
Udover cementering kan der også ske en pakning af jorden, der som oftest opstår pga. færdsel med tunge maskiner i marken, hvor risikoen særligt er høj, når jorden er våd. Jævnlig brug af plov er også med til at danne et pakket jordlag, en såkaldt pløjesål. Pakning kan også ske naturligt afhængigt af jordtype og humusindhold i dybden, men dette vil i høj grad blive accelereret af trafikken i marken (Schjønning et al., 2002).

Når der først er skabt et vandstandsene jordlag, kan selv ikke et velfungerende drænsystem hjælpe med afdræning af marken. Der vil oftest være behov for mekanisk jordløsning, eksempelvis i form af grubning. Grubning er en dyb form for jordbearbejdning, hvor jorden ikke vendes, men hvor tænder skærer ned og igennem det vandstandsene lag (Figur 8). Grubberen kan desuden have et vingeskær, således at den

pakkede jord splittes bedre ad. Dette kræver ekstra trækraft, og anbefales som oftest kun i tilfælde af cementserede jordlag.

Tænderne på grubberen skal som udgangspunkt nå 2,5-5 cm under det vandstandsende lag, og maksimum 45 cm under jordoverfladen (Hill et al., 2018). Såfremt det vandstandsende jordlag viser sig at være for tykt, eller det ligger for dybt, vil grubning ikke længere være en mulig løsning. Det vil derfor være nødvendigt at undersøge andre virkemidler, som eksempelvis brug af kædegraver og drænplov. Dette kan suppleres med anlæg af grusskakter ned til drænene.

Det er vigtigt at være opmærksom på dybden for grubningen i forhold til drændybden, da man ellers kan risikere at ødelægge eksisterende dræn.



Figur 8. Eksempel på brydning af vandstandsende lag ved grubning. (AHDB Field drainage guide).

Grubning skal altid foregå under tørre forhold; dette sikrer at det pakkede eller cementserede jordlag lettere brydes og smuldrer i stykker. En våd jord, der grubbes, har risiko for at blive påført flere strukturskader, idet der kan ske en glitning af jorden i det vandstandsende lag, samt en pakning af den øverste jord (Jørgensen et al., 2004). Det vil desuden kræve mere trækraft og brændstof at trække grubberen igennem en våd jord fremfor tør jord (Raper and Sharma, 2002).

Har jorden tendens til at danne et vandstandsende lag, kan det være nødvendigt at grubbe igen efter nogle år. Tiden imellem grubningerne kan forlænges ved hjælp af forskellige tiltag som dyrkning af afgrøder med kraftige, dybdegående pælerødder, tilførsel af organisk materiale, reduceret jordbearbejdning og/eller kørsel med mindre dæktryk, mindre maskiner og i præcise spor i marken (Boyle et al., 1989; Hamza and Anderson, 2005; McHugh et al., 2009; Schjønning et al., 2009).

Tabel 9. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Grubning	Enkelt løsning til gennembrydning af vandstandsende jordlag.	<p>Kræver specialudstyr. Ofte vil der være behov for tilbagevendende behandling, hvis årsagen til dannelsen af det vandstandsende jordlag ikke håndteres. Grubning skal finde sted under helt tørre forhold, ellers risikerer man strukturskader og yderligere sammenpakning af jorden. Virkemidlet kan derfor ikke anvendes, når der reelt er brug for at afhjælpe en vandlidende jord. Kræver kendskab til eksisterende dræns placering og dybde, for at undgå skader i forbindelse med grubningen.</p>	<p>Virkemidlet kan sammentænkes med en række driftsmæssige tiltag, der sammen kan reducere risikoen for udvikling af et vandstandsende jordlag. Dette kan eksempelvis være et skifte til afgrøder med dybe og kraftige rødder, tilførsel af organisk materiale og reduceret kørsel/tryk på arealerne.</p>

4.2 Forbedring af jordens infiltrationsevne og overfladedræning

Hvis jordoverfladen tilslæmmer skyldes det, at strukturen i den øverste del af jordsøjlen ødelægges, og jordpartiklerne pakker sig i et tæt lag med en meget lav hydraulisk ledningsevne, hvilket medfører en begrænset infiltration. Det er især den fysiske påvirkning fra regn, der ødelægger strukturen i jorden, idet regndråberne ved koalition med jordoverfladen bidrager til en opdeling af jordaggregaterne (Mulin, 1993). Tilslæmning af jordoverfladen er især en udfordring på siltholdige og finsandede jorde.

På en tilslæmmet jordoverflade med begrænset infiltration skal der derfor kun være en ganske svag hældning af terrænet før vandet løber af overfladen, og ender enten helt udenfor marken eller nede i lavninger på marken, der dermed risikerer at blive vandlidende. Dermed opstår et paradoks: afgrøderne i lavningerne vil få for meget vand, mens resten af marken kan risikere at mangle vand. Det kan ydermere skabe problemer med erosion af jorden, hvor der kan dannes riller i marken og der transporteres jordpartikler og næringsstoffer væk (Figur 9).



Figur 9. Eksempel på markante erosionsrrender på en mark med svag til moderat hældning (Foto: Preben Rich Larsen).

Forbedring af jordens infiltrationsevne

Såfremt man oplever udfordringer med tilslæmning af jordoverfladen på sine marker, kan man igangsætte tiltag, der bidrager til at øge infiltrationsevnen i jorden, og som i nogle tilfælde kan afhjælpe problemet uden brug af overfladedræning. Tilstedeværelse af plantedække gennem store dele af året, og især i de kritiske perioder om foråret, kan være et effektivt virkemiddel. Vegetationen vil give jordoverfladen en ujævnhed, der er med til at bremse eventuelle vandstrømme, og planternes rødder vil danne kanaler, der faciliterer en optimeret, nedadgående strømningsvej (Brady and Weil, 2014; Kronvang et al., 2005). Jo tættere et plantedække, desto bedre.

Ligeledes kan stubbe og planterester også øge infiltrationsevnen i jorden, hvilket kan opnås ved at undlade nedpløjning af planterester, men i stedet lade dem ligge i det øvre jordlag og på jordoverfladen (Pan et al., 2018). I forlængelse af dette, anses generelt forøgelse af organisk materiale i jorden som et vigtigt middel til en bedre jordstruktur, også på jordoverfladen.

Overfladedræning - planering

Planering er en metode indenfor overfladedræning, hvor jorden på marken fordeles ud, således jordoverfladen bliver mere jævn, hvormed man minimerer tilblivelsen af større lavninger, hvor vand kan samle sig. Jorden kan flyttes med en skraber, der skubber jorden fra højereliggende områder til lavninger, eller man kan anvende traditionel jordflytning, hvor jorden opsamles og transporteres til det ønskede område (Figur 10).

Planering af marken, så vandet har længere tid til at infiltrere jorden, er også et lavpraktisk virkemiddel til at øge nedsivningen af vand på marken. Det er også muligt at anbringe jorden, så det spidser op mod den centrale del af marken – dette tillader overskydende vand at løbe ud af marken, og i en eventuel sideliggende grøft. På meget store marker, hvor man vil lade vandet løbe af marken, kan det være nødvendigt at opdele marken, og etablere en grøblerende i midten. Dette vil dog være på bekostning af en mindre del af markarealet, men kan til gengæld være med til at sikre høje udbytter på de resterende jorder.

Planeringen kan udføres både om foråret og efteråret, men det er vigtigt at jorden er tør, således arbejdet ikke ødelægger jordstrukturen. Rent praktisk kan det også være udfordrende at flytte større mængder jord på en våd mark. En fordel ved at udføre planering om efteråret, lige efter høst, er, at det her vil være tydeligt at se mellem stubbene, hvor de vandlidende pletter tidligere har været; disse områder vil være domineret af ukrudt, der har trivedes i den vandlidende jord, og derfor har udkonkurreret afgrøden.



Figur 10. Eksempel på planering i praksis (Foto: Mads Blenker, Maskinbladet).

Tabel 10. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Forbedring af jordens infiltrationssevne og overfladedræning	Mindsker risikoen for længerevarende perioder med vandlidende arealer ved at øge jordens infiltrationssevne og reducere tilsæmning af jordoverfladen.	Virkemidlet kræver ofte implementering af flere tiltag, og det kan være vanskeligt at vurdere de afledte effekter enkeltvis. Terrænregulering over 50 cm vil kræve tilladelse fra kommunen.	Tiltagene er lavpraktiske og omfatter terrænregulering (jordflytning/planering), der kan kombineres med andre tiltag (øget plantedække, undlade fjernelse af planterester).

4.3 Forbedring af jordstrukturen

Selv jorde med gode dræningsforhold vil stadig være vandlidende, hvis jordstrukturen på marken er dårlig. En god jordstruktur er kendetegnet ved, at jorden nemt smuldrer i mindre stykker, og jorden er nem at grave i. En jord med denne karakteristik gør det nemt for rødder, ilt og ikke mindste vand at bevæge sig i.

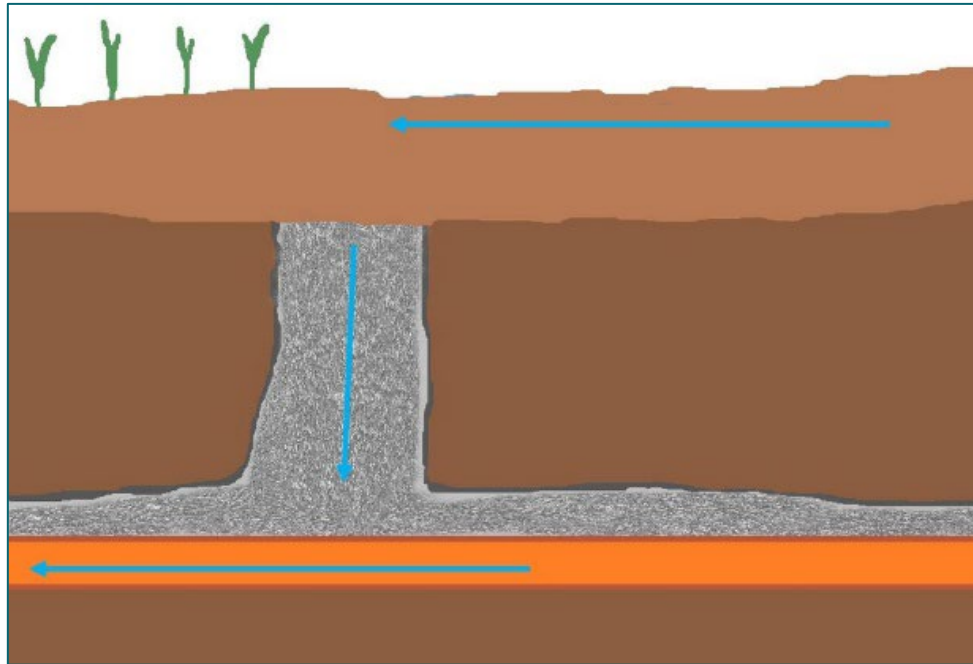
Dårlig jordstruktur kan skyldes pakning forårsaget af kørsel med tunge køretøjer, men det kan også ske spontant, når små partikler flyttes med vandet ind i poresystemet, og dermed blokerer for gennemstrømning af vand (Hao et al., 2008). Risikoen for, at disse små jordpartikler transporteres ind i poresystemet, er større, når der i jorden kun er begrænset indhold af organisk materiale til at binde partiklerne sammen. Derfor vil et lavt indhold af organisk materiale i jorden som oftest være lig med en dårlig jordstruktur (Franzluebbbers, 2002). Dog vil finsandede og siltholdige jorde altid være sværere at forbedre jordstrukturen på, da disse partikler binder dårligt i aggregater, uanset mængden af organisk materiale.

Forekomst af blåler kan være et naturgivent forhold, der kan resultere i en dårlig jordstruktur, med en så lav en permeabilitet, at det kan virke vandstandsende. Blåler forekommer som oftest i dybder fra 50 cm og nedad (Filsø, 2014).

Dræning med skakter

En dårlig jordstruktur kan ofte starte en ond cirkel, da den også medfører en dårlig afvanding og vandmættet jord, som bidrager til at gøre jordstrukturen endnu mere skrøbelig og udsat for at pakning og/eller en øget transport af jordpartikler. Dette kan brydes ved at etablere grusskakter, som går fra lige under pløjelaget og ned til drænrørene (Fausey et al., 1986). Skakterne har typisk samme bredde som drænrørene, eller lidt bredere, men kan tilpasses dræningsbehovet. Der findes grustyper i forskellige størrelse, men generelt gælder det, at såfremt gruset ikke skal have en filtrerende effekt overfor eksempelvis finsand og okker, bør man vælge en grov grustype i størrelsen 5-30 mm for at få bedst mulig nedsivning til drænet (Figur 11).

Tilførsel af filtergrus kan være dyrt, og det kan derfor være fordelagtigt kun at anvende virkemidlet lokalt på de steder, hvor jorden er meget tæt og kompakt. Til gengæld er investeringen en løsning med en lang holdbarhed (20-40 år), så længe kapaciteten og dimensionerne af drænrørene også er tilpasset tilstrækkeligt (Messing and Wesström, 2006).



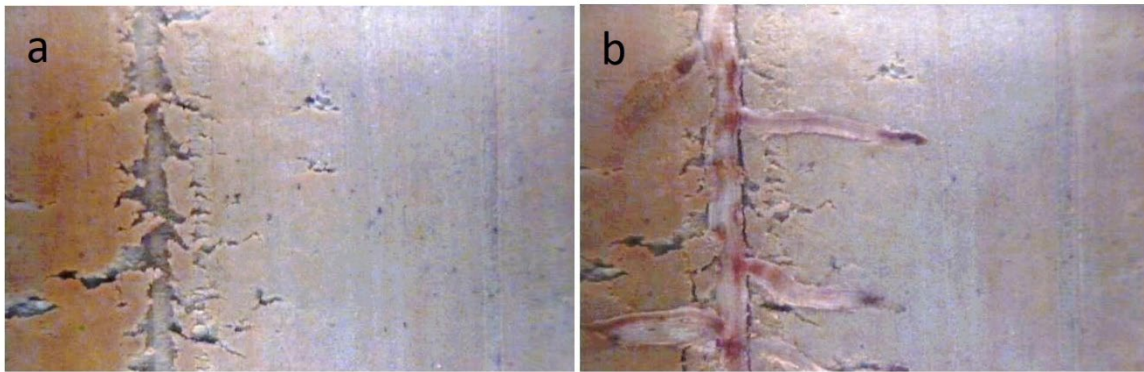
Figur 11. Konceptskitse af en drænskakt. Skakten graves fra drænrøret og op gennem jordlaget. Skakten fyldes derefter med grus eller andet materiale med høj hydraulisk ledningsevne. På den måde dannes der lokale "motorveje" for vandet, hvilket kan forbedre dræningsforholdene i resten af jorden.

Forebyggende tiltag

Nogle af de vigtigste tiltag, man kan gøre for at forbedre jordstrukturen, og dermed undgå at skulle etablere (flere) dræningsskakter, er:

- a) At implementere en mekanisk og/eller biologisk jordløsning. Den mekaniske jordløsning kan bidrage til at genskabe noget af strukturen i jorden, og vil være en effektiv, men kortsigtet løsning. Samtidig vil der dog også være en indirekte, langsigtet virkning, idet virkemidlet kan bidrage til at forbedre det jordboende liv, der spiller en vigtig rolle i at genoprette jordstrukturen over længere tid (Jørgensen et al., 2004).

Den biologiske jordløsning kan omfatte anvendelse af planterødder, som over tid er med til at opbygge makroporer og strukturdannelse i jorden (Löfkvist, 2005), og er desuden forebyggende overfor pakning (Figur 12). Nogle af de planter, der egner sig bedst til biologisk jordløsning, er cikorie, lucerne, olieræddike, samt visse græsser (Chen et al., 2014; Pulido-Moncada et al., 2021, 2020; Williams and Weil, 2004). Det vil derfor være oplagt at implementere den biologiske jordløsning, som en del af efterafgrøderne. Der vil typisk gå nogle år (min. 2 år) før effekten af biologisk jordløsning begynder at kunne mærkes (Pulido-Moncada et al., 2021). Den mekaniske og den biologiske jordløsning kan ske i kombination med hinanden.



Figur 12. Visualisering af effekten af biologisk jordløsning: Raps (a) blev sået som cover crop i efteråret (september 2001) og nedvisnet det efterfølgende forår (maj 2002) med glyphosat. Umiddelbart efter blev sojabønner (b) sået. Billede a) af rapsrødderne er taget d. 3. maj 2002, mens billede b) af sojarødderne er taget d. 17. juli 2002. Billeder er fra optagelser i minirhizotron. (Williams and Weil, 2004).

- b) At sørge for at tilføre jorden organisk materiale, da friskt organisk materiale nedbrydes til humuspartikler i jorden, som har forskellige komplekse strukturer, og indeholder en blanding af både positive og negativt ladede partikler (Brady and Weil, 2014). Dette giver mulighed for at samle jorden i aggregater, og holde på dem, selv hvis jorden udsættes for tryk fra kørsel med tunge maskiner. Det organiske materiale vil også have en afledt effekt på jordstrukturen, idet jordens mikro- og makroorganismer, der lever af at nedbryde det, vil have mulighed for at øge deres aktivitet i jorden. En øget aktivitet af de jordboende organismer betyder, at jorden fysisk pakkes i små aggregater, som følge af smådyrenes bevægelser, men også at jorden bedre bindes sammen på grund af udskillelse af forskellige sekreter (Fortuna, 2012)
- c) At have et plantedække i så store dele af året. Plantevækst er et vigtigt redskab til at sikre en god jordstruktur og bør derfor anvendes, så ofte som det er muligt. Dette skyldes både tilførslen af organisk materiale, hvis effekter er redegjort for i afsnit b), dannelse af makroporer hos rødderne, samt røddernes bidrag til at styrke jorden og øge dens modstandsdygtighed overfor pakningskader (Schjønning et al., 2009; Stirzaker and White, 1995).
- d) Skånsom kørsel på marken. Selvom dårlig jordstruktur kan skyldes naturgivne forhold, såsom jordtype, vil trafik i marken altid øge risikoen for strukturskader. Denne risiko kan reduceres ved så vidt muligt kun at køre i tør jord (maksimalt markkapacitet, -100 hPa), da en våd jord er mere plastisk og derfor nemmere giver efter for trykket. Derudover er det en fordel af køre med et lavt dæktryk på maskinerne, således trykket fordeles over et større areal (se også boks 1) (Schjønning et al., 2009, 2006). Dette kan kombineres med kørsel i faste spor i marken, således strukturskaderne begrænser sig til et minimalt areal (McHugh et al., 2009).

Boks 1: Tommelfingerregel for trykstress i jorden

Dybden, hvormed jorden udsættes for det maksimalt acceptabelt trykstress (50 kPa), stiger med omkring **8 cm** for hvert ekstra ton hjulbelastning, og for hver fordobling af lufttrykket i dækkene (Schjønning et al., 2006).

Påvirkningen af forskellige maskiner og anhængere, samt dæktryk og last kan simuleres på www.terranimodk.dk.

Grusskakter og pesticider

Grusskakter øger den hydrauliske ledningsevne i jorden, og netop af denne grund skal man være opmærksom på en øget risiko for pesticidudvaskning, hvis grusskakter implementeres som virkemiddel til at håndtere dårlig afvanding og vandmættet jord. Den korte hydrauliske opholdstid, der er forbundet med grus og grovsand, betyder, at pesticiderne i jordopløsningen vil have kortere tid til at komme i kontakt med jordens mikroorganismer og diverse fysiokemiske processer, der bidrager til at nedbryde stofferne (Nygaard, 2004). Kombinationen

af hurtigt gennembløb og pesticidernes dårlige binding til grus og grovsand bevirker, at en større mængde pesticider potentielt kan transporteres fra jordoverfladen til drænene og videre til recipienten. Der er så vidt vides endnu ikke lavet undersøgelser om, i hvor høj grad dræningsskakter bidrager til en øget pesticidudvaskning.

Tabel 11. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Forbedring af jordstruktur	Bidrager til at øge jordens infiltrationsevne, men vil samtidigt kunne sikre fugtigere jordbundsforhold i tørreperioder.	Virkemidlet kræver ofte implementering af flere tiltag, og det kan være vanskeligt at vurdere de afledte effekter enkeltvis. Hvis det er nødvendigt at etablere grusskakter, kan dette blive anlægsmæssigt og økonomisk omfattende. Det er uvist, hvorvidt grusskakter vil kunne øge udvaskningen af pesticider.	Tiltagene er lavpraktiske og kan nemt kombineres (mindsket dæktryk/maskinpraksis og afgrødevalg). Kan skabe en selvforstærkende effekt, der på længere sigt kan forbedre jordstrukturen markant. Eksempelvis vil et øget plantedække og et øget organisk indhold i jorden skabe bedre forhold for jordbundsorganismene, der igen vil sørge for nedbrydning, omsætning og strukturdannelse i jorden.

4.4 Nydræning, omdræning eller reparation/vedligeholdelse af dræn

Vandlidende højbundsjorder kan også være forårsaget af utilstrækkelig dræning - enten fordi der på marken aldrig er foretaget dræning eller fordi det eksisterende dræningssystem er forældet og/eller mangler reparation og vedligeholdelse. Det ses i stigende grad, at der er brug for udskiftning eller reparation af gamle dræn i takt med, at nedbøren i Danmark er øget og grundvandsstanden er steget. Disse forhold kan medføre, at selv funktionelle drænsystemer vil fremstå som underdimensionerede. Øvrige årsager kan være, at drænarbejdet i sin tid har været mangelfuld eller dårlig udført, eller at der sidenhen er sket forskellige skader og tilstopninger i drænrørene. Endeligt kan det også forekomme, at gamle drænrør ikke er tilpasset trykket fra de tunge maskiner, der i dag bruges i marken, og som dermed klemmer eller ødelægger drænrørene.

En af udfordringerne ved udbedring af drænforholdene er, at der ofte er et begrænset kendskab til drænenes placering og omfang. Hvis dette er tilfældet, er det en mulighed at foretage en forespørgsel hos WSP, der administrerer Hedeselskabets drænarkiv. Det kan også være, at eventuelt tidligere lodsejere ligger inde med viden eller deciderede drænkort. Dræn og brønde kan også eftersøges i felten ved at gennemgå vandløb, grøfter og marker, eller ved at gennemgå historiske luftfotos og terrænkort, hvor drænenes placering ofte kan bestemmes. Endeligt er det også muligt at finde drænene ved hjælp af droneflyvning eller med hjælp fra en kloakmester, der med sonde og kabelsøger kan lokalisere og undersøge drænene (Nielsen, 2015b).

Findes der ikke dræn i marken, vil løsningen være etablering af et nyt drænsystem. Her henvises til "Dansk Markdræningsguide" af Janne Aalborg Nielsen (2015).

Lokaliseres et ældre drænsystem kan man indledningsvist starte med at spule drænrørene, efter man har sikret sig, at selve drænudløbet ikke er blokeret (Figur 13). Spulingen vil fjerne tilstopninger af rødder, sand, silt og okker. Her skal man være opmærksom på at stoffer, der kan forurene vandløb, som eksempelvis okker, skal opsamles og håndteres derefter. Det kan være nødvendigt at supplere spuling med en TV-inspektion af drænene før og/eller efter for at lokalisere store tilstopninger, rodindrængninger, samt afbrudte eller klemte dræn. Er drænrørene fyldt helt op med sand, vil spuling sandsynligvis ikke kunne løse problemet, og det vil da være nødvendigt at udskifte rørene.



Figur 13. Spuling af drænrør i praksis (Foto: Stinna Susgaard Filsø).

Såfremt marken kun er vandlidende i lokale pletter, kan det være en fordel at grave ned til drænrørene i de pågældende problemområder og besigtige rørene. Dette giver også mulighed for at lave reparationerne direkte; klemte eller ødelagte rør kan erstattes og afbrudte dræn kan samles (Figur 14). Mangler der hydraulisk pakning, kan dette også være grund til den dårlige dræning, og filtersand/-grus kan derefter påfyldes.



Figur 14. Drænrør kan være defekte, fordi de er blevet tilstoppet af okker (venstre) eller er blevet klemte (højre). (Fotos: Janne Aalborg Nielsen).

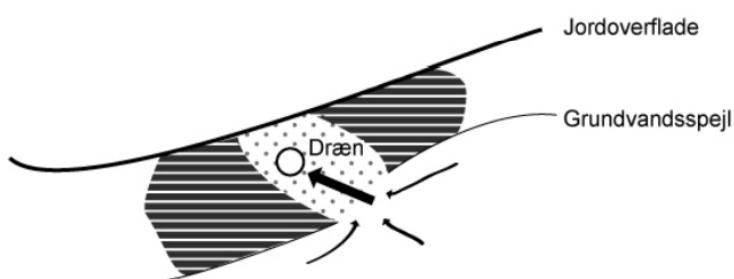
Såfremt størstedelen af marken er vandlidende, og spuling af drænene ikke løser problemet, kan det skyldes, at hovedledningen har defekter. Ledningen kan være klemt eller ødelagt ét bestemt sted, og det vil derfor også være fordelagtigt at grave ned til røret og undersøge nærmere. Man skal også være opmærksom på, hvorvidt læhegn står eller har stået tæt ved hovedledningen, da træroddeerne herfra kan bevæge sig ind til hovedledningen og lave svære tilstopninger, samt forskyde rørene. Der gælder generelt at drænrør, der etableres i nærhed af levende hegn, bør være lukkede og faste samt placeret 6-8 meter fra træerne. Herudover vil det være en fordel at etablere en drænbrønd, der gør det muligt at spule og rense drænene årligt.

Hvis problemet ikke kan lokaliseres til hovedledningen, vil problemet sandsynligvis være forårsaget af forhold i hele drænsystemet. Det kan være underdimensioneret, fordi rørene er for små eller ligger med for lang afstand, hvilket i nogle tilfælde kan afhjælpes ved at intensivere systemet ved etablering af yderligere sidedræn, men det kan også være nødvendigt at omdræne hele arealet. Det samme gør sig gældende, hvis drændybden ikke

er tilpasset markens behov. Er tilstopninger med finsand og silt et tilbagevendende problem, er det også værd at overveje en omdræning, hvori der investeres i en filterpakning til drænene. Når der omdrænes er det altid en god idé at etablere drænbrønde, da det gør systemet vedligeholdelsesvenligt og kan samtidigt være med til at forlænge levetiden for drænene.

I kuperet terræn med leret underjord og/eller sandlinser kan der opstå trykvand. Det sker når lavpermeable jordlag tvinger grundvandet op gennem lettere gennemtrængelige jordlag (Figur 15). Mængden af vand, der tilføres via trykvand, kan være vanskelig at forudsige. Der kan derfor være en tendens til, at drænsystemet forekommer underdimensioneret i forhold til de reelle vandmængder.

Trykvand dannes ofte på bakkesider, hvor vandet vil følge terrænet ned til fladere arealer eller lavninger, hvor det som oftest skaber problemer for landbrugsdriften. Selve skråningen vil dog også kunne blive vandlidende, og et muligt tegn på tilførsel af trykvand kan derfor være dannelse af dybe kørespor på bakkesiden (Figur 16).



Figur 15. Konceptskitse af trykvandsdannelse. Det svært gennemtrængelige jordlag (skraveret) danner et tryk fra grundvandet, som derfor presses op igennem det lettere gennemtrængelige lag (prikket). Er der ikke et dræn, som her på figuren, vil dette vand forårsage dræningsproblemer, både på bakkeskråningen og længere nede på marken. (Filsø et al., 2018).

Ved etablering af drænrør på bakkeskråningerne er der mulighed for at håndtere trykvandet, hvor det dannes, og lede det udenom lavninger eller til eksisterende, fungerende drænsystemer. Omfanget af dræning på bakkeskrænterne tilpasses efter behov.



Figur 16. Et tegn på trykvand er kørespor oppe på bakketoppen eller bakkens sider.
(Foto: Janne Aalborg Nielsen).

Således findes der flere løsninger på mangelfuld dræning, og den optimale løsning kan variere fra mark til mark. Det er derfor generelt vigtigt at have så meget information om drænsystemet som muligt, og derefter eventuelt indgå et samarbejde med en drænentreprenør eller kloakmester om at identificere og lokalisere problemet, så man i samarbejde kan finde den bedste løsning.

Oversigt over løsningsmuligheder for mangelfuld dræning

- Tjekke for blokeret udløb – på en flad mark kan et tilstoppet udløb give dårlig dræning på hele arealet.
- Spuling – finsand, silt, okker og planterødder fjernes fra drænrørene.
- Lokale reparationer – når enkelte drænrør er klemte, afbrudte eller mangler hydraulisk pakning. Især vigtigt for hovedledningen.
- Omdræning – når hele systemet er i for dårlig stand (ødelagte rør og manglende filterpakning og hydrauliske pakning), er underdimensioneret, eller drændybden er for ringe.

Det er altid en god idé at notere informationer om ændringer af drænsystemerne og deres lokalitet, også selv ved små reparationer, da det kan være nødvendigt at indhente oplysninger om det senere.

Tabel 12. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Nydræning, om-dræning eller reparation og vedligeholdelse af dræn	Hurtig bortledning af vand, der er infiltreret fra jordoverfladen til ca. 1 - 1,2 meters dybde. Drænene sikrer også en effektiv afledning af evt. trykvand eller terrænnært grundvand.	Virkemidlet kræver nøje kendskab til drænsystemernes tilstand og placering, hvilket kan blive omfattende - både anlægsmæssigt og økonomisk, hvis det viser sig at være behov for nydræning af større arealer. Dette skal holdes op mod de konsekvenser, driftsmæssige som økonomiske, som de vandlidende arealer medfører. Drænene kræver frit udløb for at fungere optimalt og være selvrensende.	Med et kendskab til drænsystemernes placering og tilstand vil virkemidlet være relativt enkelt at implementere - både hvis der er behov for nydræning eller hvis vedligeholdelse/reparationer er tilstrækkeligt.

5 Det vådere vejr på markfladen

Det vådere vejr kan komme til udtryk på flere forskellige måder på markfladen, i form af et øget sygdoms- og ukrudtstryk, dårligere næringsstofoptag i afgrøderne, større risiko for jorderosion og øget næringsstofftab. Blandt de mere umiddelbare og direkte effekter vil der ses flere dage med oversvømmelser, længere perioder med forringet bæreevne i jorden, forsinket høst, samt vådere afgrøder ved høst. Disse forhold medfører udfordringer med at sikre et højt udbytte på markene, men tackles disse rigtigt, og med rettidig omhu, har vi mulighed for at fortsætte en høj fødevareproduktion i Danmark. Der kan udføres tiltag på både bedriftsniveau og på højere niveauer, som eksempelvis hos rådgivningen og myndighederne. Dette afsnit vil fokusere på de tiltag, der kan gennemføres på markniveau, for at imødekomme nogle af de mest direkte og omgående udfordringer, der opstår på markfladen i forbindelse med et generelt vådere vejr. De beskrevne virkemidler er:

- Ændret maskinbrug – herunder alternative metoder til gylleudbringning samt valg af dæktype
- Øget høstkapacitet
- Øget tørringskapacitet

5.1 Ændret maskinbrug

Øgede vandmængder på markerne vil kræve genovervejelser af, hvilke maskiner der skal bruges i marken, samt i hvor høj grad disse skal anvendes. Lerede jorde vil under våde vintre og forår ikke kunne pløjes uden af ødelægge jordstrukturen betragteligt, og ved etablering af vårsæd kan det i disse tilfælde være nødvendigt, at nøjes med en ganske let harvning, som gradvist bliver dybere efterhånden som vandet fordamper og jorden varmes op (Vestergaard et al., 2020). På samme måde vil disse jorde også kræve, at gylleudbringning udskydes til efter fremspiring af vårsæden.

Alternative metoder til gylleudbringning

Gylleudbringning kan generelt være en af de store udfordringer, når det kommer til markoperationer i foråret. Opmagasineringskapaciteten er ved at være brugt op, og landmanden kan være presset til køre i marken med en tung gyllespreder uanset om næringsstoffildelingen er optimal eller ej. Er marken våd øges risikoen for, at gylleudbringningen forårsager alvorlig jordpakning. Antallet af dage, hvor gyllen kan udbringes, kan ikke ændres, da det er givet af afgrødernes næringsstofbehov. Det er dog muligt at reducere jordpakningen ved at benytte sig af en mindre spreder i marken. Transporttiden til og fra gyllebeholderen på bedriften kan nedbringes ved at have en midlertidig tank installeret ved den pågældende mark, hvortil en gylletransport kan supplere.

En anden metode er at bruge udlægning med slæbeslanger. Dette gøres med en *Agrometer* gylleudlægger, hvor udlæggeren kører op ad sprøjtesporene, mens den er tilsluttet en slange, der har forbindelse til en medbragt gylletank. Herefter vil maskinen køre ad samme spor tilbage. *Agrometers* rækkevidde er omkring 600 meter, og vil have lige stor kapacitet, som en almindelig gyllevogn (Lyngvig, 2020a).

En alternativ anvendelse af slanger er det såkaldte *drag hose-system*. Her lægges slanger ud i hele marken, hvorefter der pumpes gylle ud i systemet. Dette kan tillade en længerevarende tilførsel eller intervaltilførsel af gylle, idet man kan lade slangerne ligge ude. Dette begrænser dog tilførsel til andre marker. Maskinen der lægger slangerne ud, vil veje meget mindre end et vogntog med gyllevogn, men man skal dog være opmærksom på, at slangesystemet i sig selv også kan have en betydelig vægt. Selve udlægningen, og den efterfølgende fjernelse af slangerne, kan desuden forårsage skader på nyligt etablerede afgrøder, og metoden vil derfor være mest oplagt til anvendelse på græsmarker. (Lyngvig, 2020a).

En sidste metode indenfor gylletildeling er brugen af selvkørende gyllekøretøjer. Disse maskiner er mindre, kører på tre-trækkende aksler, og bruger meget store dæk (Lyngvig, 2020a). Alt dette reducerer strukturskader

ved gylleudbringningen betragteligt. På grund af dækkenes størrelse og placering, er denne metode begrænset til udbringning inden etablering af afgrøden, og vil derfor være bedst egnet ved dyrkning af majs og vårsæd.

Valg af dæktype

For at reducere jordpakning og strukturskader, samt de vandproblemer, der følger med, bør valg af dæk på maskinerne overvejes. Der findes dæktyper, der er har større aftryk, og som derfor vil fordele vægten jævnt ud på jorden. På samme måde kan man også tilpasse lufttrykket til aksellasten, således at dækket flader mere ud og dermed fordeles trykket over et større areal. For yderligere information omkring dækvalg og lufttryk, henvises til artiklen [Minimer jordpakning i høsten](#) af Lyngvig, 2020b. Det er også muligt at foretage en simulation af trædefladestress og stress i dybden ved brug af forskellige maskiner, vogntog, dæk, lufttryk, ved forskellige jordtyper og vandindhold i jorden. Dette kan blandt andet gøres med [Terranimo](#) (Terranimo, 2022).

Oplever man meget store udfordringer med føret i marken, kan anvendelse af gummibælter være en løsning (Figur 17). Anvendelse af bælter ses hyppigere i både Danmark og Tyskland, især ved dyrkning af majs, hvor høsten ligger sent, og hvor mængden af vand i jorden på dette tidspunkt ofte er stigende, hvilket øger risikoen for udfordringer. Installation af bælter på en mejetærsker koster i omegnen af 150-200.000 kr. og vil derfor være en større investering, men tiltaget kan være med til at sikre, at høsten kan komme i hus på rette tidspunkt. Endelig skal man være opmærksom på, at der ikke må køres på vejene med bælter påmonteret.



Figur 17. Eksempel på mejetærsker med gummibælter påmonteret. (Foto: Henning Sjørsløv Lyngvig).

Tabel 13. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Ændret maskinbrug	Forkorter tidsforbruget i marken, hvilket kan gøre driften mere fleksibel og mindre sårbar over for klimatiske forhold i kritiske perioder ift. landbrugsdriften.	Virkemidlet kræver nøje koordinering og potentielt markant øgede udgifter til anlæg, maskiner og personale. Sidstnævnte kan især være en udfordring i høstperioden.	Der findes forskellige løsninger, der kan tilpasses den enkelte landmands behov. Det er muligt at indgå samarbejde med andre landmænd, så de økonomiske udgifter reduceres.

5.2 Øget høstkapacitet

Høsten er et af de meste kritiske perioder, hvor flere faktorer gerne skal gå op i en højere enhed, og hvor der ofte kun forekommer kortvarige perioder med optimalt høstvejr. Nedbørsmængden i august måned, hvor store dele af høsten finder sted, er generelt stigende: I perioden 1961-1990 udgjorde den gennemsnitlige nedbørssum for august 67 mm, mens den for perioden fra 2011-2020 udgjorde 82,1 mm. Dette kan medføre et reduceret antal dage tilgængeligt til gennemførelse af høsten, hvilket sætter krav til høstkapaciteten. Kapaciteten kan øges ved at investere i større og mere effektive maskiner, eller ved at have flere maskiner kørende sideløbende. Dette kan dog vise sig at være et omkostningstungt tiltag.

Man kan med fordel overveje sit afgrødevalg i forhold til høsttidspunktet. Har man eksempelvis mulighed for at etablere vintersæd, der skal høstes tidligt, frigiver det plads til høst af afgrøder i sensommeren. Dette kan også tænkes ind i sortvalget: eksempelvis kan der ved majs forekomme op til en måneds forskel på tidlige og sildige sorter.

Efter høst kan etableringen af eventuelle vinterafgrøder også være en udfordring i et vådere vejr. Også her handler det om at øge kapaciteten og effektiviteten af markoperationerne, så etableringen kan ske så hurtigt som muligt, når vejret tillader det.

Tabel 14. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Øget høstkapacitet	Forkorter tidsforbruget i marken, hvilket kan gøre driften mere fleksibel og mindre sårbar over for klimatiske forhold i perioden, hvor der høstes.	Virkemidlet kræver nøje koordinering og potentielt markant øgede udgifter til anlæg, maskiner og personale. Sidstnævnte kan især være en udfordring i høstperioden.	Der findes forskellige løsninger, der kan tilpasses den enkelte landmandsbehov. Det er muligt at indgå samarbejde med andre landmænd, så de økonomiske udgifter reduceres.

5.3 Øget tørringskapacitet

Tørring af afgrøder er allerede en essentiel del af foder-, frø- og fødevarerproduktionen, men behovet kan stige i fremtiden, da mere ustadigt vejr vil gøre det mere vanskeligt at undgå en våd/fugtig høst. Det kan derfor blive aktuelt for et stigende antal landmænd at investere i deres eget tørreri og lager til kornet. Der findes flere forskellige typer af tørrerier: plantørreri, gennemløbstørreri og silo med omrøring. Som alternativ til tørring, er der også gastætte siloer, der udelukkende fungerer som opbevaring.

1. Et plantørreri er den dyreste løsning, men er meget fordelagtig ved produktion af mange forskellige afgrøder og/eller sorter, idet lageret kan inddeles i flere små rum og sektioner, hvor tørringen kan ske. Typisk vil man stakke kornet i maksimalt 3 meters højde (jo vådere korn, jo lavere kornhøjde), og vende det manuelt (Lyngvig, 2020). Det er dog også muligt at supplere med en omrører, der automatisk sørger for at vende kornet regelmæssigt.
2. Et gennemløbstørreri vil også være en stor investering og ses generelt kun i store landbrug. Gennemløbstørreriet fungerer ved, at kornet løber fra oven og ned, mens varm luft tørrer det. Efterfølgende overføres det til siloer, der nedkøler det med kold luft. Et gennemløbstørreri har en høj kapacitet og kan bedre håndtere korn med høj fugtighed (Lyngvig, 2020c).
3. Stålsiloer med omrøring er en populær løsning, idet anskaffelsen er billigere, og der er få arbejdstimer forbundet ved anvendelse af disse. Siloerne blæser varm luft op i kornet nedefra, og vil være udstyret med en omrører, der sørger for, at kornet vendes ofte. Siloerne er ideelle, når man kun har behov for at opbevare få typer afgrøder, idet det ikke er muligt at separere kornet.
4. Endeligt er det muligt at øge udnyttelsen af gastætte siloer. På grund af manglen på ilt i disse, holdes kornet sundt, på trods af for høj vandprocent. Men da kornet netop forbliver vådt, begrænses denne mulighed til bedrifter, der selv kan forbruge kornet, da senere transport hurtigt nedsætter kvaliteten. Ligeledes betyder dette, at kornet kun kan anvendes til foder, og kun som vådfodring. Som alternativ til at investere i egen silo, kan der laves aftaler med aftagere med gastætte siloer. Det er vigtigt at være opmærksom på, at der vil være en grænse for, hvor vådt kornet må være i disse siloer. Det anbefales ikke at lagre korn med en vandprocent på mere end 20-23 % i en gastæt silo (Lyngvig H. S., 2021, personlig kommunikation).

Tabel 15. Oversigt over virkemidlets forventede konsekvenser, barrierer og afledte synergier ved implementering.

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Øget tørringskapacitet	Øget tørrings- og lagerkapacitet kan bidrage til at mindske landmandens sårbarhed over for det vådere vejr og potentielt vådere afgrøder.	Virkemidlet kan være økonomisk tungt at implementere, og vil kræve nøje koordinering i forhold til høst, transport og opbevaring.	Der findes forskellige løsninger, der kan tilpasses den enkelte landmands behov. Det er muligt at indgå samarbejde med andre landmænd, så de økonomiske udgifter reduceres.

6 Konklusion / opsummering

UDKÅST

7 Oversigt over virkemidler

Virkemiddel	Konsekvenser	Barrierer	Afledte synergier
Genslyngning af vandløb	Vandstanden hæves og strømhastigheden reduceres i vandløbet. Vandløbet vil fremstå mere terrænnært, hvilket vil medføre at de vandløbsnære arealer bliver vådere og oversvømmes hyppigere.	Virkemidlet kræver en helhedsorienteret tilgang med involvering af lodsejere langs vandløbet, oplandet og ofte hele ådalen. Dette er en tids- og ressourcetekrævende proces.	Øget vandtilbageholdelse, der kan bidrage til at mindske vandstandsstigninger på nedstrøms strækninger med værdifulde landbrugsjorder. Forbedrede forhold for arter tilknyttet vandløbet og de vandløbsnære arealer - både som følge af de ændrede hydrologiske forhold, men også via optimering af fysiske forhold i vandløbet ved udlægning af sten, grus og dødt ved. Forbedring af de rekreative forhold, hvis virkemidlet kan kombineres med anlæggelse af stier, fiskeri og lignende.
Omløb	Fungerer som et sekundært forløb, der kan aflaste vandløbet i forbindelse med høje afstrømninger.	Virkemidlet vil kræve en grundig og helhedsorienteret tilgang, der også involverer arealer langs vandløbet og i oplandet. Afhængig af omløbets forløb mv. kan virkemidlet være et stort indgreb ift. det eksisterende landskab. Lovgivningsmæssigt kan det være en udfordring at få tilladelse til virkemidlet.	Drosling ved høje afstrømninger. Rekreative tiltag kan tænkes ind i designet, især hvis omløbet er beliggende i nærhed af byer.
Dobbeltprofil	Dobbeltprofilet vil fungere som buffer i tilfælde af høj afstrømning/vandstand i vandløbet, og kan bidrage til at mindske oversvømmelsen af værdifulde landbrugsjorder langs og nedstrøms vandløbet.	Virkemidlet er et forholdsvis stort indgreb, både vandløbsmæssigt og økonomisk, og vil kræve løbende vedligeholdelse for at opretholde sin effekt. Virkemidlet vil kræve et detaljeret kendskab til afstrømningsforholdene i vandløbet ved forskellige hændelser, således dobbeltprofilet kan dimensioneres korrekt.	Dobbeltprofilet giver en større hydrologisk og økologisk buffer langs vandløbet, og kan bidrage med en øget deponering af sediment og næringsstoffer ved høje afstrømninger. Virkemidlet kan også anvendes til klimasikring af byområder, hvor det kan kombineres med rekreative formål (vandrestier).

<p>Miniådal med genslyngning</p>	<p>En miniådal fungerer i princippet på samme måde som et dobbeltprofil, men vil omfatte en større del af de vandløbsnære arealer. Miniåda-len vil fungere som buffer i tilfælde af høj afstrømning/vandstand i vandløbet, og kan bidrage til at mindske oversvømmelsen af værdifulde landbrugsarealer langs og nedstrøms vandløbet.</p>	<p>Virkemidlet er et forholdsvis stort indgreb, både vandløbsmæssigt og økonomisk, og vil kræve løbende vedligeholdelse for at opretholde sin effekt. Virkemidlet vil kræve et detaljeret kendskab til afstrømningsforholdene i vandløbet ved forskellige hændelser, således vandløbs- og ådalsprofilen kan dimensioneres korrekt.</p>	<p>Miniådalen giver en større hydrologisk og økologisk buffer langs vandløbet, og kan bidrage med en øget deponering af sediment og næringsstoffer ved høje afstrømninger. Virkemidlet kan også anvendes til klimasikring af byområder, hvor det kan kombineres med rekreative formål (vandrestier).</p>
<p>Vådområder</p>	<p>Vådområder kan tjene en lang række formål i landskabet, som eksempelvis vandtilbageholdelse, næringsstoffjernelse, reduktion af CO₂-udledning og forbedrede natur- og vandløbsforhold.</p>	<p>Etableringen er ofte en langvarig proces og vil kræve en helhedsorienteret tiltag med inddragelse af en lang række interessenter (lodsejere, myndigheder, styrelser) og en grundig kortlægning af de hydrologiske og anlægsmæssige forhold og konsekvenser. Det vil være nødvendigt at inddrage arealer i hele ådalen. Dette medfører, at etableringen ofte forløber over flere år. Virkemidlet er omkostningstungt og det vil være nødvendigt at søge midler via eksisterende ordninger.</p>	<p>Vådområder kan skabe en sammenhæng i landskabet og kan bidrage med en lang række synergier inden for både natur, miljø, klima, landskab, landbrug og rekreative forhold. Vådområder kan bidrage til at mindske både den hydrauliske og næringsstoffmæssige belastning af vandløbsstrækninger og vandløbsnære arealer, herunder værdifulde landbrugsarealer, nedstrøms ådalen</p>
<p>Vandtilbageholdelse</p>	<p>Vandtilbageholdelse omfatter en kontrolleret og midlertidig tilbageholdelse og opmagasinering af vand - enten på arealer langs vandløb eller i oplandets lavninger. Vandtilbageholdelse bidrager til at reducere og drosle den vandmængde, der skal transporteres via vandløb ved ekstreme afstrømningshændelser.</p>	<p>Der skal laves frivillige aftaler med lodsejere. Midlertidig oversvømmelse af evt. eksisterende natur kan være udfordrende at få tilladelse til. Stor usikkerhed omkring, hvor ofte vandtilbageholdelse bliver nødvendigt. Flade terrænforhold giver ikke mulighed for anvendelse af dette virkemiddel.</p>	<p>Områder til vandtilbageholdelse som naturlige elementer i landskabet, eksempelvis i lavninger. Foruden en klimateffekt, kan vandtilbageholdelsesmagasiner også sikre vand til vandløb og markvanding i tørre sommerperioder.</p>
<p>Forvaltning af vandløb</p>	<p>Gennemgang af vandløbsregulativer og lovgivning kan være med til at sikre, at de afvandingsmæssige forpligtigelser bliver overholdt.</p>	<p>Gennemgang af de lovgivningsmæssige aspekter vil kræve en faglig indsigt og det vil ofte være nødvendigt at indgå samarbejde med rådgivere, for at kunne vurdere om lovgivningen bliver overholdt.</p>	<p>Der kan skabes en dialog og samarbejde med andre lodsejere og kommunen (offentligt vandløb) i forhold til forvaltning af vandløbet. F.eks. Gennem et vandløbslaug.</p>

Grubning	Enkelt løsning til gennembrydning af vandstandsende jordlag.	Kræver specialudstyr. Ofte vil der være behov for tilbagevendende behandling, hvis årsagen til dannelsen af det vandstandsende jordlag ikke håndteres. Grubning skal finde sted under helt tørre forhold, ellers risikerer man strukturskader og yderligere sammenpakning af jorden. Virkemidlet kan derfor ikke anvendes, når der reelt er brug for at afhjælpe en vandlidende jord. Kræver kendskab til eksisterende dræns placering og dybde, for at undgå skader i forbindelse med grubningen.	Virkemidlet kan sammentænkes med en række driftsmæssige tiltag, der sammen kan reducere risikoen for udvikling af et vandstandsende jordlag. Dette kan eksempelvis være et skifte til afgrøder med dybe og kraftige rødder, tilførsel af organisk materiale og reduceret kørsel/tryk på arealerne.
Forbedring af jordens infiltrationsevne og overflade-dræning	Mindsker risikoen for længerevarende perioder med vandlidende arealer ved at øge jordens infiltrationsevne og reducere tilsæmning af jordoverfladen.	Virkemidlet kræver ofte implementering af flere tiltag, og det kan være vanskeligt at vurdere de afledte effekter enkeltvis. Terrænregulering over 50 cm vil kræve tilladelse fra kommunen.	Tiltagene er lavpraktiske og omfatter terrænregulering (jordflytning/planering), der kan kombineres med andre tiltag (øget plantedække, undlade fjernelse af planterester).
Forbedring af jordstruktur	Bidrager til at øge jordens infiltrationsevne, men vil samtidigt kunne sikre fugtigere jordbundsforhold i tørreperioder.	Virkemidlet kræver ofte implementering af flere tiltag, og det kan være vanskeligt at vurdere de afledte effekter enkeltvis. Hvis det er nødvendigt at etablere grusskakter, kan dette blive anlægsmæssigt og økonomisk omfattende. Det er uvist, hvorvidt grusskakter vil kunne øge udvaskningen af pesticider.	Tiltagene er lavpraktiske og kan nemt kombineres (mindsket dæktryk/maskinpraksis og afgrødevalg). Kan skabe en selvforstærkende effekt, der på længere sigt kan forbedre jordstrukturen markant. Eksempelvis vil et øget plantedække og et øget organisk indhold i jorden skabe bedre forhold for jordbundsorganismerne, der igen vil sørge for nedbrydning, omsætning og strukturdannelse i jorden.
Nydræning, omdræning eller reparation og vedligeholdelse af dræn	Hurtig bortledning af vand, der er infiltreret fra jordoverfladen til ca. 1 - 1,2 meters dybde. Dræne sikrer også en effektiv afledning af evt. trykvand eller terrænnært grundvand.	Virkemidlet kræver nøje kendskab til drænsystemernes tilstand og placering, hvilket kan blive omfattende - både anlægsmæssigt og økonomisk, hvis det viser sig at være behov for nydræning af større arealer. Dette skal holdes op mod de konsekvenser, driftsmæssige som økonomiske, som de vandlidende arealer medfører. Dræne kræver frit udløb for at fungere optimalt og være selvrensende.	Med et kendskab til drænsystemers placering og tilstand vil virkemidlet være relativt enkelt at implementere - både hvis der er behov for nydræning eller hvis vedligeholdelse/reparationer er tilstrækkeligt.

Ændret maskinbrug	Forkorter tidsforbruget i marken, hvilket kan gøre driften mere fleksibel og mindre sårbar over for klimatiske forhold i kritiske perioder ift. landbrugsdriften.	Virkemidlet kræver nøje koordinering og potentielt markant øgede udgifter til anlæg, maskiner og personel. Sidstnævnte kan især være en udfordring i høstperioden.	Der findes forskellige løsninger, der kan tilpasses den enkelte landmands behov. Det er muligt at indgå samarbejde med andre landmænd, så de økonomiske udgifter reduceres.
Øget høstkapacitet	Forkorter tidsforbruget i marken, hvilket kan gøre driften mere fleksibel og mindre sårbar over for klimatiske forhold i perioden, hvor der høstes.	Virkemidlet kræver nøje koordinering og potentielt markant øgede udgifter til anlæg, maskiner og personel. Sidstnævnte kan især være en udfordring i høstperioden.	Der findes forskellige løsninger, der kan tilpasses den enkelte landmands behov. Det er muligt at indgå samarbejde med andre landmænd, så de økonomiske udgifter reduceres.
Øget tørringskapacitet	Øget tørrings- og lagerkapacitet kan bidrage til at mindske landmandens sårbarhed over for det vådere vejr og potentielt vådere afgrøder.	Virkemidlet kan være økonomisk tungt at implementere, og vil kræve nøje koordinering i forhold til høst, transport og opbevaring.	Der findes forskellige løsninger, der kan tilpasses den enkelte landmands behov. Det er muligt at indgå samarbejde med andre landmænd, så de økonomiske udgifter reduceres.

8 Litteraturoversigt

Referencer - Indledning

- Aslyng, H. C., 1970. Om afgrødernes vandforbrug og vandforsyning, *Tidsskrift for Landøkonomi*, 132 (s.467-478).
- Broge, N.H., Vognsen, K., Steffensen, F., Sonne, I.B., Sørensen, C.S., Knudsen, P., Greve, M.H., Lykke-Andersen, H., 2013. Kortlægning af områder med forøget sandsynlighed for landsænkning (No. 17), Technical Report Series.
- Belford, Robert K., Cannell, Robert Q., Thomson, Robert J., 1985., Effects of single and multiple waterloggings on the growth and yield of winter wheat on a clay soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740360304>
- Cappelen, J., 2018. Ekstrem nedbør i Danmark.
- Danmarks meteorologiske Institut, 2021a. Klimanormaler for Danmark [WWW Document]. URL <https://www.dmi.dk/vejarkiv/normaler-danmark/> (accessed 4.15.21).
- Danmarks meteorologiske Institut, 2021b. Data i Klimaatlas [WWW Document]. URL <https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-i-klimaatlas/?paramtype=prec&maptype=kom> (accessed 4.15.21).
- Danmarks meteorologiske Institut, 2020. Klimaatlas-rapport Danmark.
- Fejerskov, M.L., Alnøe, A.B., Kristensen, E.A., Jepsen, N., 2019. Virkemidler til forbedring af de fysiske forhold i vandløb, Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 341
- Gertz, F., Hvid, S.K., Nielsen, J.A., 2012. Landbrugets behov for afvanding og markvanding. *Vand & Jord* 19, 49–52.
- Huang Bingru, Johnson, J.W., NeSmith, D.S., Bridges, D.C., 1994. Root and shoot growth of wheat genotypes in response to hypoxia and subsequent resumption of aeration. *Crop Science* 34, 1538–1544. <https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183x003400060023x>
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Geneva, Switzerland.
- Jensen et al 2019
- Krvavica, N., Ružić, I., 2020. Assessment of sea-level rise impacts on salt-wedge intrusion in idealized and Neretva River Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 234, 106638. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106638>
- Ludwigsen, C.A., Khan, S.A., Andersen, O.B., Marzeion, B., 2020. Vertical Land Motion From Present-Day Deglaciation in the Wider Arctic. *Geophysical Research Letters* 47, 1–11.
- Marfeldt, B., 2011. Statsgeolog beroliger: Danmark hæver sig mere end havet [WWW Document]. *Ingeniøren*. URL <https://ing.dk/artikel/statsgeolog-beroliger-danmark-haever-sig-mere-end-havet-123289> (accessed 4.26.21).
- Shah, A.N., Tanveer, M., Shahzad, B., Yang, G., Fahad, S., Ali, S., Bukhari, M.A., Tung, S.A., Hafeez, A., Souliyanonh, B., 2017. Soil compaction effects on soil health and cropproductivity: an overview. *Environmental Science and Pollution Research* 24, 10056–10067. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8421-y>
- Skovgaard, H., Moeslund, B., Steensen Blicher, A., Larsen, H., Jacobsen, J., 2014. Klimarobuste virkemidler i vandplanerne.
- Stenak, M., 2004. At kontrollere væden - kulturteknik og afvanding 1750-1970, in: Hofmeister, E. (Ed.), *De Ferske Vandes Kulturhistorie i Danmark*. Aqua Ferskvands Akvarium, pp. 97–109.
- van Roosmalen, L., Christensen, B.S.B., Sonnenborg, T.O., 2007. Regional Differences in Climate Change Impacts on Groundwater and Stream Discharge in Denmark. *Vadose Zone Journal* 6, 554–571. <https://doi.org/10.2136/vzj2006.0093>

Referencer - Virkemidler i forbindelse med vandløb

- Aarhus Kommune, Silkeborg Kommune, Skanderborg Kommune, 2018. Regulativ for offentligt vandløb Lyngbygård Å.
- Andersen, U., 2012. Kunstig sø reddede Aarhus fra 600.000 m³ vand. Ingeniøren.
- Allan, J.D., Castillo, M.M., 2009. Stream Ecology, 2. ed. Springer.
- Bach, H., Baattrup-Pedersen, A., Holm, E.P., Jensen, P.N., Larsen, T., Ovesen, N.B., Petersen, M.L., Sand-Jensen, K., Styczen, M., 2016. Faglig udredning om grødeskæring i vandløb, Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.
- Barrat-Segretain, M.H., Bornette, G., 2000. Regeneration and colonization abilities of aquatic plant fragments: Effect of disturbance seasonality. *Hydrobiologia* 421, 31–39. <https://doi.org/10.1023/A:1003980927853>
- Buczyński, P., Zawal, A., Buczyńska, E., Stępień, E., Dąbkowski, P., Michoński, G., Szlauer-Lukaszewska, A., Pakulnicka, J., Stryjecki, R., Czachorowski, S., 2016. Early recolonization of a dredged lowland river by dragonflies (Insecta: Odonata). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 2016-Janua. <https://doi.org/10.1051/kmae/2016030>
- Buisson, R.S.K., Wade, P.M., Cathcart, R.L., Hemmings, S.M., Manning, C.J., Mayer, L., 2008. The Drainage Channel Biodiversity Manual: Integrating wildlife and flood risk management 1–195.
- Camnasio, E., Becciu, G., 2011. Evaluation of the Feasibility of Irrigation Storage in a Flood Detention Pond in an Agricultural Catchment in Northern Italy. *Water Resources Management* 25, 1489–1508. <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9756-z>
- Climate-ADAPT, 2021. Room for the river Waal - Protecting the city of Nijmegen [WWW Document]. URL https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/room-for-the-river-waal-2013-protecting-the-city-of-nijmegen/#solutions_anchor (accessed 4.29.21).
- Fejerskov, M.L., Alnøe, A.B., Kristensen, E.A., Jepsen, N., 2019. Virkemidler til forbedring af de fysiske forhold i vandløb, Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 341.
- Kristensen, E.A., Baattrup-Pedersen, A., Friberg, N., Jensen, P.N., 2011. Vurdering af alternative virkemidler til ændret vandløbsvedligeholdelse med henblik på forbedring af de fysiske forhold: beskrivelse og pris-sætning.
- Kronvang, B., Græsbøll, P., Svendsen, L.M., Friberg, N., Hald, A.B., Kjellson, G., Nielsen, M.B., Petersen, B.D., Ottosen, O., 1994. Restaurering af Gels å ved Bevtoft: Miljømæssig effekt i vandløb og de vandløbsnære arealer (No. 110), Faglig rapport fra DMU.
- Miljøstyrelsen, 2021. Næstved Kommune - Anlæggelse af klimasøer og genslyngning af Ellebækken [WWW Document]. URL <https://www.klimatilpasning.dk/sektoer/natur/synergiprojekter/naestved-kommune-anlaeggelse-af-klimasoeer-og-genslyngning-af-ellebaekken/> (accessed 5.4.21).
- Miljøstyrelsen, 2016. Grødeskæringsvejledning. Vejledning om grødeskæring i danske vandløb.
- Moeslund, B., Schlünzen, K., Lønborg, M.J., 2013. Klimatilpasning af vandløb Norddjurs Kommune Klimatilpasning af vandløb
- Nicholson AR, O'Donnell GM, Wilkinson ME, Quinn PF. The potential of runoff attenuation features as a Natural Flood Management approach. *J Flood Risk Management*. 2020;13 (Suppl. 1):e12565. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12565>
- Nørgaard, L.B., 2020a. Forundersøgelse af Gerå's hydrologiske opland 15.
- Nørgaard, L.B., 2020b. Modelanalyse af virkemidlers effekt i forhold til forbedret afvanding i Gerå.
- Omelchuk, O., Prots, B., 2014. Effects of River Regulation on Plant Dispersal and Vegetation. *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research* 16, 145–154. <https://doi.org/10.1515/trser-2015-0009>
- Paradis, A., Biron, P.M., 2017. Integrating hydrogeomorphological concepts in management approaches of lowland agricultural streams: Perspectives, problems and prospects based on case studies in Quebec. *Canadian Water Resources Journal* 42, 54–69. <https://doi.org/10.1080/07011784.2016.1163241>
- Quinn, P., O'Donnell, G., Nicholson, A., Wilkinson, M., Owen, G., Jonczyk, J., Barber, N., Hardwick, M., Davies, G., 2013. Potential use of runoff attenuation features in small rural catchments for flood mitigation. NFM RAF Report.

- Rothenborg, M., 2021. Grødeskæring i vandløb og søer kan ske mere skånsomt med pincet [WWW Document]. WaterTech PRO. URL <https://pro.ing.dk/watertech/article/groedeskaering-i-vandloeb-og-soeer-kan-ske-mere-skaansomt-med-pincet-12260> (accessed 3.16.21).
- Simonsen, J.K., Baattrup-pedersen, A., Larsen, S.E., Ovesen, N.B., 2016. Grødeskæring og vandstand i danske vandløb. *Aktuel Naturvidenskab* 2, 8–12.
- Skovgaard, H., Moeslund, B., Steensen Blicher, A., Larsen, H., Jacobsen, J., 2014. Klimarobuste virkemidler i vandplanerne.
- Stępień, E., Zawal, A., Buczyński, P., Buczyńska, E., Szenejko, M., 2019. Effects of dredging on the vegetation in a small lowland river. *PeerJ* 2019, 1–25. <https://doi.org/10.7717/peerj.6282>
- Wiborg, I., Kronvang, B., Poulsen, J.B., Børgesen, C.D., Henriksen, H.J., Jensen, K.M., Jacobsen, T.V., 2014. Landmanden som vandforvalter.
- WSP, 2021. Vandportalen [WWW Document]. URL <https://vandportalen.dk/> (accessed 5.3.21).

Referencer - Virkemidler på vandlidende højbundsjord

- Boyle, M., Frankenberger, W.T., Stolzy, L.H., 1989. The Influence of Organic Matter on Soil Aggregation and Water Infiltration. *Journal of Production Agriculture* 2, 290–299. <https://doi.org/10.2134/jpa1989.0290>
- Brady, N.C., Weil, R., 2014. *Elements of the Nature and Properties of Soils*. Pearson.
- Breuning-Madsen, H., Balstrøm, T., Greve, M.H., Jensen, N., 2013. Jordbundsudvikling i danske landskaber. *Geoviden - Geologi og geografi* 2–5.
- Breuning-Madsen, H., Krogh, L., 2005. *Kompendium i jordbundsgeografi* Henrik Breuning-Madsen & Lars Krogh.
- Chen, G., Weil, R.R., Hill, R.L., 2014. Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. *Soil and Tillage Research* 136, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.09.004>
- Fausey, N.R., Taylor, G.S., Schwab, G.O., 1986. Subsurface Drainage Studies in a Fine Textured Soil With Impaired Permeability. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 29, 1650–1653. <https://doi.org/10.13031/2013.30367>
- Filsø, S.S., 2014. Dræning og oversigt over drænmetoder og drænmaterialer [WWW Document]. URL https://www.landbrugsinfo.dk/basis/e/e/9/vanding_draining_oversigt_over_dranmetoder_og_dranmaterialer (accessed 9.1.21).
- Fortuna, A.-M., 2012. The Soil Biota. *Nature Education Knowledge* 3, 1.
- Franzluebbers, A.J., 2002. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research* 66, 197–205. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00027-2)
- Hamza, M.A., Anderson, W.K., 2005. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 82, 121–145. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2004.08.009>
- Hao, X., Ball, C.B.C., Culley, J.L.B., Carter, M.R., Parkin, G.W., 2008. Chapter 57 Soil Density and Porosity. *Soil sampling and methods of analysis* 743–759.
- Hill, K., Hodgkinson, R., Harris, D., Price, P.N., 2018. *Field drainage guide*.
- Jørgensen, M.H., Lund, H., Nielsen, S., 2004. *Teknik til jordløsning: Analyse af grubberens arbejde i jorden*. Grøn Viden Markbrug.
- Kronvang, B., Rubæk, G.H., Djurhuus, J., Heckrath, G., Hoffmann, C.C., Grant, R., 2005. 3.4 Monitoring og estimering af fosfortab fra danske landbrugsarealer, in: Poulsen, H.D., Rubæk, G.H. (Eds.), *Fosfor i Dansk Landbrug. Omsætning, Tab Og Virkemidler Mod Tab*. DJF Rapport Nr. 68. pp. 102–123.
- Löfkvist, J., 2005. *Modifying Soil Structure Using Plant Roots*, *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*.
- Maag, M., Vinther, F.P., 1996. Nitrous oxide emission by nitrification and denitrification in different soil types and at different soil moisture contents and temperatures. *Applied Soil Ecology* 4, 5–14.
- McHugh, A.D., Tullberg, J.N., Freebairn, D.M., 2009. Controlled traffic farming restores soil structure. *Soil and Tillage Research* 104, 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.10.010>

- Messing, I., Wesström, I., 2006. Efficiency of old tile drain systems in soils with high clay content: Differences in the trench backfill zone versus the zone midway between trenches. *Irrigation and Drainage* 55, 523–531. <https://doi.org/10.1002/ird.277>
- Mulin, J., 1993. Chapter 5: Soil crusting and sealing, in: FAO (Ed.), *Soil Tillage in Africa: Needs and Challenges*. FAO
- Nielsen, J.A., 2014. Dræning, in: Pedersen, J.B. (Ed.), *Oversigt over Landsforsøgene 2014*. Videnscentret for Landbrug.
- Nielsen, J.A., 2015a. Dræning, in: Pedersen, J.B. (Ed.), *Oversigt over Landsforsøgene 2015*. SEGES.
- Nygaard, E., 2004. Særligt pesticidfølsomme sandområder: Forudsætninger og metoder for zonerings. Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Danmarks JordbrugsForskning.
- Pan, R., Martinez, A. da S., Brito, T.S., Seidel, E.P., 2018. Processes of Soil Infiltration and Water Retention and Strategies to Increase Their Capacity. *Journal of Experimental Agriculture International* 20, 1–14. <https://doi.org/10.9734/jeai/2018/39132>
- Pulido-Moncada, M., Katuwal, S., Kristensen, J.B., Munkholm, L.J., 2021. Effects of bio-subsoilers on subsoil pore-system functionality: Case study with intact soil columns. *Geoderma* 385, 114897. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2020.114897>
- Raper, R.L., Sharma, A.K., 2002. Using Soil Moisture to Determine When to Subsoil, in: van Santen, E. (Ed.), *Making Conservation Tillage Conventional: Building a Future on 25 Years of Research*. Proc. of 25th Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture.
- Schjønning, P., Elmholt, S., Munkholm, L.J., Deboz, K., 2002. Soil quality aspects of humid sandy loams as influenced by organic and conventional long-term management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88, 195–214.
- Schjønning, P., Heckrath, G., Christensen, B.T., 2009. Threats to soil quality in Denmark, DJF report Plant Science. Bennetzen, E.H., 2016. Dræning, in: Pedersen, J.B. (Ed.), *Oversigt over Landsforsøgene 2016*. SEGES.
- Stirzaker, R.J., White, I., 1995. Amelioration of soil compaction by a cover-crop for no-tillage lettuce production. *Australian Journal of Agricultural Research* 46, 553–568. <https://doi.org/10.1071/AR9950553>
- Williams, S.M., Weil, R.R., 2004. Crop Cover Root Channels May Alleviate Soil Compaction Effects on Soybean Crop. *Soil Science Society of America Journal* 68, 1403–1409. <https://doi.org/10.2136/SSSAJ2004.1403>

Referencer - Det vådere vejr på markfladen

- Lyngvig, H. S. 2020a. Sådan minimerer vi jordbelastningen fra vores store markmaskiner – nu og her! Og hvad koster det? PowerPoint show, d. 15/01/2020. SEGES.
- Lyngvig, H. S. 2020b. Minimer jordpakning i høsten. Artikel d. 11/07/2020. Landbrugsinfo, SEGES Innovation. https://www.landbrugsinfo.dk/public/4/e/f/bygninger_maskiner_minimer_jordpakning_host.
- Lyngvig, H. S., 2020c. Sådan tørrer du kornet. Artikel d. 25/03/2020. Landbrugsinfo, SEGES Innovation.
- Terranimo. 2022. <https://www.terranimo.dk/Default.aspx>. Version 3.0, d. 15/03/2022. Aarhus Universitet.
- Vestergaard, A. V., Fabricius, C., & Lyngvig, H. S. 2020. Etableringsplan for vårsæd i våd lerjord. Artikel d. 23/03/2020. Landbrugsinfo, SEGES Innovation. https://www.landbrugsinfo.dk/basis/4/7/4/godskning_etableringsplan_varsad_vad_lerjord.