

# Litteraturstudie af udvalgte virkemidler til forbedrede forhold på vandlidende landbrugsjorder

Effekt på afvanding, biodiversitet, næringsstof- og klimabelastning

*Ditte Olsen & Thøger Nisbeth Henriksen, Plante- & Miljøinnovation, SEGES*

## Indhold

1	Formål .....	4
2	Indledning .....	4
2.1	Historisk udvikling og fremskrivning .....	4
2.2	Konsekvenser af øget nedbørsmængde på grundvandsstanden .....	6
2.3	Dræning af land og kanalisering af vandløb .....	6
2.4	Stigninger i havvandstanden .....	7
2.5	Konsekvenser ved vandlidende jorder .....	8
3	Virkemidler i og langs vandløb .....	8
3.1	Ændret vandløbsvedligeholdelse .....	8
3.1.1	Ændret grødeskæringspraksis.....	8
3.1.2	Ændret oprensningspraksis .....	9
3.1.3	Brinkslåning .....	10
3.2	Genslyngning af vandløb .....	10
3.3	Omløb/bypass .....	11
3.4	Etablering af dobbeltprofil i vandløb .....	11
3.5	Etablering af miniådal med genslyngning .....	12
3.6	Restaurering af ådale og etablering af vådområder .....	13
3.7	Reduktion af hydraulisk belastning (eg. Vandparkering / klimasøer) .....	14
4	Virkemidler på vandlidende højbundslande .....	15
4.1	Vand fra oven: Nedbør .....	15
4.1.1	Vandstandsede jordlag .....	15
4.1.2	Tilslæmmet jordoverflade .....	16
4.1.3	Dårlig jordstruktur .....	18
4.1.4	Mangelfuld dræning .....	20
4.2	Vand fra neden: Vandlidende jord i dybden .....	23
4.2.1	Højt grundvandsspejl .....	23
4.2.2	Trykvand .....	23
4.2.3	Stigende vandstand i vandløb .....	24
5	Det vådere vejr på markfladen .....	26
5.1	Ændret maskinbrug .....	26
5.2	Høstkapacitet .....	27
5.3	Tørringskapacitet .....	28
6	Litteratur .....	29



## 1 Formål

Efteråret og vinteren 2019/2020 var ekstremt våde. Det betød, at mange landmænd havde store problemer med vandlidende og oversvømmede marker. Både på kyst- og vandløbsnære landbrugsjorder, men også på højbundsgrunde hvor lavninger var vandfyldte. Samtidig gjorde det våde vejr og de mange nedbørsdage, at flere landmænd havde problemer med at få høstet og efterfølgende sået vinterafgrøder. De våde og vandlidende marker har stor, negativ konsekvens for landmanden. Samtidig påvirker det også landbrugets belastning på miljøet og klimaet negativt, da næringsstoffer udvaskes til vandløbene som suspenderet materiale og udledning af lattergas øges i de vådlagte lavninger på markfladen (Elberling, 2019).

Da fremtiden forventes at byde på endnu mere nedbør, flere ekstreme hændelser og et ændret nedbørsmønster på grund af klimaforandringer, er der behov for, at der udvikles og implementeres klimatilpasningsløsninger, som kan sikre, at dyrkningsmæssigt værdifulde landbrugsjorder ikke oversvømmes eller bliver vandlidende. Disse løsninger skal tage hensyn til hele vandløbsområdet og de forventede effekter af klimaforandringerne, hvis de for alvor skal kunne løse udfordringerne. Samtidig skal de tage hensyn til arealanvendelsen og øvrige interesser – herunder både dræning, afvanding, natur og miljø. Den samlede klimatilpasningsløsning skal rumme en lang række af forskellige virkemidler i relation til både markfladen og vandløbet.

For at komme i gang med den helhedsorienterede planlægning og implementering af løsninger, er der behov for at afdække fordele og ulemper ved allerede kendte virkemidler på markfladen og i vandløbet.

Formålet med denne rapport er at afdække virkemidler til at sikre optimal produktion på dyrkningsmæssigt værdifulde landbrugsjorder. Virkemidlerne i denne rapport er tiltænkt et eller flere af de tre følgende indsatsområder:

1. Kyst- og vandløbsnære arealer. Disse vil blive påvirket af både stigende grundvand- og havvandsstand samt stigende vandmængder i vandløbene.
2. Højbundsgrunde. Disse kan blive vandlidende, bl.a. på grund af vandstandsende lag tæt på terræn og hængende sekundært grundvandsspejl i kombination med stigende nedbørsmængder.
3. Det våde vejr og udviklingen i klimaet (inklusive geografiske variation), som påvirker antallet af arbejdsdage til såning, høst, jordbearbejdning mv.

## 2 Indledning

### 2.1 Historisk udvikling og fremskrivning

De seneste 60 år er der sket en ændring i det danske klima med stigende nedbørsmængder og hyppigere ekstreme regnhændelser. Dette medfører at vandløbene skal håndtere mere vand og større afstrømningshændelser, end de regulativmæssige bestemmelser er dimensioneret efter.

I perioden 1874, hvor DMI begyndte at måle nedbørsmængder, til 2017 er den årlige nedbørsmængde i gennemsnit steget med 100 mm (Cappelen, 2018). Ifølge klimatiske fremskrivninger forventes den hidtidige stigning i årsnedbøren at fortsætte. Ændringer i klimanormalerne i Danmark fremgår af Tabel 1 for tre perioder. Heraf ses at landsgennemsnittet for den årlige nedbør er steget med 80 mm i perioden 2006-2015 sammenlignet med perioden 1961-1990. Det fremgår ligeledes at antallet af nedbørsdøgn med nedbør er steget uanset grupperingen af nedbørsmængder.

Fremskrivninger af klimaet fremgår af Tabel 2, for midten og slutningen af indeværende århundrede. Af tabellen ses det at nedbørsmængderne i forhold til referenceperioden vil stige med 14% i slutningen af dette århundrede, ligeledes vil antallet af døgn med nedbør over 20mm stige med 61%. Det fremgår, som i Tabel 1, at stigningen i både nedbørsmængde og nedbørsdøgn er stigende uanset gruppering og tidsinddeling.

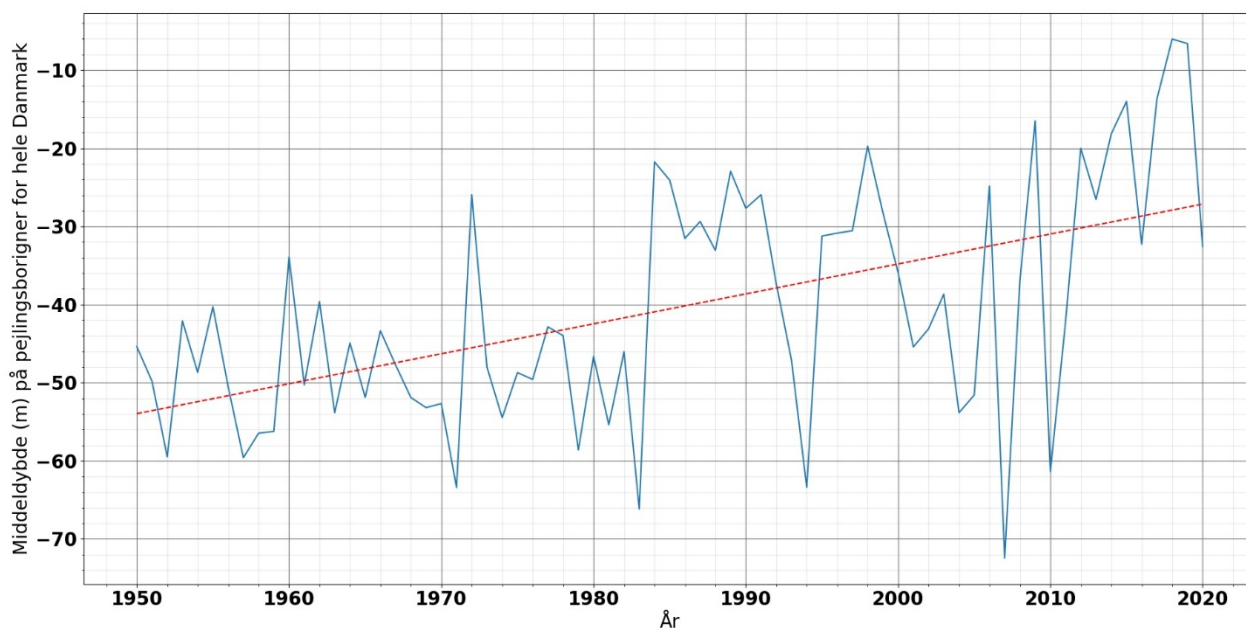
Prognoserne fra DMI antyder, at nedbørsmængden i sommerhalvåret ikke vil øges, men i højere grad falde som kraftige byger. Det antydes ligeledes at vinternedbøren stiger med omtrent 25%, og nedbøren primært vil falde som regn, grundet en stigning i den landsgennemsnitlige temperatur på 3,4°C (Danmarks meteorologiske Institut, 2020). Effekten af klimaforandringerne varierer stedsligt i Danmark (van Roosmalen et al., 2007). I denne rapport behandles de klimatiske ændringer som værende generelle for hele landet.

*Tablet 2.1 Oversigt over udvalgte parametre fordelt på klimanormaler i Danmark. Nedre og øvre percentiler for fremtids-scenarierne (RCP8.5) er angivet i parentes (Danmarks meteorologiske Institut, 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

*Tablet 2.2 oversigt over fremskrivning af klimatiske udvalgte parametre under RCP8.5-scenarium, De procentvise ændringer fra referencetilstanden er angivet i parentes (Danmarks meteorologiske Institut, 2021b).*

Parameter	Reference (1981-2010)	2041-2070	2071-2100
Gennemsnitsnedbør (mm/døgn)	2,03	2,17 (6,56%)	2,31 (13,75%)
Maksimal døgnsnedbør (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 <sup>2</sup> )	117,18	114,67 (-2,09%)	113,03 (-3,40%)



Figur 2.1 Middeldybde til det øverste grundvand. Kilde: Jupiter-databasen (GEUS, 2021).

## 2.2 Konsekvenser af øget nedbørsmængde på grundvandsstanden

Størstedelen af den nedbør, der ikke fordamper til atmosfæren nedsiver til grundvandet. Nedsivningsmængden varierer over året, da fordampningen fra planter afhænger af vækstsæsonen. Den uabsorberede nedbør vil nedsive til den øverste mættede zone i jorden og indgå som en del af den hydrologiske cyklus. Opholdstiden i grundvandet afhænger af recipienten og kan variere fra få dage, til op mod 1000 år, ved udsvivning til havet (Appelo and Postma, 2005; Geocenter Danmark, 2019).

Den øgede nedbørsmængde fra 1874 til i dag medfører en øget nedsivning af vand til grundvandsmagasinerne. Det ses af Figur 1, at den gennemsnitlige grundvandsdybde i hele landet, er steget omtrent 20m i perioden 1950 til 2020. Med de forventede nedbørsstigninger kan det forventes, at udfordringerne forbundet med terrænnært grundvand på markarealer vil være stigende.

## 2.3 Dræning af land og kanalisering af vandløb

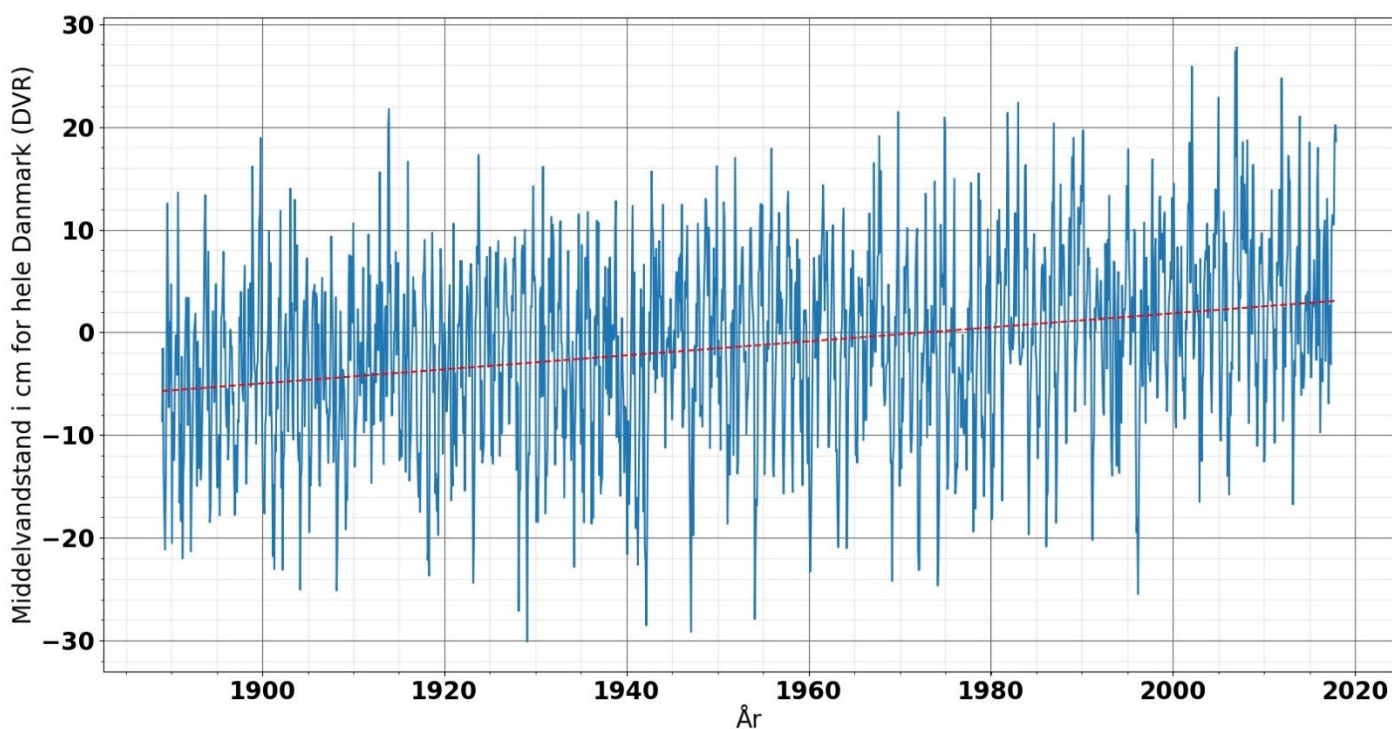
Landskabet i Danmark har igennem de sidste 150 år gennemgået en stor forandring. Oprindeligt var her et vådt landskab med mange små søer, åer og våde områder (Knudsen, 2004).

Under den industrielle revolution i Danmark steg behovet for at kontrollere vandets bevægelser i det åbne landskab (Bavnshøj, 2004). For at øge afvandingsvejen, blev mange danske vandløb kanaliseret fra anden halvdel af 1800-tallet og frem til anden halvdel af 1900-tallet. I dag anslås det, at 50 procent af de danske marker er drænet (Gertz et al., 2012).

Sidenhen er der sket et skift i vandløbsforvaltningen fra at have fokus på afvanding. Nu skal både afvandingsmæssige og miljømæssige interesser skal afvejes i vandløbsforvaltningen (Stenak, 2004).

Med vandrammedirektivets krav om opnåelse af god økologisk tilstand i de danske vandløb er der iværksat flere vandløbsrestaureringsprojekter, der har ført til ændringer i vedligeholdelsen og skikkelsen af det enkelte vandløb.

Formålet med restaureringerne er ofte, at føre vandløbet til en tilstand, der er mere naturlig og minder om vandløbets tilstand, før kanaliseringen fandt sted. Restaureringstiltag fører ofte til et hævet vandspejl og ringere vandføringsevne i vandløbet (Fejerskov et al., 2019; Skovgaard et al., 2014). Ændret



Figur 2.2 Middelvandstand for hele Danmark i perioden 1889-2017, data er ikke korrigeret for landhævning. Kilde Hansen, 2018.

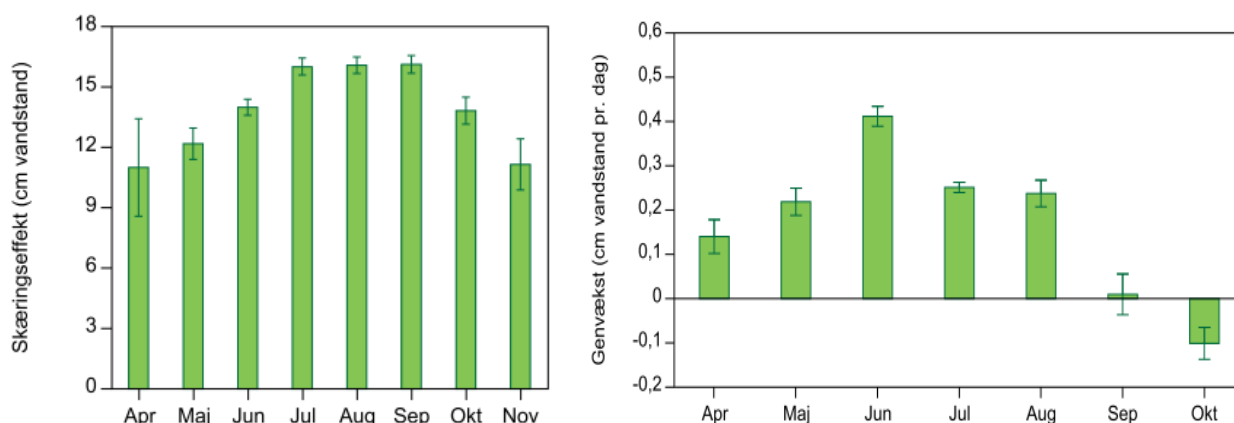
vandløbsvedligeholdelse kan have konsekvenser for arealer, der grænser op til vandløbet. Oversvømmelser på de vandløbsnære arealer har ofte stor økonomisk betydning for landmanden enten i form af tabt udbytte, merudgift til afledning af vandet, eller begge.

## 2.4 Stigninger i havvandstanden

Temperaturstigninger som en del af klimaforandringer har ledt til en øget afsmeltning af havis. Særligt omkring polerne er temperaturstigningerne højest (IPCC, 2014). Den hidtidige temperaturstigning har ført til en global vandstandsstigning i havene på 7 cm i perioden 1993-2012. Ved at observere alle tilgængelige vandstandsmålinger for Danmark fra DMI's 14 målestationer, kan det ses af Figur 2, at den gennemsnitlige vandstand for hele landet er steget med omtrent 8 cm i perioden 1889 til 2017. Grafen på Figur 2 er ikke korrigeret for landhævningen af Danmark eller lokale sætninger i undergrunden som følge af grundvandsoppumpning og skal derfor kun anses som en vejledende figur, der visualiserer den nyeste IPCC-rapport (Broge et al., 2013; Ludwigsen et al., 2020; Marfeldt, 2011).

Den primære årsag til vandstandsstigningerne er afsmeltning af indlandsis og gletsjere over hele kloden (IPCC, 2014). Da verdenshavene udgør 97% af klodens vandvolumen er ændringer i den globale vandstand en gradvis proces, der styres af den globale temperatur (Appelo and Postma, 2005). Det forventes at stigningen i havvandstanden vil øges i slutningen af indeværende århundrede. I Danmark vil vandstandsstigningerne ikke være ens, da landhævningen i Danmark varierer over en gradient fra syd/vest- til nord/øst-Danmark med landhævning på 0,3 mm/år i det vestlige Sønderjylland til 2mm/år i Skagen (Sørensen, 2021).

Ændringen i den danske middelvandstand forventes at stige med 60cm ved udgangen af dette århundrede (Olesen et al., 2014). En stigning på dette niveau vil medføre en betydelig risiko for kraftig opstuvning i de nedre løb af vandløb med ringe fald (Krvavica and Ružić, 2020).



Figur 2.3 A. Grødeskæringseffekt som gennemsnitligt fald i vandstand. B: Planternes genvækst efter afbildet som vandstandsstigning pr. dag imellem skæringer eller efter 3 uger af sidste grødeskæring fra Simonsen et al. 2016.

## 2.5 Konsekvenser ved vandlidende jorder

Landbrugsjorder med et højt grundvandsspejl er i risiko for i korte eller lange perioder at blive vandmættede. Vandmættede jorder kaldes også vandlidende, og har en række konsekvenser for den enkelte bedrift. Herunder kan nævnes:

- **Mindsket periode for markarbejde**  
Jorder der er vandmættede har en forringet bæreevne, der kan gøre jorden ufarbar for tunge landbrugsmaskiner. Dette kan forsinke tidspunktet for såning, hvorved vækstsæsonen forkortes og landmanden risikerer et udbyttetab.
- **Øget risiko for strukturskader.**  
Med jordens forringede bæreevne opstår en risiko for komprimering af jorden og derved midlertidige eller permanente markskader. Komprimeret jord medfører yderligere en dårligere afvanding (Shah et al., 2017). Dette medfører yderligere risiko for vandmætning af jorden.
- **Ringere vækst**

I en analyse (Herzog et al., 2016), blev det vist, at udbyttet af hvede blev reduceret med 57% på vandmættet jord i forhold til hvede dyrket på veldrænede jorder. Dette skyldes bla, at iltindholdet i den vandmættede jord er lavt, hvilket medfører hypoxi i rødderne. Hypoxi i rødderne kan føre til begrænset roddybde og rodvækst (Huang Bingru et al., 1994). Den begrænsede rodudvikling vil føre til en afgrøde, der er mere følsom overfor tørke senere i vækstsæsonen.

## 3 Virkemidler i og langs vandløb

### 3.1 Ændret vandløbsvedligeholdelse

Vedligeholdelsen af de offentlige vandløb er beskrevet i de enkelte vandløbs regulativ. Vandløbsregulativene danner det grundlag for det enkelte vandløbs vedligehold, udformning og vandføringsevne i vandløbet. I vandløbsregulativet står også beskrevet hvordan kommunen skal opretholde den tilstand. Beskrivelsen er udarbejdet i et forsøg på at tilgodese både de miljø- og afvandingsmæssige interesser i vandløbets opland. Vandløbsvedligeholdelse sker primært gennem grødeskæring eller ved oprensning af vandløbsbunden.

#### 3.1.1 Ændret grødeskæringspraksis

I vandløbsregulativene står grødeskæringens forløb og omfang beskrevet. I regulativet for Lyngbygård Å står det eksempelvis beskrevet, at der, hvor muligt, skal skæres grøde manuelt og skæringsforløbet skal være i en eller flere strømrander der bibeholdes grødedøer 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 alt efter vandløbets størrelse. Målet med grødeskæring er at sænke vandspejlet ved at fjerne plantemateriale fra vandløbet, ind i mellem også nedhængende vegetation fra brinken. Ved at fjerne biomasse gøres plads til en større vandgennemstrømning, hvilket får vandstanden i vandløbet til at falde. Effekten af grødeskæring er dog betinget af bl.a. artssammensætning i vandløbet, tidspunkt og hyppighed for grødeskæringen. På grund af det lave lysindfald i vinterhalvåret, hvor grøden ofte er bortvisnet eller overvintrer i rodnettet, vil grødeskæring ofte ikke have en effekt på vandstanden i denne periode, da (Allan and Castillo, 2009).

Effekten af grødeskæring som virkemiddel påvirkes derfor bl.a. hvornår grødeskæringen foregår. Data fra 126 danske målestationer analyseret af Simonsen et al., 2016 viser at grødeskæringens gennemsnitlige effekt på vandstanden er højest i perioden juli-september, at grødens genvækst efter grødeskæring er højest i juni måned og falder til oktober (Se Figur 3). Tendenser viser, at grødeskæringens effekt er størst i vandløb med lavt fald, med en dybde på omtrent 1 meter og en høj konstant vandføring (Bach et al., 2016).

Grødeskæring ændrer artssammensætningen i vandløbet, idet forstyrrelsen skaber bedre vækstbetingelser for planter med vækstpunkter nede ved rødderne. Blandt de mest almindeligt forekommende arter har enkelt- og grenet pindsvineknop begge basale vækstpunkter, hvorimod arter som vandstjerne, vandaks og vandranke alle tre har vækstpunkter i spidsen af planten. Ved hyppig grødeskæring risikerer man dermed at favorisere de arter, der har en hurtig genvækst fra rodzonen (Simonsen et al., 2016). Nogle planter, herunder Enkelt pindsvineknop (*Sparaginum erectum*), er tilpasset vandløb med høje forstyrrelsesniveauer. Hos Enkelt pindsvineknop kan fragmenter af særligt plantens stængel, men også dens rodnet kolonisere nye områder efter en grødeskæring (Barrat-Segretain and Bornette, 2000).

Ved selektiv grødeskæring efter grøde med basalt vækstpunkt, herunder enkelt- og grenet pindsvineknop, og amfibiske planter i vandløbet kan vandløbsmodstanden muligvis sænkes og effekten på Dansk vandplanteindeks (DVPI) kan være begrænset (Bach et al., 2016). Et muligt indgreb, foruden manuel grødeskæring kan være brugen af en grødepincet, der er effektiv overfor amfibiske planter med biomasse over vandfladen (Rotherborg, 2021).

Med de ændrede vejrforhold med hyppigere og kraftigere nedbør, øgede temperaturer og flere solskinstimer kan det antages at grødevæksten fremadrettet vil udgøre en stigende faktor i forhold til vandstandsstigninger ved skybrud i sommerhalvåret og potentielt som overvintrende grøde i vinterhalvåret. Med det fremtidigt klima, hvor sommernedbøren bliver karakteriseret som korte og kraftige hændelser kan et varslingsystem muligvis benyttes til at iværksætte en hurtig og lokal indsats. Indsatsen bør baseres på eksisterende viden om vandløbets beskaffenhed og respons på grødeskæring.

Effekten og varigheden af grødeskæring på vandløb varierer betydeligt alt efter de vejrmæssige forhold i den pågældende vækstsæson, samt hvor i landet vandløbet ligger. Effekten af grødeskæring er højest i Nord- og Vestjylland. Her anslås det fx af at et ophør af grødeskæring i det nedre løb af Lindensborg å vil afstedkomme en vandspejlsstigning på omkring 1 meter. Herimod havde ophør af grødeskæring i Havelse å i 2014 næsten ingen effekt på vandstanden (Bach et al., 2016). Den vandstandssænkende effekt af grødeskæring blev af (Simonsen et al., 2016) estimeret til at være omkring 22 dage. Effekten af en enkelt grødeskæring er kun lokal og har ikke en effekt på oplandsniveau.

### **3.1.2 Ændret oprensingspraksis**

Ved oprensning af vandløb fjernes aflejret sediment, vegetation og andre fysiske elementer fra vandløbsbunden. Dette gøres for bl.a. at sikre de fysiske dimensioner i vandløbet overholder den fastlagte skikkelse som angivet i vandløbets regulativ og dermed sikrer en bestemt vandstand eller vandføringsevne.

Når vandløbet oprenses, vil den modstand vandet møder, fra bl.a. vegetation og bunden, blive reduceret. Det fører til en sænkning af vandstanden og øget hastighed af vandets bevægelse. Lokal oprensning af

vandløbsbunden kan dog være uden effekt hvis årsagen til en øget vandstand findes længere nedstrøms i vandløbssystemet, i sådanne tilfælde vil vandets hastighed blot nedsættes og vandføringen være uforandret (Kristensen et al., 2011).

Effekten af oprensning på vandløbets biologiske og fysiske forholdt er stor da vandløbet som habitat ændres drastisk og 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).

For plantesamfundene kan der ske et skift til såkaldte pionerarter (Stępień et al., 2019). Sammenligninger mellem uregulerede og regulerede danske vandløb viser et fald i diversiteten af arter. Den art der dominerer i de regulerede vandløb er Enkelt pindsvineknop (*Sparaginum emersum*). Ved regulering af vandløb forringes plantesamfundenes spredningsevne og modstandsdygtigheden mod invasive arter mindskes ligeledes (Omelchuk and Prots, 2014; Stępień et al., 2019).

Effekten af oprensning af vandløb er tidsbegrænset, da oprensningen ikke fjerner kilden til hævnningen af vandløbsbunden, blot symptomet. Effekten af oprensning er velkendt, da vandløbets skikkelse føres tilbage til en allerede defineret skikkelse i vandløbsregulativet. Oprensning af vandløbet er lokal 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, der ofte angiver hvornår og hvor ofte tiltaget må benyttes.

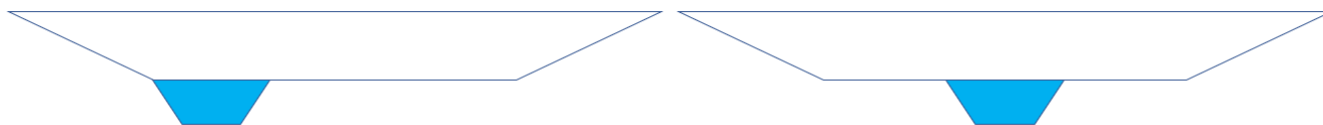
## **3.2 Genslyngning af vandløb**

Genslyngning af et vandløb er et stort indgreb i vandsystemet, der tilbagefører vandløbet nærmere det oprindelige forløb før udretning og udgravning. De hyppigste fysiske ændringer er, foruden en længere vandløbsstrækning, en hævelse af vandløbsbunden, et mindsket fald og mindsket hældning på brinkerne. Herved kommer vandløbet i større kontakt med den omkringliggende ådal.

Ved genslyngning af et vandløb forlænges vandets vej fra kilde til hav og vandhastigheden sænkes. Begge elementer vil i samspil med en hævnning af vandløbsbunden få vandspejlet til at hæve sig og niveauforskellen mellem vandspejl og de omkringliggende jorder mindskes. Hævnningen af vandspejlet fører derfor ofte til at nærliggende arealer bliver vådere gennem den formindskede magasinkapacitet i vandløbet.

Ved at kombinere en genslyngning af et vandløb med reetablering af den omkringliggende ådals naturlige hydrologi kan området agere som et forsinkelsesbassin ved f.eks. kraftig sommerregn, såfremt denne placeres korrekt i vandløbets opland. Derved kan vandstandsstigninger mindskes på værdifulde landbrugsjorder nedstrøms den genslyngede strækning.

Ved genslyngningen af Gels å i 1989 blev den restaurerede vandløbsstrækning forlænget med 490 meter og antallet af mæanderbuer steg fra 0 til 16 (Kronvang et al., 1994). Restaureringens effekt på vandføringsevnen kom til udtryk ved et lavere Manningtal (strømningsmodstand) efter den fuldendte restaurering. En



Figur 3.1 Skitsering af hhv. ensidet og tosidet dobbeltprofil.

efterfølgende indvandring af grøde til strækningen medvirkede til, at de lavest liggende arealer oversvømmes ca. to gange årligt, hvor der før restaurering ikke forekom oversvømmelser. De periodevise oversvømmelser af brede zonen kan agere som stødpuder mod nedstrømsliggende arealer.

For at genslyngning skal være et effektivt virkemiddel kræver det grundige undersøgelser af både vandløbet og det omgivende areals karakteristika. Effekten af genslyngningen af et vandløb kan afhjælpe oversvømmelsesrisici nedstrøms den genslyngede strækning, da den omkringliggende ådal vil oversvømmes under store nedbørshændelser. Derfor er udnyttelsen af de vandløbsnære arealer en vigtig overvejelse at gøre sig, før dette virkemiddel tages i brug (Skovgaard et al., 2014).

### 3.3 Omløb/bypass

Et etableret bypass/omløb i et vandsystem dækker over flere tekniske anlæg med forskelligt formål, alt efter placeringen i vandsystemet. Fælles for alle anlæggene er, at de kan bruges som genvej for vandet i vandløbet og derved mindskes belastningen af vandløbet omkring omløbet. 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 vil muligvis reducere en opstuvningseffekt og derved afhjælpe en forøget vandstand opstrøms i systemet (Nørgaard, 2020a).

Placeres omløbet længere opstrøms kan det benyttes til at lede vandet udenom oversvømmelsestruede 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 8 og 9 om hhv. Etablering af ådale/vådområder og vandparkering/klimasøer.

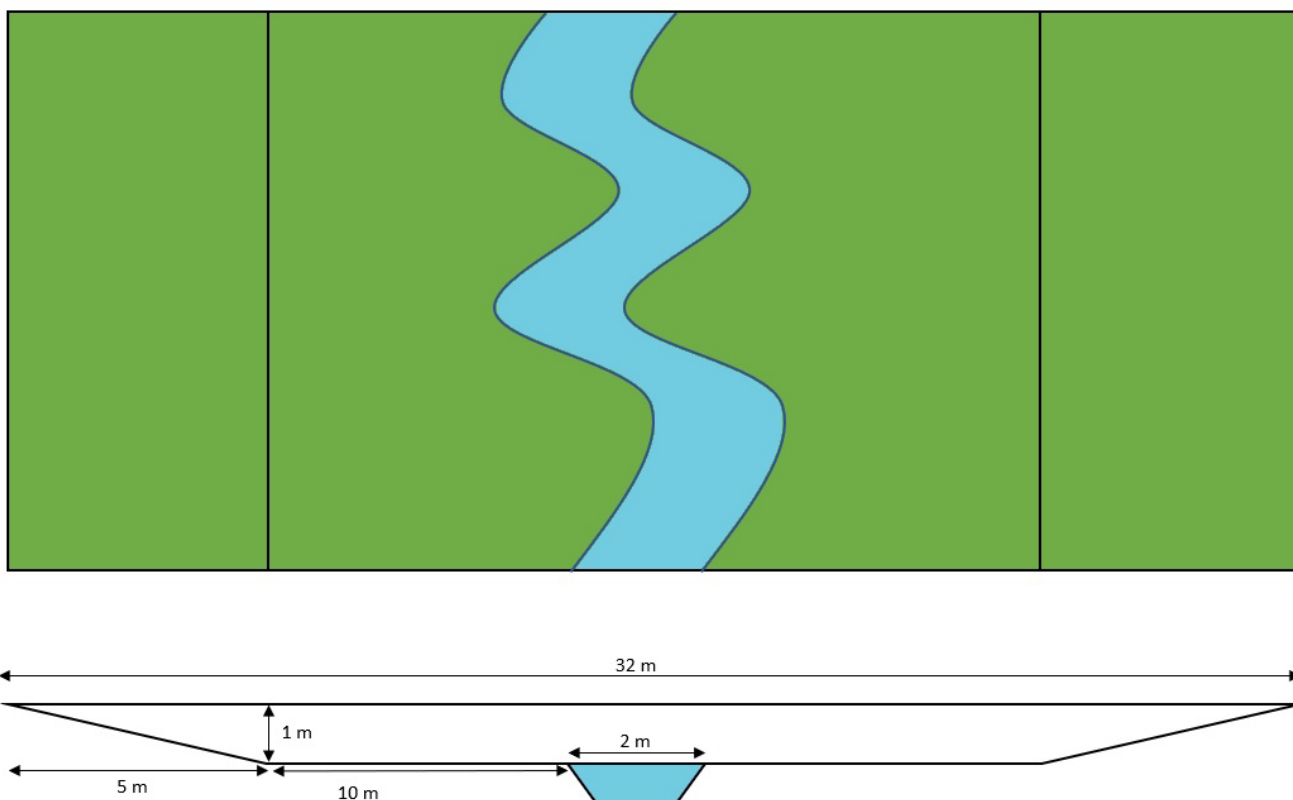
Omløb som virkemiddel er særligt benyttet i store floder. Et eksempel på dette er omløbet af floden Waal i den hollandske by Nijmegen, hvor et 200 meter bredt og 3 km langt omløb blev bygget og integreret i byens rum (Climate-ADAPT, 2021).

Effekten af omløb/bypass 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.

### 3.4 Etablering af dobbeltprofil i vandløb

Ved etablering af et dobbeltprofil udflades de eksisterende brinker og der opstår en banket. Her vil brinken og banketten stå uden vand det meste af året og vandløbet vil ligge uændret i sit primære profil. Det giver strækningen en bufferkapacitet som udnyttes ved store afstrømninger, se Figur 4. Virkemidlet kræver vedligeholdelse, da der er risiko for tilgroning af vegetation på både banket og tracé som vil reducere Manningtallet (Nørgaard, 2020b).

Dobbeltprofilen kan være både en- og tosidigt afhængig af hvad der kan lade sig gøre lokalt. 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



Figur 3.2: Skitseret forløb af miniådal set fra siden og ovenfra

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, hvortil det sekundære profil kun er tidvist oversvømmet ved høje afstrømninger om vinteren eller ved ekstreme nedbørshændelser (Fejerskov et al., 2019). Den lokale forøgelse af vandføringskapaciteten, som dobbeltprofil medfører, kan ved højre vandføringer udsætte de nedstrøms arealer for en øget hydraulisk belastning ved store vandløbsafstrømninger. En undersøgelse af konsekvenserne, på de nedstrøms arealer, ved etablering af et dobbeltprofil bør udføres før etableringen går i gang.

### 3.5 Etablering af miniådal med genslyngning

Etablering af en miniådal sker ved en afgravning af vandløbsbrinkerne, så det strukturmæssigt minder om en naturlig ådal. Vandløbet genslynges og løber i bunden af det etablerede profil, se Figur 5. Dette virkemiddel er egnet til små vandløb i områder, der er meget flade og hvor vandløbets fald ligeledes er meget lavt. Etableringen af miniådale er tiltænkt områder hvor man ønsker en mere naturlig vandløbsdynamik med et vandløb tæt på det omgivende terræn og samtidig ønsker en buffer til at aflede store vandmængder som i et dobbeltprofil. Modsat dobbeltprofil forsøger man med en mini-ådal aktivt at forbedre de fysiske forhold i vandløbet og samtidig sikre tilstrækkelig afvanding ved forhøjede vandføringer.

Ved store afstrømningshændelser vil vandet løbe over det genslyngede forløb og det sekundære profil aktiveres. Derved kan miniådalen potentielt have en højere vandføringskapacitet (Moeslund et al., 2013; Skovgaard

et al., 2014). Det sekundære profil står tørlagt det meste af året og derved er der risiko for tilgroning af vegetation i miniådalen med hurtigt voksende pionerarter som eksempelvis pil (*Salix sp.*). Dette skal medregnes som en ekstra potentiel vedligeholdelsesudgift (Moeslund et al., 2013).

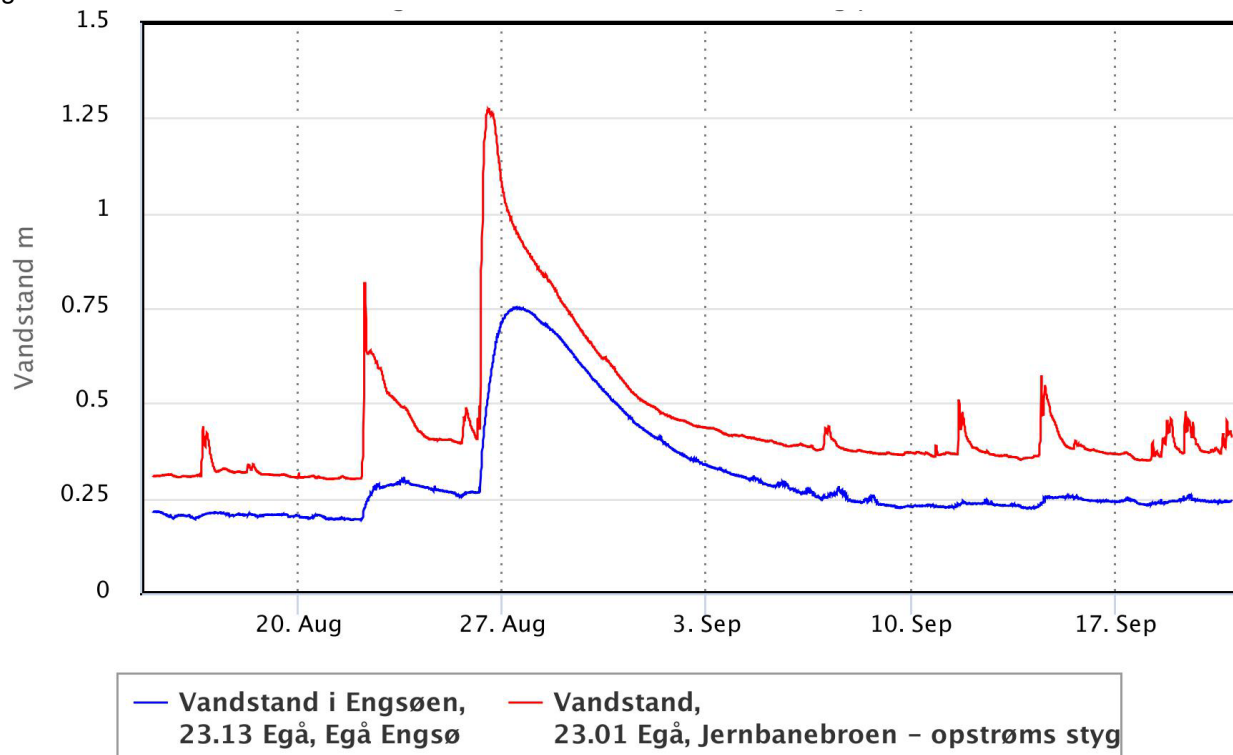
Ved oversvømmelse af miniådalen er der en sandsynlighed for aflejring af fosfor bundet til partikler. Det kan dog forventes at det partikulære fosfor vil mobiliseres ved store afstrømninger, derved er den egentlige retention af fosfor begrænset til den mængde der optages af planter i det sekundære profil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

På grund af magasinkapaciteten i miniådale, er dette virkemiddel særdeles egnet til at aflede vand ved store nedbørshændelser. Miniådalen kan, hvis den placeres nedstrøms sårbare arealer håndtere større mængder vand, end før restaureringen. Varigheden af miniådalens effekt er permanent under forudsætning af korrekt vedligehold.

### 3.6 Restaurering af ådale og etablering af vådområder

Det primære formål med restaurering af ådale er at genskabe de periodevise oversvømmelser af de tilstødende engarealer. Ofte genslynges vandløbet og vandspejlet hæves, og samtidig ændres driften og drænforholdene på de tilstødende arealer. Den restaurerede ådal kan være med til mindske belastningen af nedstrøms vandløbsstrækninger og vandløbsnære arealer (Fejerskov et al., 2019; Moeslund et al., 2013; Wiborg et al., 2014).

En sideeffekt ved etableringen af Egå Eng sø, der blev etableret for at reducere kvælstof belastningen i Århus bugten, er evnen til at agere som forsinkelsesbassin. Opmagasineringsvolumen for Egå Eng sø er 900.000 m<sup>3</sup> vand. Dette kunne man opleve i august 2012, hvor der faldt 48 mm nedbør på 3 timer, svarende til en 50 års hændelse. I forbindelse med nedbøren steg vandstanden 50 cm, det svarer til en opmagasinerings af 600.000 m<sup>3</sup> vand i engsøen og det tog henved 14 dage, før vandstanden i engsøen var tilbage til normal vandstand igen (Andersen, 2012). Vandstandsstigningens forløb i tilløbet til Egå Eng sø og i selve engsøen kan ses på Figur 6.



Figur 3.3 Kotesat vandstand i ind- og udløbet af Egå Eng sø under nedbørsevent i august 2012 kilde: (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 og vedligehold af virkemidlet er enten reduceret eller samme udgift, som før restaurering eller etablering.

### 3.7 Reduktion af hydraulisk belastning (eg. Vandparkering / klimasøer)

Reduktion af den hydrauliske belastning skal forstås som en kontrolleret og midlertidig opmagasinering af nedbør på udvalgte områder langs vandløbets forløb. Ved at kontrollere hvor vandløbet går over sine bredder og ved at opmagasinere overskudsvandet, kan nedstrømsliggende værdifulde jorder beskyttes mod skader forårsaget af vandløbsoversvømmelser. I dette afsnit behandles ikke et enkelt virkemiddel, men flere forskellige virkemidler med den samme overordnede funktion, at reducere vandmængden der transporteres gennem vandløb ved eksempelvis skybrudshændelser.

Nedenstående forslag til reduktion af den hydrauliske belastning i vandløbene skal ses som forslag til virkemidler. Effekten af hvert enkelt forslag er refereret fra studier og udsagn fra fagfolk. Det kan ikke forventes at en implementering af et virkemiddel vil have den samme effekt uden forudgående, grundige undersøgelser og analyser af det pågældende område og årsager til lokal oversvømmelse er fundet.

I Belford, England har en forskergruppe undersøgt effekten af at benytte flere små vandparkeringsanlæg med en kapacitet på 400-1000 m<sup>3</sup> langs et vandløb med et opland på 5,7 km<sup>2</sup>. De nedstrømsliggende arealer er her præget af oversvømmelse ved pludselig og kraftig nedbør (Quinn et al., 2013; Wilkinson et al., 2010). Vandparkeringsanlæggene var alle udpeget på steder, hvor topologien var gunstig, 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 ved korte nedbørshændelser var det muligt at dæmpe vandstandsstigningen i vandløbet, men at anlæggene hurtigt fyldtes op og derved ikke var effektive ved længerevarende nedbørshændelser (Nicholson et al., 2020).

I Italien er sommertørke en stigende udfordring for landbruget. I et forsøg på at imødekomme den stigende tørke i sommerhalvåret forsøgte (Camnasio and Becciu, 2011) at designe et vandparkeringsystem, der kunne imødekomme behovet for markvanding, men samtidig agere som vandparkering under store vandføringshændelser. Modellen implementeredes til floden Secchia i den italienske region Emilia Romagna over en periode med 30 års hydrometridata. Ved at designe vandparkeringen til ligeledes at sikre en fastsat minimumsvandføring, forkortedes antallet af dage med risiko for udtørring i floden fra gennemsnitligt 76 dage til 14 dage, samtidig leveredes der vand til markvanding i et opland svarende til 2200 ha med hensyntagen til vandindvindingsbehovet længere nedstrøms i systemet.

Brugen af klimasøer og vandparkering benyttes i dag primært i forbindelse med klimasikring af byer, med risiko for oversvømmelse af bebyggede arealer p.g.a. øget nedbør. I Næstved kommune benyttes klimasøer delvist til regnvandssikring, men også til at lede opsamlet vand ud i vandløb, der er i risiko for sommerudtørring (Miljøstyrelsen, 2021).

Ved at designe vandparkeringsystemer langs vandløb i områder med stort behov for markvanding kan man muligvis opbevare vand i vandparkeringsystemet til der erfaringsmæssigt opstår et behov for markvanding. Implementeringen af et sådant system kræver som også nævnt i studiet af (Camnasio and Becciu, 2011), at et varslingsystem for vandsystemet eksisterer så magasinkapaciteten i vandparkeringen kan øges inden den forventede vandføringsstigning finder sted, for at undgå overfyldning af vandparkeringsanlægget.

## 4 Virkemidler på vandlidende højbundsjarde

Mangelfuld dræning eller afvanding kan have store konsekvenser for afgrødeudbyttet, idet planternes rødder er hindret i deres vækst og dermed ikke kan udføre deres rolle optimalt (se også afsnit 2.5). Der er bl.a. i Landsforsøgene 2014 til 2016 observeret udbyttetab på 15-34 % i vårbyg og vinterhvede der har været dyrket under reduceret dræning (Bennetzen, 2016; Nielsen, 2015a, 2014). Derudover vil den generelle sundhed i jorden også reduceres når jorden er vandmættet i længere perioder og når jordstrukturen skades ved tung trafik. Dette har også en negativ effekt på jordens frugtbarhed og den generelle dyrkningssikkerhed.

Udover et udbyttetab, kan dårlig dræning også resultere i en øget emission af lattergas ( $N_2O$ ), der er en potent drivhusgas. Det sker fordi skiftene mellem iltede og vandmættede forhold kobler nitrifikation og denitrifikation, og dermed øger risikoen for produktionen af lattergas (Maag and Vinther, 1996).

Dette afsnit fokuserer på højbundsjarde. Højbundsjarde er karakteriseret ved at have et højt indhold af ler, især i dybden (Breuning-Madsen et al., 2013). Lerindholdet betyder at der er et højt udbyttepotentiale på disse jorde pga. deres evne til at tilbageholde vand og næringsstoffer, men det betyder samtidig også at de har højere risiko for at blive vandlidende. Dette sker når vand enten ikke kan filtrere tilstrækkeligt ned i jorden eller når grundvandsstanden stiger og der er mangelfuld eller ikke optimal dræning. Det er muligt at identificere de forskellige præcise årsager til hvorfor højbundsjarde er vandlidende, se kataloget "[Guide til identificering af årsager til vandlidende højbundsjarde](#)", men der findes altså overordnet set to grunde til at højbundsjarde bliver vandlidende: når vandet kommer fra oven, og når det kommer fra neden.

### 4.1 Vand fra oven: Nedbør

Når nedbøren forårsager vandlidende tendenser på højbundsjarde, skyldes det at vandet er forhindret i at trænge ned i jorden. Denne hindring kan stamme fra flere forskellige årsager, som kan være enkeltstående eller som kan ske i kombination med hinanden. De typiske problemer er 1) vandstandsene jordlag, 2) tilslæmmet jordoverflade, 3) dårlig jordstruktur, og 4) mangelfuld dræning. Løsningerne hertil vil i dette afsnit gennemgås.

#### 4.1.1 Vandstandsene jordlag

Vandstandsene jordlag kan opstå både naturligt og pga. 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 være al-lag og myremalmslag (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 er særlig høj i våd jord. Jævnlig brug af plov er også med til at danne et pakket jordlag, pløjesålen. Pakning kan også ske naturligt pga. jordtypen og humusindholdet i dybden, men det bliver i høj grad accelereret af trafikken i marken (Schjønning et al., 2002).

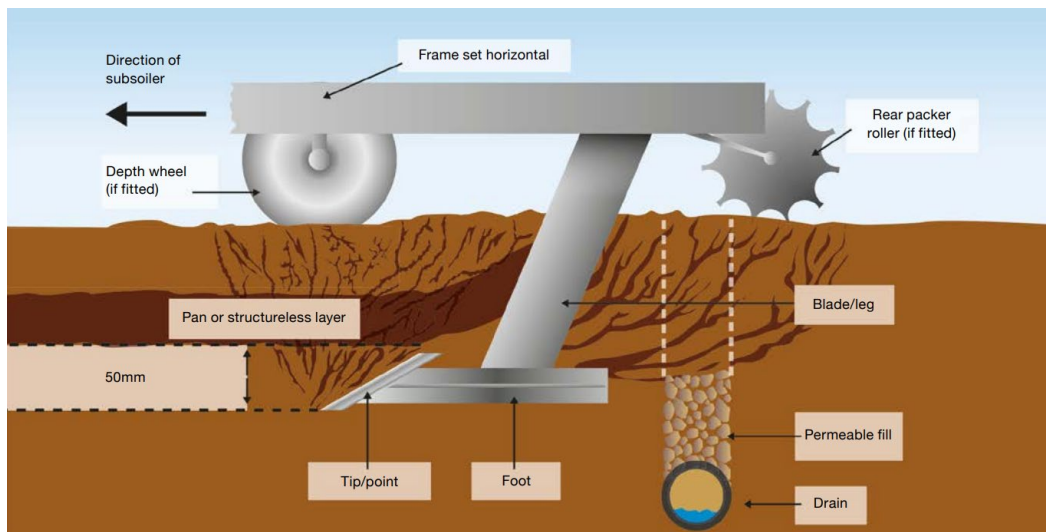
#### Løsning: Grubning

Når der er skabt et vandstandsene jordlag, kan selv et perfekt fungerende drænsystem ikke hjælpe på at afdræne marken. Der skal et jordløsende middel til, og det er som oftest mekanisk jordløsning i form af grubning der fungerer bedst. Grubning er en dyb form for jordbearbejdning, hvor jorden ikke vendes, men hvor tænder skærer ned og igennem det vandstandsene lag, se Figur 7. Grubberen kan desuden have et vingeskær, således at den pakkede jord splittes bedre ad. Dette kræver ekstra trækraft og anbefales som oftest kun for cementerede jordlag.

Tænderne på grubberen skal som udgangspunkt nå 2,5-5 cm under det vandstandsene lag og maksimum 45 cm under jordoverfladen (Hill et al., 2018). Er det vandstandsene jordlag for tyk eller ligger for dybt, er

grubning derfor ikke længere en mulighed og man skal undersøge andre muligheder, som eksempelvis brug af kædegraver og drænplov. Dette kan suppleres med grusskakter ned til drænene (se afsnit 10.1.3)

Er der dræn i marken, er det vigtigt at være opmærksom på at dybden for grubningen ikke overstiger dræn-



Figur 4.1: Brydning af vandstandsede lag vha. grubning. (AHDB Field drainage guide).

dybden, da man ellers kan risikere at ødelægge sine drænrør.

Grubning skal altid foregå under tørre forhold; dette sikrer at det pakkede eller cementerede 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 vandstandsede 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 vandstandsede 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).

#### 4.1.2 Tilsælmet jordoverflade

Når jordoverfladen tilsælmer skyldes det at strukturen i den øverste jord ødelægges og jordpartiklerne fordeles sig i et tæt lag, der har en meget lav hydraulisk konduktivitet og dermed lav infiltrationsevne. Det er den fysiske påvirkning fra regn, der ødelægger strukturen, idet dråberne slår aggregaterne i stykker (Mulin, 1993). Især siltholdige og finsandede jorde har risiko for tilsælming.

En tilsælmet jordoverflade har en meget langsom infiltrationsevne, og der skal derfor kun en ganske svag hældning til før vandet løber af overfladen og ender enten helt udenfor marken eller nede i lavninger, der dermed bliver vandlidende. Afgrøder nede i lavningerne får altså 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.

#### Løsning 1: Bedre infiltration



Man kan lave nogle tiltag i marken, der øger infiltrationsevnen i jorden og som i nogle tilfælde kan afhjælpe problemet uden brug af overfladedræning. Et plantedække gennem så meget at året som muligt og især i de kritiske perioder, som foråret, kan være et godt redskab. Vegetationen vil give jordoverfladen en ujævnhed der er med til at bremse eventuelle vandstrømme, og planternes rødder vil danne kanaler der faciliterer en bedre nedadgående strømningsvej (Brady and Weil, 2014; Kronvang et al., 2005). Jo tættere vegetation er, jo bedre. På samme måde kan stubbe og planterester også øge infiltrationen, og et tiltag kunne derfor også være at undgå at pløje disse planterester ned, men i stedet lade dem ligge i den øvre jord 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.

## Løsning 2: Overfladedræning - planering

Planering er en metode indenfor overfladedræning, hvor jorden på marken fordeles ud og overfladen bliver jævn. På den måde undgås lavninger hvor vandet kan samle sig. Jorden kan flyttes med en skraber der skubber jorden fra sted til sted, eller der kan benyttes en maskine der samler jorden op og flytter det fra forhøjninger til lavningerne.

Marken kan laves helt plan så vandet har tid til at filtrere ned i jorden, men det er også muligt at anbringe jorden så det spidser op mod midten af marken – dette tillader overskydende vand at løbe ud af marken og i en eventuel grøft. På meget store marker, hvor man vil lade vandet løbe af marken, kan det være nødvendigt at dele marken op i to, og etablere en grøblerende i midten. Dette koster lidt markareal, men kan til gengæld være med til at sikre høje udbytter på den resterende jord.

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



Figur 4.2: Planering i gang. Foto: Mads Blenker, Maskinbladet.

#### 4.1.3 Dårlig jordstruktur

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

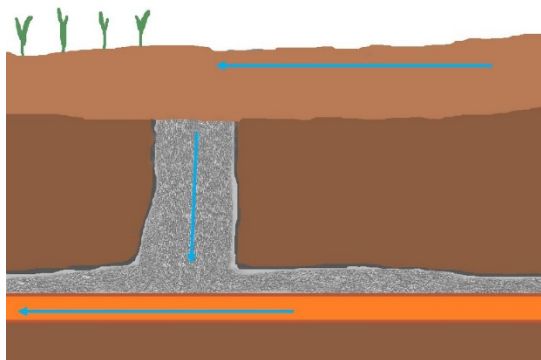
En dårlig jordstruktur kan skyldes pakning pga. tunge køretøjer, men det kan også ske spontant når små partikler flyttes med vandet ind i poresystemet og blokerer for gennemstrømning af vand (Hao et al., 2008). Risikoen for at disse små jordpartikler transporteres ind i poresystemet er større, når der ikke er organisk materiale til at holde på dem og binde dem sammen. Derfor er et lavt indhold af organisk materiale i jorden som oftest lig med dårlig jordstruktur (Franzluebbers, 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 også være et naturgivent forhold, der kan resultere i meget dårlig jordstruktur, og har så lav en permeabilitet at det kan virke vandstandsende. Blåler forekommer som oftest fra 50 cm dybde og nedad (Filsø, 2014).

#### Løsning: Dræning med skakter

Den dårlige jordstruktur starter ofte en ond cirkel, da den medfører dårlig afvanding og vandmættet jord, som er med til at gøre jordstrukturen endnu mere skrøbelig og udsat for at pakning og/eller 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 justeres alt efter hvor stort dræningsbehovet er. Der findes grustyper i flere forskellige størrelse, men generelt gælder der at hvis gruset ikke skal have en filtrerende effekt overfor eksempelvis finsand og okker, bør man vælge en grov type i størrelsen 5-30 mm for at få bedst mulig nedsivning til drænet.

Tilførsel af filtergrus kan være dyrt, og det kan derfor være fordelagtigt kun at bruge lokalt de steder med meget tæt og kompakt jord. Til gengæld er investeringen en løsning der holder mange år frem (20-40 år) så længe kapaciteten og dimensionerne af drænrørene også er tilstrækkelig (Messing and Wesström, 2006).



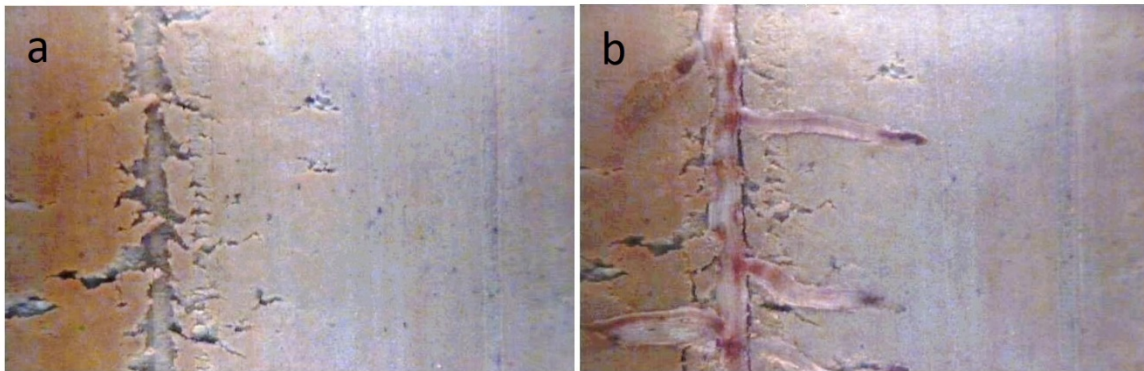
Figur 4.3: Konceptskitse af en drænskakt. Skakten graves fra drænrøret og op gennem jordlaget med dårlig nedsivning. Skakten fyldes derefter med grus eller andet materiale med høj hydraulisk ledningsevne. På den måde dannes der lokale "motorveje" for vandet, hvilket kan forbedre dræningsforholdene i resten af jorden.

#### Forebyggende tiltag:

Nogle af de vigtigste ting man kan gøre for at forbedre jordstrukturen og dermed undgå at skulle etablere (flere) drænings-skakter er at

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

Den biologiske jordløsning er brugen af planterødder, som over tid er med til at opbygge makroporer og strukturdannelse (Löfkvist, 2005). Dette er desuden forebyggende overfor pakning. Nogle af de planter der er 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 4.4: 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) sørge for at tilføre jorden organisk materiale: Frisk organisk materiale nedbrydes til humuspartikler i jorden, som har forskellige komplekse strukturer og en blanding af både positive og negative ladninger (Brady and Weil, 2014). Dette giver mulighed for at samle jorden i aggregater og holde på dem, selv hvis jorden udsættes for tryk fra bl.a. dæk. Det organiske materiale vil også have en afledt effekt på jordstrukturen, idet jordens mikro- og makroorganismer der lever af det vil have mulighed for at øge deres aktivitet. En øget aktivitet af de jordboende organismer betyder både at jorden fysisk pakkes i små aggregater pga. deres bevægelser, men også at jorden bedre "klistrer" sammen pga. udskillelse af forskellige sekreter (Fortuna, 2012)
- c) have et plantedække så meget af året som muligt: Plantedække er et vigtigt redskab til en god jordstruktur og bør derfor bruges så ofte som det kan lade sig gøre. Dette skyldes både tilførslen af organisk materiale, hvis effekter er redegjort for i afsnit b), dannelse af makroporer hos rødderne, samt røddernes evne til styrke jorden og dens modstandsdygtighed overfor pakningsskader (Schjønning et al., 2009; Stirzaker and White, 1995).

- d) køre skånsomt i marken: Selvom dårlig jordstruktur kan skyldes naturgivne forhold, såsom jordtype, vil trafik i marken altid øge risikoen for strukturskader. Denne risiko kan reduceres ved at sørge for 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 tryk. Derudover er det en fordel af køre med et lavt dæktryk, så trykket fordeles over et større areal (se også boks 1) (Schjønning et al., 2009, 2006). Dette kan kombineres med at køre i faste spor i marken, således strukturskaderne holdes på et minimalt areal (McHugh et al., 2009).

#### **Boks 1: Tommefingerregel for trykstress i jorden**

Dybden hvormed jorden udsættes for det maksimalt acceptabelt trykstress (50 kPa) stiger med ca. **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.com](http://www.terranimodk.com).

### **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. 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 er med til at nedbryde stofferne (Nygaard, 2004). Kombinationen af hurtigt gennembløb og pesticidernes dårlige binding til grus og grovsand, gør at en større mængde pesticider potentielt kan transporteres fra jordoverfladen til dræningerne og videre til recipienten. Der er så vidt vides ikke endnu lavet undersøgelser over i hvor høj grad dræningsskakter bidrager til pesticidudvaskning.

#### **4.1.4 Mangelfuld dræning**

I visse tilfælde kan problemet skyldes at dræningsmulighederne på marken ikke er tilstrækkelige: enten at det helt mangler, eller at det nuværende 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 er steget og at der er kommet flere perioder med kraftig regn. Dette kan skyldes at drænsystemet er underdimensioneret, at drænarbejdet i sin tid har været mangelfuld eller dårlig udført, eller at der sidenhen er sket forskellige skader og tilstopninger i drænrørene. Det er også en faktor at gamle dræn ikke er tilpasset de tunge maskiner, der i dag bruges i marken og som dermed klemmer eller ødelægger drænrørene.

#### **Løsning: Nydræning, omdræning eller reparation/vedligeholdelse**

At vide, hvad der ligger til grund for den mangelfulde dræning, kan være en udfordring hvis man ikke har kendskab til det nuværende dræningssystemes alder, placering, dimensionering, osv. Informationer om dette kan i mange tilfælde indhentes fra WSP (tidl. Orbicon der har overtaget data fra Hedeselskabet). Derudover kan tidligere lodsejere ligge inde med drænkort. Findes der ikke informationer om det, kan man forsøge at finde dræningerne, enten ved at gennemgå vandløb og grøfter for drænudløb, samt kigge efter brønde, eller kigge på gamle luftfotos, hvor dræningerne nogle gange er synlige. Endeligt er det også muligt at finde dræningerne ved hjælp af droneflyvning eller med hjælp fra en kloakmester der med sonde og kabelsøger kan lokalisere og undersøge dræningerne (Nielsen, 2015b).

Findes der slet ikke dræn i marken, er løsningen etablering af et nyt drænsystem, se også "Dansk Markdræningsguide" af Janne Aalborg Nielsen (2014).

Finder man et gammelt drænsystem kan man starte med at spule drænrørene, efter man har tjekket at udløbet ikke er blokeret. 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 4.5: Spuling af drænrør i gang. Foto: Stinna Susgaard Filsø.

Er marken kun 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. Mangler der hydraulisk pakning, kan dette også være grund til den dårlige dræning, og filtersand/-grus kan derefter påfyldes.



Figur 4.6: Drænrør kan være defekte fordi de er blevet stoppet til af okker (venstre) eller er blevet klemte (højre). Fotos: Janne Aalborg Nielsen.

Er marken vandlidende i næsten hele arealet, og spuling ikke løser problemet, kan det være at hovedledningen har defekter. Den kan være klemt eller ødelagt et sted, og også her kan det derfor være fordelagtigt at grave ned til røret og tjekke efter. Man skal også være opmærksom på om læhegn står eller har stået ved siden af hovedledningen, da trærodderne kan bevæge sig ind til hovedledningen og lave svære tilstopninger, samt forskyde rørene. Der gælder generelt at drænrør, der går tæt forbi levende hegn bør være lukkede og faste og 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 ellers hovedledningen ikke fejler noget, ligger problemet mere generelt over hele drænsystemet: Det kan være underdimensioneret, fordi rørene er for små eller ligger med for lang afstand. Dette kan i nogle tilfælde afhjælpes ved at intensivere systemet vha. sidedræn, men det kan også være nødvendigt at omdræne hele arealet. Det samme gælder, hvis drændybden er for ringe. Er tilstopninger med finsand og silt et tilbagevendende problem, er det også værd at overveje en omdræning, hvor 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 være med til at forlænge levetiden for drænene.

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

Der er altså mange løsninger på mangelfuld dræning, og det kan være meget forskellig fra mark til mark hvad der løser udfordringerne bedst. 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 problemerne og finde den bedste løsning. På den måde undgår man at bruge penge på de forkerte tiltag.

#### 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.

## 4.2 Vand fra neden: Vandlidende jord i dybden

Der kan opstå afvandingsproblemer der resulterer i at vandet kommer nedefra og altså danner vandlidende forhold i dybden. Disse problemer kan nogle gange være sværere at få øje på, men typiske tegn er at marken er længe om at blive farbar og kan derfor være svær at så eller høste rettidigt. Plantevæksten vil være ringe og resultere lave udbytter, og der vil være et højt ukrudtstryk med særligt vandtolerante arter. Der vil desuden være problemer med overfladestrømning og erosion, og der vil nemt dannes dybe kørespor.

Nogle af disse indikationer vil man også se når vandet kommer fra oven, og nogle af problemerne vil da også kræve nogle af de samme løsninger.

Når vandproblemer opstår nedefra, kan det skyldes 1) at grundvandsstanden er steget, 2) at der er trykvand, eller 3) at der er sket en ændring i vandløbet, drænene munder ud i.

### 4.2.1 Højt grundvandsspejl

Som nævnt i afsnit 2.2 er grundvandsstanden steget betragteligt gennem de sidste 70 år, hvilket kan tilskrives den øgede nedbørsmængde. Et højere grundvandsspejl vil sætte sine spor i jordens dyrkningssikkerhed, hvis marken ikke er drænet, og findes der allerede et drænsystem kan dette blive sat under pres, hvis det ikke er designet og dimensioneret efter disse vandmængder. På samme måde begynder dårligt udført arbejde eller mangel på vedligeholdelse og reparationer at kunne ses når drænene ikke leder det højere grundvand væk.

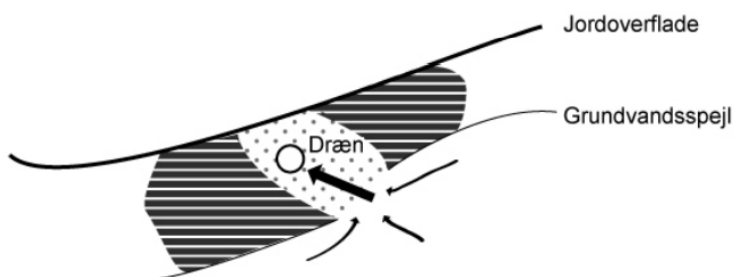
#### Løsning: Nydræning, omdræning eller reparation/vedligeholdelse

Problemer med et højt grundvandsspejl skal løses med dræning under rodzonen, og derfor går løsningsmulighederne fra afsnit 2.1.4 igen her. Desuden skal man være særligt opmærksom på at tjekke dybden på drænrørene. Hvis man står med et gammelt drænsystem, der i sin tid blev placeret for højt, eller hvis jorden sidenhen har sat sig, kan dette vise sig at være utilstrækkeligt i dag. Drændybden varierer efter jordtypen, men bør generelt ligge på 120 cm fra jordens overflade. Detaljer om drændybde og drænafstand kan ses i "Dansk Markdræningsguide" (Nielsen, 2015b).

### 4.2.2 Trykvand

Trykvand kan opstå i kuperet terræn med leret underjord og/eller sandlinser. Det sker når lavpermeable jordlag tvinger grundvandet op gennem jorden via andre lettere gennemtrængelige pletter (figur X). Mængden af vand der kommer op med trykvand kan være svær at forudsige, hvorfor dræningen på det pågældende område kan vise sig at være underdimensioneret.

Trykvand dannes ofte på bakkesider, hvor vandet vil vandre ad skråningen ned til flade arealer eller lavninger, hvor det skaber problemer. Selve skråningen kan dog også blive vandlidende, og et tegn på trykvand kan derfor være dybe kørespor på bakkesiden (figur X).



Figur 4.7: Konceptskitse af dannelse af trykvand. 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).



Figur 4.8: Et tegn på trykvand er kørespor oppe på bakketoppen eller bakkens sider. Foto: Janne Aalborg Nielsen.

#### Løsning: Drænrør på skråning

Etablering af drænrør på bakkeskråningen fanger trykvandet hvor det dannes, og denne lokale løsning kan dermed løse problemet. Der kan placeres et eller flere rør, afhængig af hvor store mængder vand der dannes, og de skal lægges på tværs af skråningen.

#### 4.2.3 Stigende vandstand i vandløb

Sker der en stigning i vandspejlet i det vandløb, drænene afvander til, kan det have stor betydning for hele drænsystemet funktion. Forhøjet vandstand i vandløbene kan skyldes flere faktorer eller ændringer opstrøms. Generelt er nedbøren steget over hele landet gennem de sidste 150 år (afsnit 2.1), og er vandløbene ikke tilsvarende indrettet efter de større mængder vand, vil vandstanden følgelig stige.

Samtidig er der kommet øget fokus på den økologiske tilstand i vandløbene, hvilket har ført til mange store og små restaureringsprojekter (afsnit 2.3). Derudover er der sket ændringer i regulativer omkring vandløbsvedligeholdelse, så forvaltningen tilgodeser både afvandings- og miljømæssige interesser (afsnit 3). Tiltag som reduceret/selektiv grødeskæring hæver vandspejlet i vandløbet, og drænrøret, der skal afvande til hertil, risikerer at blive neddykket.

Udover at neddykkede dræn forringer afvandingsforholdet i baglandet, vil den selvrensende effekt også reduceres, så det oftere er nødvendigt at spule drænrørene. Endeligt er der også risiko for at vandløbsnære arealer oversvømmes hvis vandløbet får over sine bredder i tilfælde af vandløbshændelser.



**Løsning: Ændret forvaltning af vandløb**

I dette tilfælde er der ikke meget at gøre på markfladen; løsningsmulighederne ligger i forvaltningen af vandløbet, og de forskellige tiltag kan ses i den første del af denne rapport. Private vandløb forvaltes af private bredejere, mens offentlige ejes og forvaltes af kommunen. Kommunen har pligt til at vedligeholde de offentlige vandløb – hvor meget vedligeholdelsen omfatter, er bestemt i regulativet for vandløbet. Forsømmer kommunen sin pligt til at vedligeholde, kan man rette henvendelse til kommunen, og afgørelsen hertil kan indbringes for Miljø- og Fødevareklagenævnet. Man bør ikke påbegynde vedligeholdelse selv, da det kan betragtes som en ulovlig regulering, og man i så fald kan risikere at skulle betale for tilbageførelsen af vandløbets tilstand (Filsø et al., 2018).

## 5 Det vådere vejr på markfladen

Det vådere vejr kan komme til udtryk på flere forskellige måder på markfladen: Øget sygdoms- og ukrudtstryk, dårligere næringsstofoptag i afgrøderne, større risiko for jorderosion og øget næringsstoffab. 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. Dette er mange potentielle problemer, men tackles de rigtigt og med rettidig omhu, har vi mulighed for at fortsætte en høj fødevarerproduktion i Danmark. Der kan udføres tiltag på både bedriftsniveau og på højere niveauer, som eksempelvis hos rådgivningen og myndighederne. Dette afsnit vil fokusere på hvad, der kan gøres på marken for at imødekomme nogle af de mest direkte og omgående udfordringer der opstår på markfladen i forbindelse med et generelt vådere vejr.

### 5.1 Ændret maskinbrug

Mere vand på markerne vil kræve genovervejelser af hvilke maskiner der skal bruges i marken og i hvor høj grad. 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: Gylletanken er som oftest stor og meget tung, udbringningen tager lang tid, og det er i små tidsrum i vækstsæsonen, hvor næringsstoffordelingen er optimal. Alt dette øger risikoen for at være nødsaget til at køre ud på en våd mark, hvor man altså kan forårsage 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 spredde 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 ca. 600 meter, og vil have lige stor kapacitet som en almindelig gyllevogn (Lyngvig, 2020a).

En anden brug 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 veje meget. Udlægningen og den efterfølgende fjernelse af slangerne kan være skadende på nyligt etablerede afgrøder, og metoden vil derfor være mest egnet til 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 dæk på landbrugsmaskiner

For at reducere jordpakning og strukturskader og vandproblemerne der følger med, bør valg af dæk på maskinerne overvejes. Der findes dæktyper, der er har større aftryk og altså fordeler vægten jævnt ud på jorden. På samme måde kan man også tilpasse lufttrykket til aksellasten, således at dækket flader mere ud og presset bredes ud over et større areal. Læs mere om dækvalg og lufttryk i artiklen [Minimer jordpakning i høsten](#) af Lyngvig, 2020b. Det er også muligt at køre en simulation trædefladedstress og stress i dybden ved brug af forskellige maskiner, vogntog, dæk, lufttryk, samt jordtypen og mængden af vand i jorden. Dette kan gøres med [Terranimo](#) (Terranimo, 2020).

Har man meget store problemer med føret i marken, kan gummibælter være en løsning. Brug af bælter ses allerede rundt omkring i både Danmark og Tyskland og vinder mere frem. Især ved dyrkning af majs, hvor høsten ligger sent, og hvor mængden af vand i jorden på dette tidspunkt ofte stiger og begynder at blive problematisk. Installation af bælterne på mejetærskeren koster i omegnen af 150-200.000 kr. og er en større investering, men tiltaget kan være med til at sikre at høsten kan komme i hus på rette tidspunkt. Man skal være opmærksom på at der ikke må køres på vejene med bælter.



Figur 5.1: Mejetærsker med gummibælter. Foto: Henning Sjørsløv Lyngvig.

## 5.2 Høstkapacitet

Høsten er et af de meste kritiske perioder, hvor flere ting skal gå op i en højere enhed og hvor der er små vinduer med optimalt høstvejr. Vejret i august, hvor meget af høsten sker i, er generelt blevet vådere: I perioden 1961-1990 var den gennemsnitlige nedbørssum for august 67 mm, mens dette for de sidste ti år (2011-2020) var gns. 82,1 mm. Det betyder altså at der er færre dage at få høstet i, og dette sætter krav til høstkapaciteten. Kapaciteten kan sættes op ved at investere i større og mere effektive maskiner eller ved at have flere maskiner i gang ad gangen. Dette kan dog være et omkostningstungt tiltag.

Det kan også være en fordel at 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. På samme måde kan dette også tænkes ind i sortvalg: Eksempelvis kan der i majs være op til en måneds forskel på tidlige og sildige sorter, og dette kan hjælpe på at tilrettelægge høsttidspunktet.

Efter høst kan etableringen af eventuelle vinterafgrøder også blive problematisk i et vådere vejr. Her handler det også om at øge kapaciteten og effektiviteten af markoperationerne, så etableringen kan ske så hurtigt som muligt når vejret tillader det.

### 5.3 Tørringskapacitet

Tørring af afgrøder er allerede en essentiel del af foder-, frø- og fødevareproduktionen, men behovet kan stige i fremtiden, da mere regn og ustadigt vejr vil gøre det sværere at undgå en våd/fugtig høst. Det kan derfor blive aktuelt for flere og flere landmænd at investere i deres eget tørreri og lager til kornet. Der findes flere forskellige typer 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 max 3 meters højde (jo vådere korn, jo lavere kornhøjde), og vende det manuelt (Lyngvig, 2020c). 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 meget vådt korn (Lyngvig, 2020c).
3. Stålsiloer med omrøring er en populær løsning, idet de er billigere og der er få arbejdstimer forbundet ved disse. Siloerne blæser varm luft op i kornet nedefra, og vil være udstyret med en omrører der sørger for at kornet ofte vendes. Siloerne er ideelle, når man kun har behov for at opbevare få typer afgrøder, idet det ikke er muligt at separerer kornet.
4. Det er også 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 kan forbruge dette korn selv, da transport senere hen hurtigt nedsætter kvaliteten kraftigt. Ligeledes betyder dette, at kornet kun kan bruges 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 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).

## 6 Litteratur

- Aarhus Kommune, Silkeborg Kommune, Skanderborg Kommune, 2018. Regulativ for offentligt vandløb Lyngbygård Å.
- Allan, J.D., Castillo, M.M., 2009. *Stream Ecology*, 2. ed. Springer.
- Andersen, U., 2012. Kunstig sø reddede Aarhus fra 600.000 m<sup>3</sup> vand. Ingeniøren.
- Appelo, C.A.J., Postma, D., 2005. *Geochemistry, groundwater and pollution*, 2nd ed, Geochemistry, groundwater and pollution. A.A. Balkema Publishers. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90585-1](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90585-1)
- 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>
- Bavnshøj, P., 2004. Landbruget og de ferske vande - fra vikingetiden til nyere tid, in: Hofmeister, E. (Ed.), *De Ferske Vandes Kulturhistorie i Danmark*. Aqua Ferskvands Akvarium, pp. 87–96.
- Bennetzen, E.H., 2016. Dræning, in: Pedersen, J.B. (Ed.), *Oversigt over Landsforsøgene 2016*. SEGES.
- 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. *Geviden - Geologi og geografi* 2–5.
- Breuning-Madsen, H., Krogh, L., 2005. *Kompendium i jordbundsgeografi* Henrik Breuning-Madsen & Lars Krogh.
- 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.
- Buczyński, P., Zawal, A., Buczyńska, E., Stępień, E., Dąbkowski, P., Michoński, G., Szlauer-Łukaszewska, 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>
- Cappelen, J., 2018. Ekstrem nedbør i Danmark.
- 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>
- 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](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).
- Dąbkowski, P., Buczyński, P., Zawal, A., Stępień, E., Buczyńska, E., Stryjecki, R., Czachorowski, S., Śmietana, P., Szenejko, M., 2016. The impact of dredging of a small lowland river on water beetle fauna (Coleoptera). *Journal of Limnology* 75, 472–487. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1270>
- Danmarks meteorologiske Institut, 2021a. Klimanormaler for Danmark [WWW Document]. URL <https://www.dmi.dk/vejrkarkiv/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.
- Elberling, B., 2019. VÅDE MARKER GIVER MERE LATTEGAS. *Aktuel* 14–16.
- 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>
- 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.
- 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\\_drænmetoder\\_og\\_drænmateriale](https://www.landbrugsinfo.dk/basis/e/e/9/vanding_draining_oversigt_over_drænmetoder_og_drænmateriale) (accessed 9.1.21).
- Filsø, S.S., Hvid, S.K., Nielsen, J.V.K., Vestergaard, A.V., 2018. Dårlig dræning og afvanding - årsager og forslag til løsninger. SEGES.
- 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)
- Geocenter Danmark, 2019. Klimaændringerne får grundvandet til at stige. *Geoviden* 14–17.
- Gertz, F., Hvid, S.K., Nielsen, J.A., 2012. Landbrugets behov for afvanding og markvanding. *Vand & Jord* 19, 49–52.
- 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.
- Herzog, M., Striker, G.G., Colmer, T.D., Pedersen, O., 2016. Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat - a review of root and shoot physiology. *Plant Cell and Environment* 39, 1068–1086. <https://doi.org/10.1111/pce.12676>
- Hill, K., Hodgkinson, R., Harris, D., Price, P.N., 2018. *Field drainage guide*.
- 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.
- Jørgensen, M.H., Lund, H., Nielsen, S., 2004. Teknik til jordløsning: Analyse af grubberens arbejde i jorden. Grøn Viden Markbrug.
- Knudsen, N.T., 2004. Dannelsen af søer, vandløb og deres udvikling, in: Hofmeister, E. (Ed.), *De Ferske Vandes Kulturhistorie i Danmark*. Aqua Ferskvands Akvarium, pp. 9–22.
- 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 Bevtøft: Miljømmæssig effekt i vandløb og de vandløbsnære arealer (No. 110), *Faglig rapport fra DMU*.
- 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.

- 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>
- Löfkvist, J., 2005. Modifying Soil Structure Using Plant Roots, *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*.
- 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. <https://doi.org/10.1029/2020GL088144>
- 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.
- 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).
- 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>
- 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.
- Moelund, B., Schlüsen, K., Lønborg, M.J., 2013. Klimatilpasning af vandløb Norddjurs Kommune Klimatilpasning af vandløb.
- Mulin, J., 1993. Chapter 5: Soil crusting and sealing, in: FAO (Ed.), *Soil Tillage in Africa: Needs and Challenges*. FAO.
- Nielsen, J.A., 2015a. Dræning, in: Pedersen, J.B. (Ed.), *Oversigt over Landsforsøgene 2015*. SEGES.
- Nielsen, J.A., 2015b. *Dansk markdræningsguide*. SEGES 49.
- Nielsen, J.A., 2014. Dræning, in: Pedersen, J.B. (Ed.), *Oversigt over Landsforsøgene 2014*. Videnscentret for Landbrug.
- 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.
- Nygaard, E., 2004. Særligt pesticidfølsomme sandområder: Forudsætninger og metoder for zoner. Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Danmarks JordbrugsForskning.
- Olesen, M., Madsen, K.S., Ludwigsen, C.A., Boberg, F., Christensen, T., Cappelen, J., Christensen, O.B., Andersen, K.K., Hesselbjerg Christensen, J., 2014. Fremtidige klimaforandringer i Danmark, Danmarks Klimacenter rapport.
- 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>
- 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>
- 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>

- Płaska, W., Kurzatowska, A., Stępień, E., Buczyńska, E., Pakulnicka, J., Szlauer-Łukaszewska, A., Zawal, A., 2016. The Effect of Dredging of a Small Lowland River on Aquatic Heteroptera. *Annales Botanici Fennici* 53, 139–153. <https://doi.org/10.5735/086.053.0403>
- 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>
- Pulido-Moncada, M., Katuwal, S., Ren, L., Cornelis, W., Munkholm, L., 2020. Impact of potential bio-subsoilers on pore network of a severely compacted subsoil. *Geoderma* 363, 114154. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114154>
- 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.
- 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.
- 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-soer-kan-ske-mere-skaansomt-med-pincet-12260> (accessed 3.16.21).
- Schjønning, P., Elmholt, S., Munkholm, L.J., Debosz, 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*.
- Schjønning, P., Lamandé, M., Tøgersen, F.A., 2006. Minimering af jordpakning - Størrelse og fordeling af stress i trædefladen mellem hjul og jord. DJF rapport 127.
- 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>
- 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.
- Sørensen, C.S., 2021. Landhævning [WWW Document]. URL <https://www.klimatilpasning.dk/sectorer/kyst/havvandstand/landhaevning/> (accessed 4.26.21).
- 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.
- 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>
- 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>
- 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>
- Wiborg, I., Kronvang, B., Poulsen, J.B., Børgesen, C.D., Henriksen, H.J., Jensen, K.M., Jacobsen, T.V., 2014. Landmanden som vandforvalter.



- Wilkinson, M.E., Quinn, P.F., Welton, P., 2010. Runoff management during the September 2008 floods in the Belford catchment, Northumberland. *Journal of Flood Risk Management* 3, 285–295. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2010.01078.x>
- 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>
- WSP, 2021. Vandportalen [WWW Document]. URL <https://vandportalen.dk/> (accessed 5.3.21).
- Zawal, A., Czachorowski, S., Stępień, E., Buczyńska, E., Szlauer-Łukaszewska, A., Buczyński, P., Stryjecki, R., Dąbkowski, P., 2016a. Early post-dredging recolonization of caddisflies (Insecta: Trichoptera) in a small lowland river (NW Poland). *Limnology* 17, 71–85. <https://doi.org/10.1007/s10201-015-0466-3>
- Zawal, A., Sulikowska-Drozd, A., Stępień, E., Jankowiak, Ł., Szlauer-Łukaszewska, A., 2016b. Regeneration of the molluscan fauna of a small lowland river after dredging. *Fundamental and Applied Limnology* 187, 281–293. <https://doi.org/10.1127/fal/2016/0753>