



KORTLÆGNING OG UNDERSØGELSE AF ÅRSAGER TIL DÅRLIG DRÆNING OG AFVANDING SAMT MULIGE LØSNINGER

- EKSEMPLIFICERET I PILOTOMRÅDE: LØVENHOLT GODS



1	INDLEDNING	3
2	DRÆNINGSPROBLEMER PÅ MARKFLADEN	4
2.1	BETYDNINGEN AF DÅRLIG DRÆNING PÅ MARKFLADEN	4
2.2	FREM GANGSMÅDE TIL BESTEMMELSE AF ÅRSAGER.....	7
	SKRIVEBORDSARBEJDE VHA. FRIT TILGÆNGELIGE VÆRKTØJER	7
	MARKSPECIFIKKE UNDERSØGELSER	8
	METODER TIL DYBDEGÅENDE ANALYSER I MARKEN	10
2.3	LØSNINGSMULIGHEDER	10
	HVIS VANDET IKKE KAN TRÆNGE NED TIL DRÆNENE	11
	HVIS DRÆNSYSTEMET IKKE FUNGERER	12
	ANDRE METODER.....	13
3	VANDLØBSAFVANDING	13
3.1	VARIATIONER OG UDVIKLING I VANDLØBSAFSTRØMNINGEN	14
3.2	VIRKEMIDLER IFT. AT OPRETHOLDE GOD AFVANDING I VANDLØB	15
	GRØDESKÆRING	15
	ETABLERING AF SKYGGEGIVENDE VEGETATION PÅ VANDLØBETS BREDDER	17
	OPGRAVNING	17
	UDNYTTELSE AF TIDEVANDET	17
	DOBBELTPROFIL	17
	MINIÅDALE	18
4	PILOTOMRÅDE: LØVENHOLT GODS	18
4.1	LOKALITETSBEKRIVELSE	19
	AREALANVENDELSE	19
	LANDSKAB OG JORDBUNDSFORHOLD	20
	HYDROLOGI, VANDLØB OG GRUNDVANDSSTAND	21
	FORSØGSMARKEN	22
4.2	UNDERSØGELSE AF MULIGE ÅRSAGER.....	23
	UDVIKLINGEN I NEDBØRSFORHOLD VED LØVENHOLT GODS.....	23
	DEN OVERFLADENÆRE GEOLOGI.....	25
	KOMPAKTE JORDLAG	25
	DIMENSIONERING AF DRIFTENS DRÆNSYSTEM	27
	PÅVIRKNINGER FRA GRUNDVANDSSTAND.....	29
	PÅVIRKNINGER FRA NÆRLIGGENDE VANDLØB	31

SAMMENFATNING AF RESULTATER.....	33
4.3 LØSNINGSFORSLAG OG ANBEFALINGER TIL PRAKSIS	33
5 KONKLUSION.....	35
6 REFERENCER.....	37

1 INDLEDNING

I Danmark er landbruget afhængig af en god dræning af markerne med tilhørende fri afvanding til vandløbene, da afgrøder mistrives, og udbyttetabet øges, hvis jorden er vandmættet. Således er omkring 50 % af de danske landbrugsjorder også systematisk dræned. Dræningen af landbrugsarealerne tog fart i forbindelse med industrialiseringen af landbruget i begyndelsen af 1900-tallet (Gertz *et al.*, 2012). I takt med dette blev mere end 90 % af vandløbene rettet ud (Sand-Jensen og Lindegaard, 2004), omlagt eller nyanlagt og nedgravede i dimensionering med de systematiserede drænanlæg på markerne. Dette ofte i en balance som betyder, at en vandstandsstigning i vandløbene vil have en negativ effekt (f.eks. vandmættede jorde, risiko for tilstoppede dræn, jordpakning, strukturskader, dårlig rodudvikling) på de dræned vandløbsnære markarealer (Gertz *et al.*, 2012).

I dag oplever flere landmænd at dræn- og afvandingsproblemer er stærkt stigende, hvilket har medført flere vandlidende jorde. Årsagerne hertil kan være mangeartet og afhænge af lokaliteten. En udredning af Kronvang *et al.* (2013) samt en [rundspørge blandt landbrugsrådgivere og drænentreprenører](#) påpeger følgende forhold, som har påvirket dræns afvandingsevne gennem de sidste 50 år.

- *Drænsystemets beskaffenhed*
Med tiden ældes dræn, bliver ødelagt af tryk fra maskinkørsel, påvirkes af rødder, sætning af jord, tilstopning med finkornet materiale samt uhensigtsmæssige udvidelser af drænsystemet. Et nedslidt drænsystem og manglende omdræninger har forringet drænenes vandafledningsevne og selvrensende effekt.
- *Øget og mere intensiv nedbør*
På landsplan er årsnedbøren steget med 100 mm siden man begyndte med systematiske målinger af nedbøren i 1874 (Cappelen & Jørgensen, 2017). Eftersom fordampningen ikke er steget tilsvarende, betyder dette, at der er en øget mængde nedbør tilgængelig til afstrømning og nedsivning til grundvand. Terrænhældninger og afløbsmuligheder bliver afgørende for den nye dynamik i jordens vandindhold henover året. Eftersom drænsystemet er dimensioneret ud fra datidens nedbørsforhold, er det muligt, det ikke kan aflede vandet hurtigt nok fra markfladen.
- *Ændret vandløbsvedligeholdelse*
Drænsystemer er typisk designet og dimensioneret efter et bestemt vandspejl i vandløbene, som det dræner til (typisk marts middelvandspejl (Aslyng, 1980)). Da mange drænsystemer i starten af 1900-tallet blev etableret var vandløbenes primære formål hurtigt og effektivt at bortlede vand fra landbrugsjorden, hvorved de fleste danske vandløb blev udrettet og kanaliseret for at sikre en høj vandafledning (Kronvang, *et al.*, 2013). Med vandløbslovene i 1982 og senest Miljømålsloven inddrages naturhensyn og miljømæssige forhold også i vandløbsforvaltningen. Det sker bl.a. igennem genslyngninger og reduceret grødeskæring, som kan hæve vandstanden i vandløbet. Stigende vandspejl i vandløbet påvirker den hydrauliske gradient ned mod vandløbet og dermed afstrømningen og afvandingsmulighederne fra landbrugsarealerne til vandløbet. Ændret vandløbsvedligeholdelse kan også medføre sedimentation, hvilket kan tilsæmme dybtliggende drænudløb, der ligger nær vandløbsbunden. Det kan forringe drænenes vandafledningsevne og selvrensende effekt.
Øget afstrømning i vandløb som følge af stigning i nedbør og ændring i vandløbsvedligeholdelse kan hæve vandstanden, så drænudløbet specielt om foråret hyppigere er neddykket, hvorved vandet opstaves i drænrørene, og drænsystemet forringer sin selvrensende effekt.

- *Sætninger af jorden*
Drænede organiske jorder eller lavbundsjorder, der består af tørv samt sø- eller havsedimenter, sætter sig over tid. Som jorden drænes falder jordlagene sammen, da belastningen fra de øverste jordlag øges som følge af, at der ikke længere er grundvand mellem jordpartiklerne til at bære en del af vægten. Derudover tilfører dræning ilt til jorden, og det aflejrede organiske materiale nedbrydes biologisk. Omsætningshastigheden af de organiske lag varierer meget afhængigt af jordbundsforhold, klima, vandforhold, dyrkningsintensiteten samt typen og mængden af det organiske materiale. Typiske sætningsrater for humusjorde i Europa varierer fra få millimeter til 3 cm pr. år under dyrkning (Bondgaard, et al., 2014). Sætning af jorden reducerer dybden mellem jordoverflade og drænrør. Derudover kan selve drænrøret sætte sig, og det kan ændre faldet på drænsystemet i forhold til vandløbet/drænudløbet og dermed forringe eller ødelægge drænenes vandafledningsevne og selvrensende effekt.
- *Ændret dræningsbehov*
Omlægning af vinterkornafgrøder og ændret arealanvendelse kan medføre et større behov for afvanding (Kronvang, et al., 2013).
- *Tungere landbrugsmaskiner*
Kørsel med tungt maskineri på fugtig jord kan føre til deformation af jordstrukturen med tab af hydraulisk ledningsevne til følge. Det reducerer den nedadgående vandbevægelse og på hældende arealer øges den horisontale vandtransport. Derved sker en større akkumulation af nedbøren i lokale lavninger, hvor det grundet jordpakning ikke eller kun langsomt kan nedsive fra, og i højere grad er afhængig af fordampningen for at forsvinde. Derved opstår en selvforstærkende proces, hvori lavningen bliver endnu mere vandlidende og har længerevarende perioder med vandmættede forhold, hvor fortsat kørsel yderligere øger omfanget af jordpakningen, og lavningens vandlidende areal øges.

De forskellige årsager er ikke indbyrdes uafhængige, og afvandingsproblemerne kan være en kombination af flere årsager. Fælles er dog, at årsagerne skal kendes før en løsning kan findes.

At finde årsagerne og løsningerne kan dog være udfordrende, da dræn- og afvandingssystemet er komplekst og afhænger af forskellige hydrologiske processer og deres interaktion med geologien.

Nærværende rapport har således til formål at beskrive betydningen af dårlig dræning på markfladen, hvilke metoder der findes til at kortlægge årsagerne til dræningsproblemerne samt opridse eventuelle løsningsmuligheder. Ligeledes beskrives vandløbenes betydning for afvandingen og virkemidler til opretholdelse af god afvanding i vandløb gennemgås. Via et konkret eksempel (Løvenholt Gods), hvor der er problemer med våde pletter i marken, vil metoder, som kan anvendes til at finde årsagerne til drænings- og afvandingsproblemer blive afprøvet, og der vil blive kigget på konkrete løsningsmuligheder.

Hensigten med rapporten er, at landmænd og deres rådgivere skal have et samlet overblik over mulige årsager og løsninger på drænings- og afvandingsproblemer samt have eksemplificeret hvordan man på konkrete jorder kan tilgå udfordringen med at bestemme årsagerne samt identificere løsningsmuligheder.

2 DRÆNINGSPROBLEMER PÅ MARKFLADEN

2.1 Betydningen af dårlig dræning på markfladen

En vandlidende mark giver en række dyrkningsmæssige udfordringer. Dette skyldes primært, at vandlidende marker oftest har et højere beliggende grundvandsspejl fra om efteråret henover vinteren og ind i foråret

set i forhold til ikke vandlidende marker. Et højt, terrænnært grundvandsspejl medfører et forhøjet vandindhold i jordprofilen, og øger hyppigheden af vandmætning i rodzonen. Et terrænnært grundvandsspejl har dermed stor betydning for forskellige faktorer, der påvirker dyrkningen af marken, heriblandt afgrødernes rodudvikling, jordtemperaturen, kvælstofudnyttelsen og rettidigheden i markoperationerne.

Rodudvikling

Ved et overskud af vand i jordvolumen nedsættes luftudvekslingen mellem jord og atmosfære kraftigt og der opstår mere og mere iltfrie forhold i jorden. Rødderne på de fleste landbrugsafgrøder kræver en tilstrækkelig ilttilførsel for at kunne respirere og opretholde rodfunktionen. De tåler derfor ikke vandmætning i længere perioder (Styczen, et al., 2016; Jensen, 2002).

Tabel 1: Forskellige plantearters tolerance overfor vandoverskud. Kilde (Jensen, 2002)

Meget modstandsdygtige planter	Ris, flerårige græsser
Middel tolerante planter	Kornarter*, frugttræer, sukkerroer
Følsomme planter	Ærter, bønner, majs
*Underopdeling af kornarter	
Mest modstandsdygtige	Rug, vinterhvede
Middeltolerante	Vårhvede, havre
Mest sårbare	Vårbyg

Afgrøder har forskellige toleranceniveauer for oversvømmelse og høj vandstand i jorden (Tabel 1). Tolerancen er bl.a. påvirket af tidspunktet for vandmætningen, da temperaturen og planternes aktivitet har indvirkning på, hvor skadelig vandmætningen i jorden er. Om vinteren, når temperaturen er lav, kan planterne generelt tolerere betydelige perioder med vandmættede forhold, idet iltfrie forhold opstår langsommere, og planternes aktivitet er begrænset (Jensen, 2002). Som temperaturen stiger, øges iltforbruget, og iltfrie forhold kan i vækstsæsonen opstå på blot få timer (Jensen, 2002).

Et permanent højt grundvandsspejl vil begrænse rodudviklingen i dybden. Et begrænset og overfladenært rodsystem betyder, at der er et mindre jordvolumen at optage næringsstoffer fra og risikoen for vandstress øges, hvis der efter den våde periode forekommer en tør periode (Styczen, et al., 2016). Den ringe rodudvikling og dårlige afgrødevækst på vandlidende marker øger desuden risikoen for et højere ukrudtstryk (Styczen, et al., 2016).

Jordtemperatur

Jordens vandindhold påvirker også jordtemperaturen. Dette har især en betydning for plantevæksten om foråret, da en våd jord har en langsommere opvarmning end en tør og veldrænet jord. Den lavere jordtemperatur i vandlidende jord om foråret forsinker væksten og har en negativ påvirkning på udbytterne (Styczen, et al., 2016).

Kvælstofudnyttelse

Om marken er vandlidende påvirker også jordens kvælstofforsyning. Frigivelsen af plantetilgængeligt kvælstof gennem N-mineralisering og N-fiksering reduceres ved en højt beliggende vandstand, da processen kræver ilt til stede (Styczen, et al., 2016; Jensen, 2002). På vandlidende jorde er tabet af kvælstof således større. Grunden dertil er bl.a., at nitrat under iltfrie forhold omdannes til lattergas (N_2O) og kvælstofgas (N_2) ved denitrifikation, og at risikoen for udvaskning af kvælstof, andre næringsstoffer og pesticider er væsent-

lig større, når jordens makroporer over drænelementerne aktiveres, hvilket hyppigere sker på dårligt drænedes marker (Styczen, et al., 2016).

Vandlidende marker har derved generelt et reduceret N-input i form af reduceret N-mineralisering og N-fiksering og et større tab af kvælstof i form af større udvaskning og denitrifikation. Den dårligere udnyttelse af kvælstof kan i visse tilfælde modvirkes ved ekstra tildeling af kvælstof for at undgå udbyttetab (Styczen, et al., 2016).

Rettidighed

Muligheden for markoperationer afgøres af jordens bæreevne, der bestemmes af jordens vandindhold. Jordens bæreevne aftager med stigende vandindhold og for at undgå risikoen for varige strukturskader, og at sidde fast med maskinerne, må kørsel i marken ofte udsættes på vandlidende marker i forhold til velafdrænedes marker (Børgesen, et al., 2012; Jensen, 2002). Hvis det kun er dele af marken, der er vandlidende, står man i et dilemma. Skal man vente med kørsel til hele marken er farbar, eller skal man køre, når hovedparten af marken er farbar og så vurdere, om man vil køre i det våde område eller køre udenom og efterbehandle, når den våde del er blevet farbar.

Ifølge Aslyng (1980) kan en forsinket såning og dermed kortere vækstsæson betyde en nedgang i høstudbyttet på 70 kg kerne/ha per dag såning af vårafgrøder udsættes (Børgesen, et al., 2012). Dette bakkes op af nyere forsøg, som også viser, at der er et betydeligt tab ved at udsætte såningen af vårbyg til efter midten af april. Opgjort pr. dag er udbyttetabet 60 kg pr. ha for hver dag såningen udsættes i perioden 10. april til 3. maj, og 109 kg pr. ha for hver dag såningen udsættes i perioden 3. til 21. maj (Eriksen, 2017). En spørgeskemaundersøgelse af 939 ejendomme i 1972/73 viste, at forårssåningen under danske forhold ved dræning fremskyndes med 11–13 dage på mineraljord og 18–23 dage på humusjord (Jensen, 2002). Også rettidigheden i høst af afgrøder og såning af vinterafgrøder besværliggøres på vandlidende marker under en våd sensommer og et vådt efterår (Børgesen, et al., 2012).

Udbytte

Den ringe rodudvikling, dårlige luftskifte, lavere jordtemperatur, dårlige kvælstofudnyttelse, højere ukrudtstryk og udskudte markoperationer har samlet set en stor negativ påvirkning på udbyttet og omkostningerne ved dyrkningen af arealet. Betydningen af et permanent højt grundvandsspejl på høstudbytte er signifikant. En undersøgelse af Williamson & Kriz (1970) viste, at der ved et grundvandsspejl i 40–50 cm's dybde kun høstes ca. 60–50 % af, hvad der høstes ved et grundvandsspejl placeret i 150 cm dybde (Tabel 2). En gammel tommelfingerregel siger, at når afvandingsdybden reduceres med 1 cm (i intervallet fra 1 m til 50 cm), falder udbyttet med 1 % (Styczen, et al., 2016). Dette gælder dog ikke helt på grovsandede jorde, hvor den naturlige roddybde ofte er mindre end 1 m. Ikke desto mindre vil udbytterne også her falde som roddybden mindskes.

Tabel 2: Relative høstudbytter som funktion af dybde til grundvandsspejlet i vækstsæsonen. Undersøgelsen foretaget på lerjord. Kilde: (Børgesen, et al., 2012)

	Grundvandsspejlets dybde, cm						
	30	40-50	60	75	80-90	100	150
Afgrøde	----- udbytte, % -----						
Hvede	-	58	77	89	95	-	100
Byg	-	58	80	89	95	-	100
Havre	-	49	74	85	95	-	100

2.2 Fremgangsmåde til bestemmelse af årsager

Der er forskellige årsager til dræningsproblemerne, og derfor er der også flere fremgangsmåder til at kortlægge årsagerne. Det vanskeliggør en konkret beskrivelse af, hvordan man kan bestemme årsagerne. En sådan vejledning forligger således heller ikke på nuværende tidspunkt.

Efterfølgende afsnit præsenterer en overordnet beskrivelse af, en mulig arbejdsgang til at bestemme årsager til dræningsproblemerne.

Der findes forskellige metoder til at undersøge afvandings- og dræningstilstanden på en given mark. Disse metoder kan opdeles i forskellige grupper, henholdsvis vha. frit tilgængelige værktøjer, undersøgelser i marken og metoder til mere omfattende og dybdegående analyser i marken. Valget af metoder afhænger af dræningsproblemernes omfang og kompleksitet samt landmandens ønsker til årsagsbestemmelsen. Jo flere metoder, der benyttes, des mere kendskab og dybdegående viden vil landmanden få om afvandingsforholdene på sine marker.

Skrivebordsarbejde vha. frit tilgængelige værktøjer

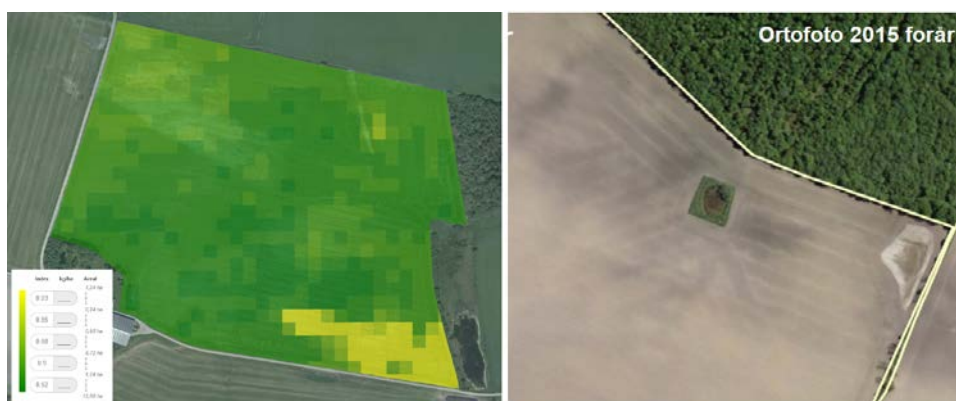
Før landmanden og evt. landbrugsrådgiver eller drænimester går i marken, bør der skabes et overblik over dræningsproblemernes omfang, og om de udgør et tilbagevendende problem. Der er flere metoder, der kan anvendes hjemme fra sit skrivebord til at indsamle overordnet information om mark, recipient og opland. Frit tilgængelige værktøjer som bl.a. MiljøGIS og Danmarks Miljøportal viser en række data om natur, miljø og hydrologiske forhold på webkort. Data fra disse værktøjer egner sig som indledende screening af området og omfanget af dræningsproblemerne, og kan hjælpe med at udpege områder, hvor man i marken vil undersøge for mere specifikke og lokale informationer.

Terrænmodellen og højdekurver giver information om markernes position i forhold til det omkringliggende landskab. Om området ligger lavt eller højt i forhold til det omkringliggende landskab har betydning for markens naturlige afvandingsforhold og for tilstrømningen af vand fra opstrømsarealer. Man kan også ud fra markens position i landskabet få et præj om vandet, der giver anledning til dræningsproblemerne, er lokalt dannet overskudsnedbør (areal placeret højt i landskabet), eller om der er bidrag fra strømninger af regionalt grundvand (arealer placeret lavt i landskabet).

Terrænmodellen og højdekurverne giver også information om hældningsforholdene i terrænet. Er terrænet hældende med stor højdeforskel mellem marken og recipient eller drænsystemets udløb, er de naturlige afdræningsforhold gode. Hvis arealet er fladt med lille højdeforskel, er afdræningspotentialet i højere grad betinget af jordens nedsivningsevner og drænsystemets beskaffenhed.

Bluespot kortet viser de afløbsløse lavninger i terrænet, hvor der potentielt kan opstå problemer med oversvømmelse og vandlidende forhold, fordi vandet her ikke kan ledes væk og derfor bliver opstuvet i terrænet.

Ortofotos og kort over variationen i biomasse fra CropSAT er gode til at bestemme dræningsproblemets omfang. Det er ikke altid, at dræningsproblemet er synligt med det blotte øje i form af stående vand på jordoverfladen, og ofte er omfanget af problemet større end blot afgrænset til den våde plet. Her kan variation i biomasse og afgrødedække samt farveforskelle i jordoverfladen være gode indikatorer (se Figur 1). Ud fra en sammenligning af historiske kort, målebordsblade og ortofotos fra forskellige år, kan man få information om udviklingen i området afvandingsstilstand, og om dræningsproblemerne udgør et tilbagevendende problem.



Figur 1: Det første billede viser markens variation i biomasse baseret på satellitbilleder. De gule områder indikerer lavere biomasse, hvilket kan være en indikation for ringe dræningsforhold og dermed dårlig trivsel for afgrøderne. Billedet er fra CropSAT.dk. På ortofotoet viser aftegningerne i marken drænrørernes placering. Over drænet er jorden lysere, da jorden her er mere tør. Området ned mod vandhullet er langsommere om at afdræne end resten af marken. Billederne er fra MijøGIS (2017).

Markspecifikke undersøgelser

Det er nødvendigt med besigtigelse af området, når årsager til dræningsproblemet skal undersøges. Landmandens lokale viden bør være udgangspunkt for besigtigelsen. Hans viden og beskrivelser af udfordringerne kan hjælpe med bedømmelsen af problemernes omfang, og hvor man i marken bør foretage nærmere undersøgelser af drænsystemet og jordbundsforholdene.

Drænsystemet

Undersøgelsen af om drænsystemet kan være årsag til dræningsproblemerne starter med at opnå et kendskab til det eksisterende drænsystem – hvis der er et. Information om placeringen af det eksisterende drænsystem kan opnås ved at anskaffe eventuelle gamle drænkort, se på ortofotos eller finde drænudløbene ude i marken.

En simpel indikator for om drænsystemet fungerer er om drænsystemet opfylder kriterierne for god dræning. Kriterierne er overordnet, at drænet skal kunne aflede 1 liter pr sek. pr ha (ofte i intervallet 0,8-1,2 liter pr sek. pr ha), og at der er frit udløb i forhold til middelvandstanden i recipienten (Nielsen, 2015). En nærmere beskrivelse af retningslinjerne for drændimensionering kan ses i [Dansk Markdræningsguide](#).

Inspicering af drænudløbene giver god information om drænsystemets afløbsforhold. Er drænudløbene dykket, leder drænene vand, er der sedimenttransport i udløbsrøret er gode indikatorer for, om drænsystemet fungerer.

Ligeledes bør drænbrønde undersøges for, om drænene i brønden leder vand, om drænrørene er dykkede af vandet i brønden og om brønden er fyldt op med bundfald, der blokerer drænudløbene.

Udvalgte steder, hvor man kender drænrørernes placering, er det fordelagtigt at grave ned til drænrørene. Det vil give meget nyttig information om drændybden, faldforhold og rørets tilstand, i forhold til om drænsamlingerne er forskudte, om røret er tilstoppet eller ødelagt. En drænentreprenør vil vha. spuling kunne bistå en fejlfinding af drænsystemet.

Jordbundsforhold

Jordbundsforholdene har stor betydning for bl.a. de hydrologiske forhold, drænsystemets dimensionering, jordens sårbarhed overfor jordpakning og i sidste ende for hvilken løsning der bør vælges. En undersøgelse af jordens øverste 1,5 meter er dermed centralt i forhold til at karakteriser drænings- og afvandingsproblemet og årsager.

Der er flere parametre i jordprofilet, man kan kigge efter for at få viden om jordens afvandingstilstand.

Jordens farve

Jordens farve kan indikere effekten af og behovet for dræning. Udsættes jorden gentagne gange for vandmætning vil det påvirke jordens farve. I lavtliggende, dårlige drænedede områder, hvor grundvandsstanden permanent ligger tæt på jordoverfladen, er jorden grålig evt. med et grønligt eller blåligt skær, og har ofte en sort overjord. Jorde med dårlig indre afdræningsforhold, hvor nedbør opstuvet og danner et periodevist højt vandspejl i rodzonen, får en farvemæssig marmorering af jordbunden i grå og røde farver. Er jorden derimod rødbrun, brun eller gulbrun i hele jordprofilet er jorden tilstrækkelig iltet og udsættes ikke gentagne gange for vandmætning. En vejledning i visuel bedømmelse af jordens drænkasse forekommer i bilag 1. Ved at grave flere jordprofiler i marken kan man undersøge om hele marken er vandlidende eller blot begrænset til bestemte områder i marken.

Jordens tekstur

Jordens tekstur, dvs. fordelingen mellem indholdet af ler, silt og sand, er tæt knyttet til jordens hydrauliske egenskaber. En sandet jord har typisk gode hydrauliske forhold, hvor vandet hurtigt kan afdræne fra rodzonen, og lerede jorde har ofte ringere afdræningsforhold. Særligt vigtigt er det at kigge efter, om teksten varierer igennem jordprofilet, da det kan give information om, der findes jordlag, der hæmmer vandafledningen. Hvis jordens farve indikerer vandlidende forhold, uden at teksten umiddelbart bør være årsagen, er det sandsynligvis terrænforholdene eller drænsystemet, der giver anledning til de vandlidende forhold.

Jordens struktur

Det er dog ikke nok udelukkende at kigge efter jordens tekstur. Hvordan teksten er arrangeret, er mindst lige så vigtigt at vurdere. Jordens indhold af organisk materiale, ler, silt og sand vil ofte være klumpet sammen (aggregeret). Det er disse aggregater, der danner jordens struktur. Aggregaternes størrelse, type og stabilitet har betydning for størrelsen og sammenhængen af jordens poresystem, der er afgørende for jordens indre afdræningspotentiale. Store porer mellem aggregater fungerer som "motorveje" for bl.a. vand, dvs. vandet vil nemmere og hurtigere kunne trænge ned i jorden og ned til drænene ved kraftige nedbørshændelser. Jordens struktur kan derved indikere, om jorden er porøs og velafræende (der er store porer mellem aggregaterne, forekomst af revner og sprækker) eller om jorden er kompakt og dårligt dræende (ingen aggregater, fravær af revner og sprækker, jorden forekommer strukturløs). Aggregaternes stabilitet vurderes ud fra, hvor let og hvor veldefineret jorden falder ud i aggregater (Breuning-Madsen & Krogh, 2013). Det er ligeledes her vigtigt at kigge efter, om jordstrukturen varierer igennem jordprofilet.

Vandstandsede jordlag

Forekomst af vandstandsede lag i jordprofilet, udgør naturligvis en stor begrænsning for jordens afdræningsevne. Vandstandsede lag kan have forskellige oprindelser. De kan forekomme som lavt permeable jordlag såsom lag med strukturløse lerede aflejringer eller som cementering af jorden, eksempelvis myremalm og allag. Vandstandsede lag kan også forekomme som kompakte og sammenpressede lag, eksempelvis pløjesål eller fragipans. Fragipans er kompakte jordlag i 1-2 meters dybde dannet af permafrosten og isens tryk under sidste istid.

Vandstandsende lag kan identificeres ved, at jorden ovenover laget er fugtig eller vandmættet, mens jorden umiddelbart under laget er tørt. Omfanget af vandstandsende lag kan estimeres via målinger af jordmodstanden ved hjælp af et penetrometer eller et simpelt jernspyd. Dermed kan det bestemmes, om der er områder i marken, hvor det er sværere at stikke spydet/penetrometeret ned gennem jorden end andre.

Metoder til dybdegående analyser i marken

Er de lokale jordbundsforhold og de drænmæssige udfordringer særligt komplekse, kan man foretage mere dybdegående undersøgelser som infiltrationstest, måling af vandstanden i jorden og kortlægge jordbunden vha. GCM (Ground Conductivity Meter).

Infiltrationstest

Infiltrationstest kan anvendes til at undersøge jordens evne til at lede vandet gennem jordprofilen. I tilfælde af et hårdt og kompakt lag, kan infiltrationstest tilvejebringe information om, hvorvidt laget er fuldstændigt vandstandsende, eller om der er små revner og ormegange i laget, som man ikke umiddelbart kan identificere via spydtesten, til at lede vandet.

En video-vejledning i hvordan infiltrationstesten udføres kan findes [her](#).

Vandstand i marken

Oplysninger om markens afvandingstilstand kan tilvejebringes ved at måle grundvandstanden over en længere periode med automatiske vandstandsloggere. Daglige målinger af vandstanden kan give information om årsvariationen i vandspejlets højde. Dermed kan man få en indikation af, hvor hurtigt marken afdrænes om foråret, om vandspejlet ligger tilstrækkeligt dybt til at sikre god roddybde for afgrøderne, og om vandspejlet er responsiv til selv mindre nedbørshændelser.

Jordbundskortlægning vha. GCM (Ground Conductivity Meter)

GCM er en geofysisk metode, der egner sig til detaljeret kortlægning af jordlagene inden for de øverste 5-7 m. GCM-instrumentet benytter sig af elektromagnetisk induktion til at estimere jordens elektriske modstand. Modstanden er afhængig af jordteksturen (sand eller ler), af jordvandets ionindhold og af jordens porøsitet. Kompakt og stærkt lerede horisonter har en lav modstand, mens umættet sand- og gruslag har meget høj modstand. På den måde giver GCM en kortlægning af variationen i modstanden, som kan anvendes til at tolke variationen i tekstur- og strukturforhold både i dybden og i udbredelse. Ud fra denne viden om jordbundsvariationen kan man klarlægge, om jordbundsforhold kan ligge til grund for drænings- og afvandingsudfordringerne, og man kan identificere områder til nærmere undersøgelser. Viden om jordbundsforholdene er også nyttige i forbindelse med planlægning af mulige løsninger, eksempelvis projektering af drænsystemer.

Når omfanget af dræningsproblemerne samt kendskab til årsagerne dertil er blevet identificeret, kan man danne sig et overblik over de økonomiske tab dræningsudfordringerne giver samt finde løsninger derpå.

2.3 Løsningsmuligheder

Valget af løsningsmuligheder er afhængig af årsagen/erne, af drænings- og afvandingsproblemets omfang, lokale forhold og landmandens behov. Det vanskeliggør en beskrivelse af konkrete løsningsforslag, da det vil variere fra sted til sted alt efter de givne omstændigheder. Desuden kan flere løsningsmuligheder forekomme til samme problem, ligesom der kan være behov for en kombination af flere løsninger for at løse drænings- eller afvandingsproblemet. Følgende beskrivelse af løsningsmuligheder skal derfor ses som overordnede løsningsforslag, som skal vurderes nærmere ud fra den specifikke situation.

Det er vigtigt, at der undersøges for eventuelle lovmæssige foranstaltninger, før nuværende drænings- og afvandingsforhold ændres. Selvom den frie dræningsret tillader, at enhver grundejer må sænke grundvandet på egen ejendom til den for dyrkningen nødvendige dybde, er der begrænsninger i retten. Det gælder eksempelvis ændring af afvandingsforholdene i okkerpotentielle områder og i §3-områder, som kræver tilladelse efter okkerloven og naturbeskyttelsesloven. Installation af pumper og nye dræningsprojekter kræver ligeledes tilladelse.

Vigtige love:

- Vandløbsloven
- Naturbeskyttelsesloven
- Okkerloven
- Planloven

Hvis vandet ikke kan trænge ned til drænene

Forekomst af vandstandsende lag eller lag med lav hydraulisk ledningsevne kan brydes og løsnes vha. forskellige metoder. Mekanisk jordløsning i dybden vha. grubning og dybdepløjning eller biologisk jordløsning vha. efterafgrøder. Det er dog vigtigt, at drænrøret eller jordens naturlige afdræningsevne under det vandstandsende lag kan håndtere den ekstra vandmængde, der frigøres, når laget brydes.

Mekanisk jordløsning

Ved dyb mekanisk jordløsning gælder den generelle anbefaling, at foretage dyb jordløsning umiddelbart efter høst i tør jord. Den største effekt af mekanisk jordløsning opnås, hvis jorden under det kompakte lag har gode hydrauliske egenskaber.

Det er vigtigt, at drænsystemets placering og drændybde kendes præcist, så drænrørene ikke risikerer at blive beskadigede under arbejdet.

- *Grubning*

Ved grubning løftes jorden i dybden, hvilket kan skabe revner og sprækker og dermed løsne det kompakte lag. Jf. Figur 2 anbefales grubning kun når vandindholdet i jorden er omkring visnegrænsen. Hvis jorden er for fugtig og leret i dybden, når der grubes, vil der ske en sammenkitning af de luftporer, revner og sprækker, der trods alt findes. Dermed vil behandlingen gøre mere skade end gavn. Det kan dog være vanskelig at opnå de meget tørre forhold i lavninger og andre våde områder, der kræves for hensigtsmæssig grubning.

Ved grubning er der også risiko for hurtig genpakning efter behandling. Særligt på lerede jorde, hvis de generelle afvandingsforhold ikke ændres som følge af grubningen.

- *Dybdepløjning*

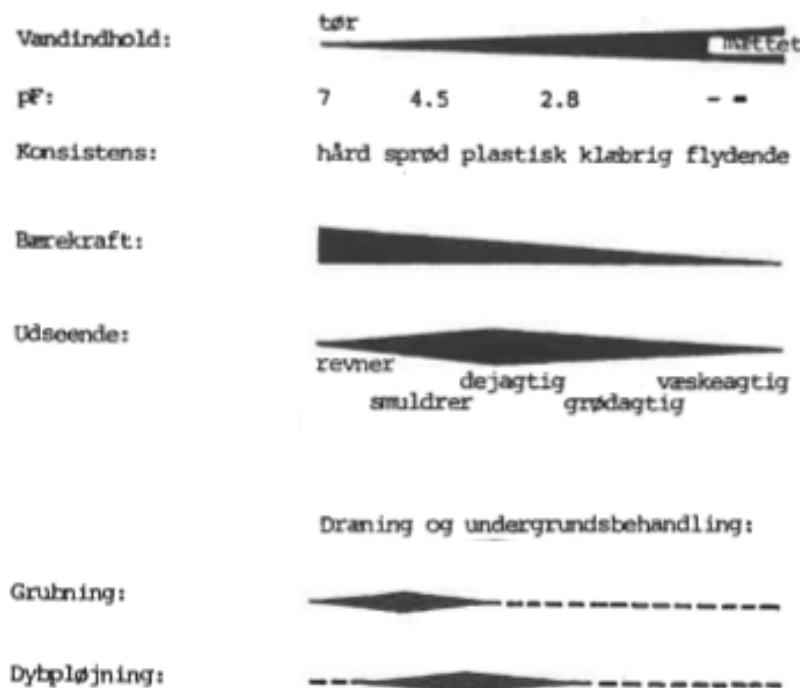
Ved dybdepløjning brydes de vandstandsende lag og jorden blandes rundt, så underjorden føres op over overjorden. Dybdepløjning kan foregå ved et lidt højere vandindhold end grubning (jf. Figur 2). Metoden kan være en mulighed, hvis jorden er lagdelt, og underjorden har et højt indhold af organisk materiale og næringsstoffer, da dette jordlag efter dybdepløjningen vil udgøre pløjelaget.

Biologisk jordløsning

Som alternativ eller supplement til mekanisk jordløsning kan dyrkning med efterafgrøder som olieræddike og lucerne være en løsning. Disse afgrøder har en kraftig pælerod, der kan trænge ned igennem det pakke-lag. Forsøg har vist, at der efter fem års dyrkning af olieræddike som efterafgrøde var flere sammenhængende og gennemgående makroporer i den nedre del af pløjelaget og i pløjesålen (Munkholm, 2016). Det kan dog tage flere år, før man ser effekten af biologisk jordløsning, men effekten kan være mere langsigtet. Dette skyldes, at olieræddike og lucerne øger tilførsel af organisk stof i dybden, hvilket giver

føde til regnorme og andet jordbundsfauna, som alt andet lige også vil bidrage til en forbedret og mere stabil jordstruktur (Munkholm, 2016).

Jorden kan dog være så kompakt og fuldstændig rodstandsende, at en biologisk jordløsning ikke er muligt. Derudover er der risiko for, at efterafgrøderne lange rødder vil trænge ned i drænene, hvilket øget behovet for spuling.



Figur 2: Hvilke egenskaber der er tilknyttet en lerholdig jord ved forskellig vandindhold og i forhold til hvilke behandlingsformer, der bør anvendes. Figur modificeret fra (Jensen, 2002).

Hvis drænsystemet ikke fungerer

Spuling af drænrør

Spuling af drænrør kan rense tilstoppede dræn. Spuling bør foretages, når vandspejlet står over drændybden. Grunden dertil er, at vådt sediment er nemmere at fjerne, og at den uønskede gennemtrængning af spulevand til pakningsmaterialet eller jorden omkring drænet vil være begrænset under vandmættede forhold (Nielsen, 2015).

Når man foretager spuling, skal man være opmærksom på, at hvis aflejringerne i drænrørene, eksempelvis okker, kan forårsage forurening i vandløb, søer eller havet skal spulevandet opsamles og udspreddes på marker i omdrift (Nielsen, 2015).

Dykkede dræn

Er drænudløbene dykkede eksempelvis som følge af stigende vandstand i tilstødende vandløb, bør drænudløbet føres op i niveau, så det sikres frit udløb ved normal vandstand (hvilket omtrent svarer til middelvandstanden i marts). Det vil ændre faldet på drænsystemet. Hvor stor en del, der påvirkes afhænger af terrænhældningen, jordbundsforholdene og det nuværende fald på hoveddrænet.

Overordnet set, vil det typisk i topografiske velafgrænsede ådale være muligt at lægge hoveddrænet med et mindre fald, og stadig opretholde en optimal drændybde for hovedparten af drænsystemet og sikre en tilstrækkelig vandaflledningsevne til at opretholde drænrørens selvrensende effekt. I mere fladt terræn eller i tilfælde af bagvedliggende lavninger kan det være nødvendigt at kompensere et reduceret fald med øget rørstørrelse på hoveddrænet. Hvis ikke det er muligt at opretholde en passende vandaflledning i drænsystemet med det nye fald kan pumpning af drænvandet overvejes.

Reparation eller omdræning?

Hovedparten af arealer med drænings- og afvandingsproblemer er i større eller mindre grad drænet i forvejen (Olesen, 2009). Deraf melder spørgsmålet sig ofte, hvorvidt drænsystemet skal repareres, udbygges eller helt omdrænes. Om man skal se bort fra de gamle dræn eller om de skal indarbejdes helt eller delvist i det nye tiltænkte drænsystem afhænger af drænenes alder, beliggenhed og beskaffenhed og må derfor vurderes i hvert enkelt tilfælde.

Reparation anbefales, hvor drænsystemets overordnet projektering, dimensionering og drændybde er tilfredsstillende og hvor en spuler og minimal opgravning kan afhjælpe dræningsproblemet. Det kan eksempelvis være udskiftning af enkelte drænrør og etablering af nye rensemuligheder såsom drænbrønde.

Hvis drænarbejdet i sin tid er dårligt udført, enten fordi drændybden er for ringe, systemet er underdimensioneret eller arbejdet har været mangelfuldt, eller hvis man ikke ved hvor drænene ligger, er der sjældent grund til at reparere drænsystemet og omdræning må være løsningen (Jakobsen, 1946).

Andre metoder

Overfladedræning vha. planering og grøblerender

Planering af marken betyder, at man udjævner markens terræn. Enten ved at fylde lavninger op, eller spidse marken op på midten for at skabe hældning mod grøften, hvis marken er flad. Hvis ikke der er grøfter kan planeringen kombineres med grøblerender, der bortleder vandet mod recipienten. Det er dog ikke i alle kommuner, at planering og grøblerender er velsete, da det kan øge sedimenttransporten mod recipienten. Der er desuden grænser for hvor meget jord, man kan flytte på én gang, da man ellers risikerer at blotlægge råjorden. Det vil sige, hvis der skal flyttes meget jord, må det gøres over flere år. Desuden må jorden ikke være våd, når der planeres, og det er lettest at planere, når marken er friskpløjet.

Overfladedræning kan anvendes hvor traditionel dræning ikke er muligt eller som supplement til traditionel dræning.

Overfladedræning er dog et emne, der endnu ikke er blevet undersøgt nærmere under danske forhold, hvilket begrænser anbefalingen af overfladedræning som mulig løsning til dårlig afvanding og dræning.

Hvis ikke de ovenstående løsninger synes at være tilstrækkelige, kan den yderste konsekvens være at afstå arealet, ændre dyrkningen fra ager til græsning, indgå i vådområdeprojekter, jordbytning med mere.

3 VANDLØBSAFVANDING

I Danmark findes der omkring 69.000 km vandløb. Ca. 75 % af disse er mindre vandløb, bække og grøfter med en bundbredde på mindre end 2,5 m (Miljøstyrelsen, 2017). Vandløbene har en ensrettet vandtransport i faldets retning og afleder vand og stof (sand, grus osv.) fra land til hav og udgør vigtige levesteder for dyr og planter (Bøgestrand, 2003).

For dansk landbrug er det vigtigt at vandløbenes afvandingssevne opretholdes og følger afstrømningens udvikling, da dette sikrer, at vandet hurtigt og effektivt kan afledes og en god dræning af markerne opretholdes. Dette kan bidrage til, at landbruget kan opretholde en høj produktivitet og fortsat være konkurrencedygtige på verdensmarked.

Da, som indledningsvist nævnt, størstedelen af de danske vandløb er reguleret og dimensioneret ift. de systematiserede drænanlæg på markerne og tilpasset de hydrologiske forhold under de store dræningsperioder (1860-1900 og 1930-1970) har ændringer i bl.a. de hydrologiske forhold, arealanvendelse, regulering og restaurering af vandløb betydning for vandløbsafvandingen og dræningen.

Her er det vandløbslovens formål at sikre, at vandløb kan benyttes til afledning af vand herunder overfladevand, spildevand og drænvand også efter gennemførelse af foranstaltninger (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017) som f.eks. regulering og restaurering af vandløb. Samtidig skal der dog tages hensyn til natur- og miljømæssige krav til vandløbskvaliteten (fastsat i henhold til anden lovgivning f.eks. planloven, naturbeskyttelsesloven, miljømålsloven eller miljøbeskyttelsesloven) ligesom ved vandløbsvedligeholdelsen (grødeskæring og opgravning).

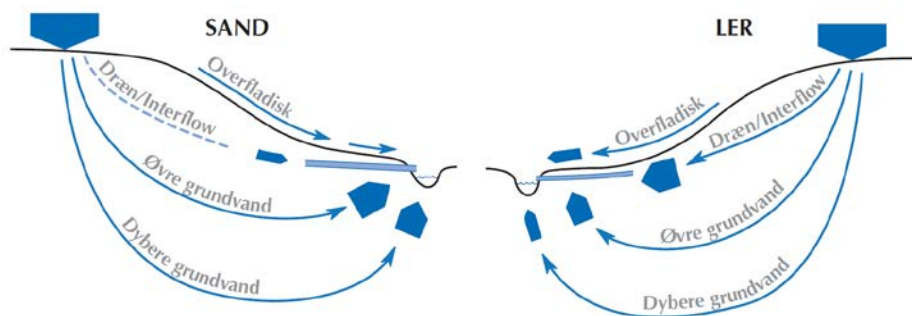
3.1 Variationer og udvikling i vandløbsafstrømningen

Vandløbsudretningen i det 20. århundrede betød, at vandløbene blev kortere og fik større fald. Kombineret med vandløbs-overfald (spærringer) kunne man opnå en mere sikker afvandning, der var afstemt med drændybden. For vandløbsafstrømningen betød dette, at der var mindre vand om sommeren, men mere vand ved større regnhændelser. Det sidste på grund af en kombination af hurtig dræning af markfladen til vandløbet og fordi vand ikke længere kunne opmagasinere i fugtige enge og moseområder. Således er variationen i vandføringen mellem årstiderne og fra dag til dag blevet større pga. vandløbsudretningen (Sand-Jensen og Lindegaard, 2004).

Vandløbenes afstrømningsmønstre afhænger af om de primært er grundvandsfødte eller om vandet strømmer til vandløbet via de øverste jordlag og gennem dræn. På sandjorde vil en stor del af nettonedbøren sive ned til grundvandet og i mindre grad overfladisk eller via dræn direkte ud i vandløbet, se

Figur 3. Dette betyder, at afstrømningen i vandløb er mere konstant i løbet af året ift. i vandløb, hvor jordbundsforholdene er mere lerede. I lerede områder varierer afstrømningen i vandløbene mere henover året, og vandløbene kan i sommerperioden være udtørrede, da store dele af nettonedbøren løber af overfladisk eller via dræn,

Figur 3 (Wiggers, 2007; Sand-Jensen og Lindegaard, 2004). Denne forskel i afstrømningsmønstre ses tydelig mellem vest og østdanske vandløb pga. sandede aflejringer mod vest og lerede aflejringer mod øst.



Figur 3: Vandets strømningsveje til vandløb i hhv. sandede og lerede jorder. Pilenes tykkelse indikerer, hvor stor en andel af vandet der strømmer af strømningsvejen (Wiggers, 2007).

Undersøgelser af ændringer i vandafstrømningen i danske vandløb fra 1917 – 2000 viser, at den årlige middelfafstrømning er øget. Ligeledes er både maksimums- og minimumsafstrømningen steget. Specielt i vinterhalvåret er den gennemsnitlige månedsafstrømning steget, men også i forårmånederne (april – juni) ses der stigninger i mange vandløb. Stigningerne i vandløbsafstrømningen skyldes i vinterperioden stigende nedbørsmængder, da Danmark i perioden 1917 – 2000 har fået vådere vintre (oktober – marts) og tørre somre. Dette har samtidig medført en større grundvandsdannelse i vinterperioden, som via det øvre grundvand infiltrerer til vandløbene gennem foråret og sommeren. Således har det resulteret i, at den gennemsnitlige månedsafstrømning er steget i forårmånederne samt sommermånederne for nogle vandløb. Derudover kan stigende vandløbsafstrømninger også tilskrives faktorer som ændringer i arealanvendelse (mere befæstet areal og skov) og ændrede afvandingsforhold. Konsekvenserne ved stigende vandløbsafstrømninger er først og fremmest at større mængder skal håndteres og afvandings rytme og dynamik ændres. Dette kan medføre, at vandløbenes dimensioner vil ændres, stoftransporten øges og afvandingen forringes (Bøgestrand, 2003; Larsen *et al.*, 2005).

I dag er tendensen i højere grad, at vandløbsrestaureringer forsøger at vende tilbage til det naturlige mæandreende forløb, og naturværdi har fået større betydning i samfundet. Dette kan have en yderligere negativ effekt på vandløbenes afvandingssevne (Gertz *et al.*, 2012). Samtidig antyder prognoserne for fremtidens klimaforandringer at årsmiddelnedbøren forøges, specielt vinternedbøren øges markant mod slutningen af det 21. århundrede (Klimatilpasning.dk, 2015). Dette betyder, at fremtiden kan byde på endnu større afvandingsbehov, og at opretholde god afvanding i vandløbene er afgørende for fremtidens landbrugsproduktion.

3.2 Virkemidler ift. at opretholde god afvanding i vandløb

Ifølge vandløbsloven skal der udarbejdes regulativer for alle offentlige vandløb. Et vandløbsregulativ fastsætter bl.a. bestemmelser om vandløbets skikkelse eller vandføringsevne, herunder regulativvandstande samt vandløbets vedligeholdelse. Regulativet udarbejdes af vandløbsmyndigheden (kommunen) på baggrund af en afvejning mellem vandafledning samt natur og miljøhensyn. Afvejningen og de bestemmelser, vandløbsmyndigheden fastsætter i regulativet, er dog begrænset af, at den fastsatte målsætning for vandløbet skal opfyldes (Miljøministeriet Skov- og Naturstyrelsen, 2007).

Bestemmelserne i vandløbsregulativerne har således stor betydning for vandløbenes afvandingssevne, og da omkring halvdelen af det danske landbrugsareal er afhængig af denne afvanding for at kunne opretholde en høj produktion (Styczen, 2017) er afvandingsproblematikken ofte til diskussion. Balancen mellem både at sikre vandafledningen samt de natur- og miljømæssige interesser ved fastsættelse af regulativernes bestemmelser om vedligeholdelse er ofte komplicerede og kan medføre uoverensstemmelser (Miljøministeriet Skov- og Naturstyrelsen, 2007).

Det er vandløbsmyndigheden, som skal foretage vandløbsvedligeholdelsen i forhold til det fastsatte regulativ i offentlige vandløb (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017). Vedligeholdelsen omfatter primært grødeskæring samt opgravning af aflejringer, og har til hensigt at sikre afvandingen af arealerne langs vandløbene. Grødeskæring er sammen med andre virkemidler til at opretholde god afvanding i vandløb beskrevet i de efterfølgende afsnit.

Grødeskæring

Vandstanden i vandløb har betydning for, hvor godt et vandløb afvander de vandløbsnære arealer. Jo lavere vandstand jo bedre afvanding. Størrelsen af vandføringen har betydning for vandstanden. Ligeledes har vandløbets skikkelse (bredde, dybde, fald) og strømningsmodstand. Da mængden af grøde på et vandløbs

bund og sider reducerer gennemstrømningsarealet og udløber en strømningsmodstand (rugthed) på vandet, er dette medvirkende til en øget vandstand i vandløbet. Dette kan give problemer ift. afvandingen af vandløbsnære arealer (Simonsen et al., 2016). Grødeskæring fjerner disse fysiske forhindringer og forbedrer vandløbets vandføringsevne og reducerer vandstanden for en periode (Miljøministeriet Skov- og Naturstyrelsen, 2007). Således anses grønnskæring også for et effektivt virkemiddel til at sænke vandstanden i vandløb og dermed forbedre afvandingen af vandløbsnære arealer i sommerperioden (Simonsen et al., 2016). Dette er specielt gældende for de flade strækninger, som ofte er problematiske da vandet løber langsomt væk og ikke naturligt bevarer en strømrende (Piet Zacho og Gertz, 2016).

Den typiske grønnskæringsmetode er omfattet i en undersøgelse af effekten af grønnskæring på vandstanden i mellemstore (2 – 10 m brede) og store (> 10 m brede) vandløb udført af Simonsen et al. (2016). Den viser, at i månederne juli, august og september, hvor grønnskæring har størst effekt, falder vandstanden med under 20 cm i 75 % af vandløbene, hvor grønnskæring blev gennemført. Den maksimale registrerede effekt var et fald i vandstand på 73 cm (august). Undersøgelsen viser også, at plantegenvæksten stiger med skæringshyppigheden fordi dette bl.a. fremmer hurtigt voksende arter, der tåler hyppige skæringer, samtidig med at lysforholdene forbedres. Således konkluderer Simonsen et al. (2016) at en øget grønnskæringshyppighed vil kunne medføre et stigende grønnskæringsbehov. Samtidig har omfattende grønnskæring en negativ effekt på vandløbets biologi og er omkostningstungt (Miljøministeriet Skov- og Naturstyrelsen, 2007). En optimeret grønnskæring med større effekt er f.eks. Aalborg metoden (se specifikke grønnskæringsmetoder i nedenstående afsnit)

Således skal der ud fra en afvandingsmæssig synsvinkel, hvor der samtidig tages højde for at forbedre natur- og miljøtilstanden i vandløbene, udføres en skånsom grønnskæring, der er baseret på en grundlæggende forståelse for vandløbets biologi samt vandets strømningsmønster (Miljøministeriet Skov- og Naturstyrelsen, 2007). Grønnskæring i danske vandløb er dog stadig helt afgørende for at sikre en tilstrækkelig afvanding og dermed en høj produktion på landbrugsarealerne (Piet Zacho og Gertz, 2016). Ethvert vandstandsfall forårsaget af grønnskæring er af betydning for afvandingen af marker, hvis et dræns udløb kommer fri af vandspejlet i vandløbet (Styczen, 2017). Det vil forbedre dyrkningen af marken, heriblandt afgrødernes rodudvikling, jordtemperaturen, kvælstofudnyttelsen og rettidigheden i markoperationerne (jf. kapitel 2).

Nedestående beskriver kort forskellige metoder, som anvendes i forbindelse med skånsom grønnskæring.

Strømrendeskæring

I vandløbet udføres grønnskæringen som en bugtende strømrende, hvor hovedparten af vandet naturligt løber. Den afvandingsmæssige effekt afhænger af forskellige faktorer så som bl.a. vandløbets fald og bredde samt de klimatiske forhold (Miljøministeriet Skov- og Naturstyrelsen, 2007). At grønnskære i smalle strømrender vil øge bundforskydningsspændingen og dermed muligvis kunne fjerne finkornede kohæusive materialer som mudder, dynd, silt og ler fra vandløbsbunden (Larsen, 2014)

Netværksskæring

Udføres grønnskæringen som netværksskæring laves ikke kun én men flere strømrender. Strømrenderne er smallere end ved strømrendeskæring, men summen af strømrendebredden/vandføringsevnen er den samme. Dermed er afstrømningsinteresserne mellem netværksskæring og strømrendeskæring ens, men netværksskæring tager i højere grad hensyn til natur og vandløbsmiljøet (Skov- og Naturstyrelsen, 2007).

Aalborg metoden

[Aalborgmetoden](#) er anvendt og udviklet i mellemstore og store nordjyske vandløb med lille fald og indbefatter en hyppig, hurtig, smal og hård slåning i bunden af et vandløbs bugtende strømrønde. Kniven, som anvendes under grødeskæringen, er robust og skærer sumpplanterne omkring roden, hvor de har deres vækstpunkt, så genvækst forsinkes. Erfaringer med Aalborgmetoden viser, at denne kan sikre både afvanding og miljø samtidig, da metoden har vist at kunne ændre plantesamfundet i vandløb fra at bestå af stive, hurtigvoksende sumpplanter til en mangfoldig vandplantesammensætning bestående af langsomt voksende vandplanter, som i højere grad lader vandet passere, men som også tilgodeser flere arter (Piet Zacho og Gertz, 2016). Således har Aalborgmetoden den fordel, at den ikke fører til et større grødeskæringsbehov og øget grødeskæringshyppighed, som Simonsen et al. (2016) konkluderede for andre grødeskæringsmetoder.

Etablering af skyggegivende vegetation på vandløbsbredder

Beplantning af skyggegivende vegetation på vandløbsbredder kan bortskygge vandløbsgrøden, og dermed være med til at opretholde en god vandføringsevne i vandløbene samt reducere udgifter til vandløbsvedligeholdelse. Hansen et al. (1980) og Larsen, T. (2014) anser således også skyggegivende vegetation som det nok mest effektive virkemiddel imod grødevæksten i vandløb. Samtidig vil det være med til at sænke vandtemperaturen og give vandløbsfaunaen bedre betingelser (Larsen, 2014). Bortskygges alle vandplanter kan dette dog medføre ensartede fysiske forhold med manglende leve- og skjulesteder for vandløbsdyr. Samtidig kan dette også fremme erosion (Miljøministeriet Skov- og Naturstyrelsen, 2007).

Beplantning langs vandløb er nævnt i vandløbsloven som et virkemiddel. Beplantningen må dog kun foretages efter tilladelse af vandløbsmyndigheden. I de enkelte vandløbsregulativer kan retten til plantering, beskæring og bevarelse af træer langs vandløbskanten være beskrevet (Miljøministeriet Skov- og Naturstyrelsen, 2007).

Opgravning

Opgravning af aflejringer kan blive nødvendig, hvor sand og slam aflejres, hvor strømningshastigheden er lav. En succesfuld grødeskæring kan dog f.eks. ved indsnævring af strømrønder bidrage til at øge strømningshastigheden og dermed undgå aflejringer (Miljøministeriet Skov- og Naturstyrelsen, 2007).

Udnyttelse af tidevand

Larsen (2014) teoretiserer, at for de meget tidevandspåvirkede vestvendte vandløb med sluser, må det være muligt aktivt at udnytte tidevandet til rensning og forbedring af bundsubstratets kvalitet ved ændret anvendelse af slusernes funktion. Dette vil medføre, at opgravning af aflejringer ikke er nødvendigt på flade strækninger på slusernes indersider, samt at bundmaterialets kvalitet forbedres. Tidevandets positive indvirkning på sedimenttransportevnen ses ofte på flade, kystnære vandløbsstrækninger, hvor vandløbstrømmer frit og udmunder i havet. Her bevirker tidevand og vindinducerede vandstandsændringer at sedimenter ikke aflejres i vandløbet men føres ud i havet (Larsen, 2014).

Dobbeltprofil

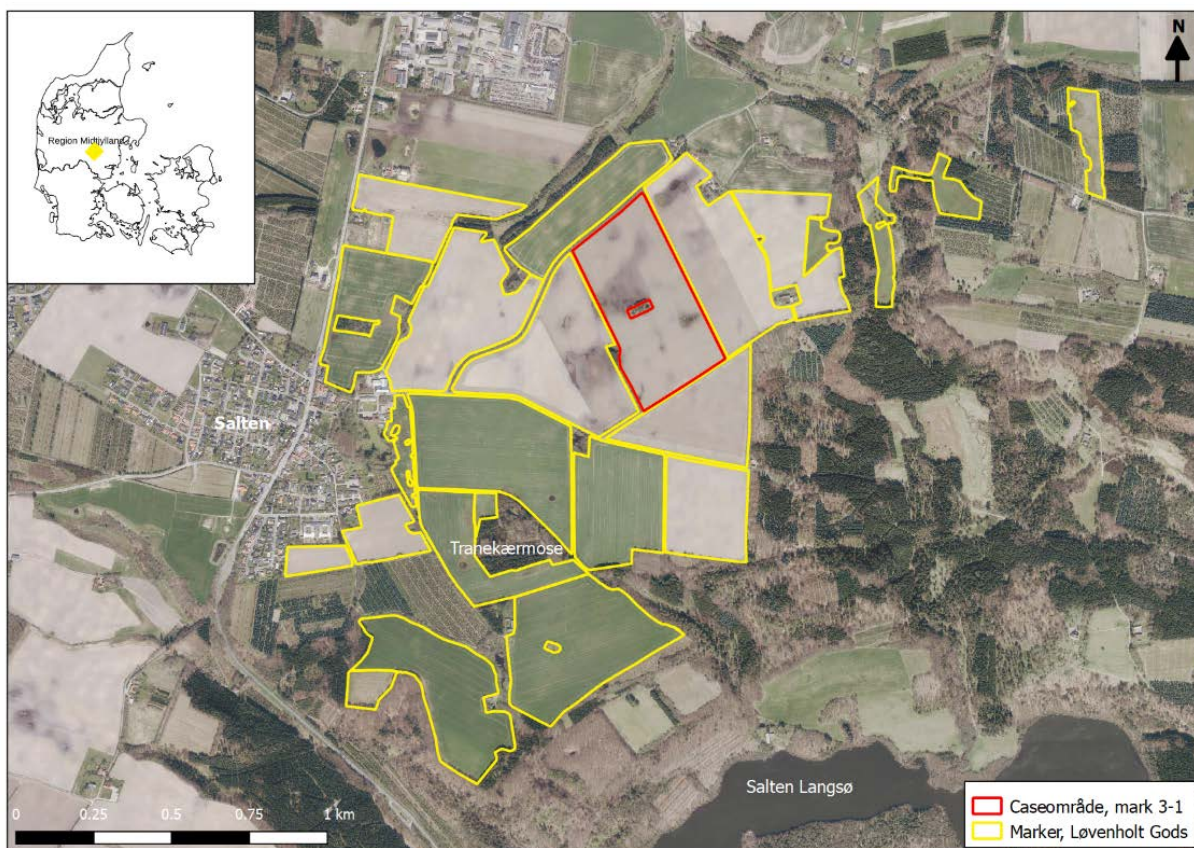
Når der etableres dobbeltprofiler, strømmer den daglige vandføring i en dybereliggende smal rende/kanal. Det smallere tværsnit gør, at vandets gennemstrømningshastighed øges og dermed øges den daglige bundforskydningsspænding også, så sedimenter, der kan medføre blødbundsforhold, ikke aflejres. Dette gør at tværsnitsprofilen opretholdes og vandløbet kan føre vandet væk. Ved store vandføringer udvides vandløbet til at strømme i et større og bredere tværsnit (Larsen, 2014).

Miniådale

I en miniådal strømmer et genslynget vandløb i et nedgravet profil, som er etableret i samme niveau som det udrettede vandløb. Vandløbsbrinkerne er afgravede, så de er flade, og resultatet minder om en naturlig ådal, hvor vandet ved stor afvandingsbehov kan oversvømme de flade arealer. Miniådalen er således med til at genskabe vandløbets naturlige mæandering og forbedre vandløbets økologiske tilstand samtidig med at afvandingen bibeholdes (SEGES Planter & Miljø, 2016).

4 PILOTOMRÅDE: LØVENHOLT GODS

Som beskrevet indledningsvist kan der være flere årsager til drænings- og afvandingsproblemer. Forhold som stigende nedbørsmængder, stigende grundvandsstand, ændring i vandløbsvedligeholdelse, drænsystemets beskaffenhed og tungere landbrugsmaskiner nævnes i teorien og i en rundspørge blandt landbrugsrådgivere og drænentreprenører som hyppige årsager. De forskellige årsager er ikke indbyrdes uafhængige, og der kan være flere årsager samtidig. Ud fra eksisterende viden om generelle forhold, der påvirker dræningsforholdene, er det ikke muligt at afdække den primære årsag til dræningsproblemerne på bedriftsniveau. Af den årsag er der udvalgt et pilotområde, hvor dyrkningsmæssige og lokalitetsbetingede årsager til stigende problemer med vandlidende jorde og forslag til dræntekniske løsninger kortlægges. Der er valgt en mark ved Løvenholt Gods som pilotområde (se Figur 4 for pilotområdets lokalitet).



Figur 4: Løvenholt Gods ligger ved Salten ca. 10 km syd for Silkeborg. Det udvalgte pilotområde er mark 3-1, der er markeret med rødt og som danner udgangspunktet for undersøgelser i nærværende rapport.

På Løvenholt Gods er afvandingsproblemerne primært relateret til våde områder i markens lavninger (Figur 5). De våde pletter i marken øges i antal og størrelse år efter år til stor gene for en intensiv, rettidig plante-produktion. De dyrkningsmæssige problemer forbundet med de våde lavninger er bl.a., at dele af behand-

lingerne i planteproduktionen må udskydes til, når hele marken er farbar. Det betød eksempelvis, at gylletilførslen i foråret 2017 blev forsinket med 2-3 uger, og som billederne på Figur 5 viser, kan der i de værste tilfælde slet ikke sås i lavningerne, mens de i andre lavninger kan efterså, når lavningen har afdrænet og er farbar.



Figur 5: Dræningsproblemerne i markens lavninger er så omfattende, at de ikke kan sås. Billederne er taget d. 24. maj 2017. Foto: Stinna Susgaard Filsø, SEGES

Baggrunden for at vælge Løvenholt Gods som pilotområde er, at flere landbrugsrådgivere netop påpeger de våde pletter i markens lavninger, som den store udfordring for landmændene. Desuden medfører de generelle forhold ved Løvenholt Gods såsom hydrologien, landskabet, jordbunden, klimaet, drænsystemet og dyrkningspraksis, at årsagen til dannelsen af de våde pletter ikke er åbenlyse.

Derfor undersøges i hvilken grad dræningsproblemerne på Løvenholt skyldes:

- Øget nedbørsmængder
- Den overfladenære geologi
- Kompakte jordlag
- Driftens drænsystem
- Høj grundvandsstand
- Påvirkninger fra vandløb

Det gøres med det formål at kvantificere udstrækningerne af ovenstående forhold på de oplevede dræningsproblemer på Løvenholt Gods samt for at afprøve metoder til at afdække årsagen. Slutteligt vil vi komme med løsningsforslag og anbefalinger til praksis.

4.1 Lokalitetsbeskrivelse

Arealanvendelse

Løvenholt Gods er fra 1830 og forvalter 324 ha jord, hvoraf hovedparten dyrkes økologisk. Ca. 30 % af arealet er permanent græs, mens andre primære afgrøder for vækstsæsonen 2017 er henholdsvis vårhavre (14 %), vinterrug (13 %), rajgræsfrø (10 %) og vårhvede (8 %) (Tabel 3).

Tabel 3: Informationer om fordelingen af afgrøder på Løvenholts arealer. Afgrødedata for vækstsæsonen 2017 er fra Landbrugsstyrelsen.

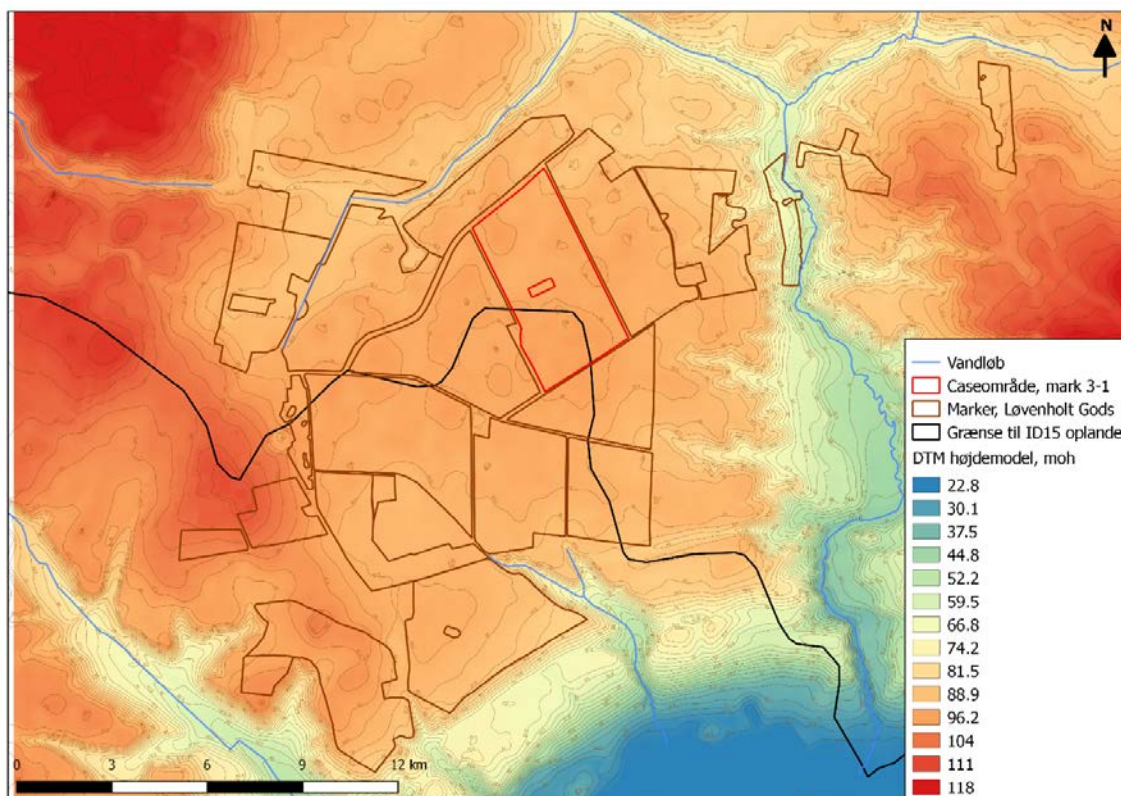
Afgrødekode	Afgrøde	Hektar	Antal marker	% af samlet areal
2	Vårhvede	8	1	2
3	Vårhavre	45	5	14
4	Blanding af vårsåede kornarter	15	2	5
6	Vårhvede, brødhvede	27	2	8
14	Vinterrug	44	8	13
42	Hamp	25	3	8
101	Rajgræsfrø, alm.	34	3	11
252	Permanent græs, normalt udbytte	97	33	30
260	Græs med kløver/lucerne, under 50 % bælglpl.	28	2	9
Sum		324	53	100

Landskab og jordbundsforhold

Løvenholt Gods ligger i et kuperet randmorænelandskab tæt ved isens hovedtilstandslinje, hvor landskabet er formet af isens virke (Smed, 1981). Siden istiden har periglaciale processer og dyrkningsbetinget erosion udglattet landskabet, som det fremstår i dag. Store dele af jorden på Løvenholt Gods marker er moræne med overvejende sandbund, men de glacielle processer i forbindelse med randmorænenes placering danner grundlag for stor variation i aflejningsmønstret og dermed jordbundsforholdene.

Løvenholt Gods er placeret relativt højt i forhold til det omkringliggende landskab på et mindre, fladt plateau (se Figur 6). Landskabet er domineret af en række afløbsløse lavninger (se Figur 7). I lavningerne er der siden istiden sket en tørveopbygning, hvilket vidner om naturlige vandlidende forhold i lavningerne. Som det også fremgår af drænsystemet på Figur 7 er mange af lavningerne på Løvenholt Gods marker pletdrænede. Det medvirker til, at tørvelaget i dag er omsat pga. dræning og opblandet med den øvrige mineraljord i pløjelaget som følge af dyrkningen på marken.

Generelt er drænsystemerne koncentreret om at afdræne bedriftens marker, der er placeret midt på det flade plateau, da et fald på 60-80 m fra markerne og ned til Salten Langsø sikrer gode afvandingsforhold for de marker, der ligger nærmest søen og tilstødende vandløb.



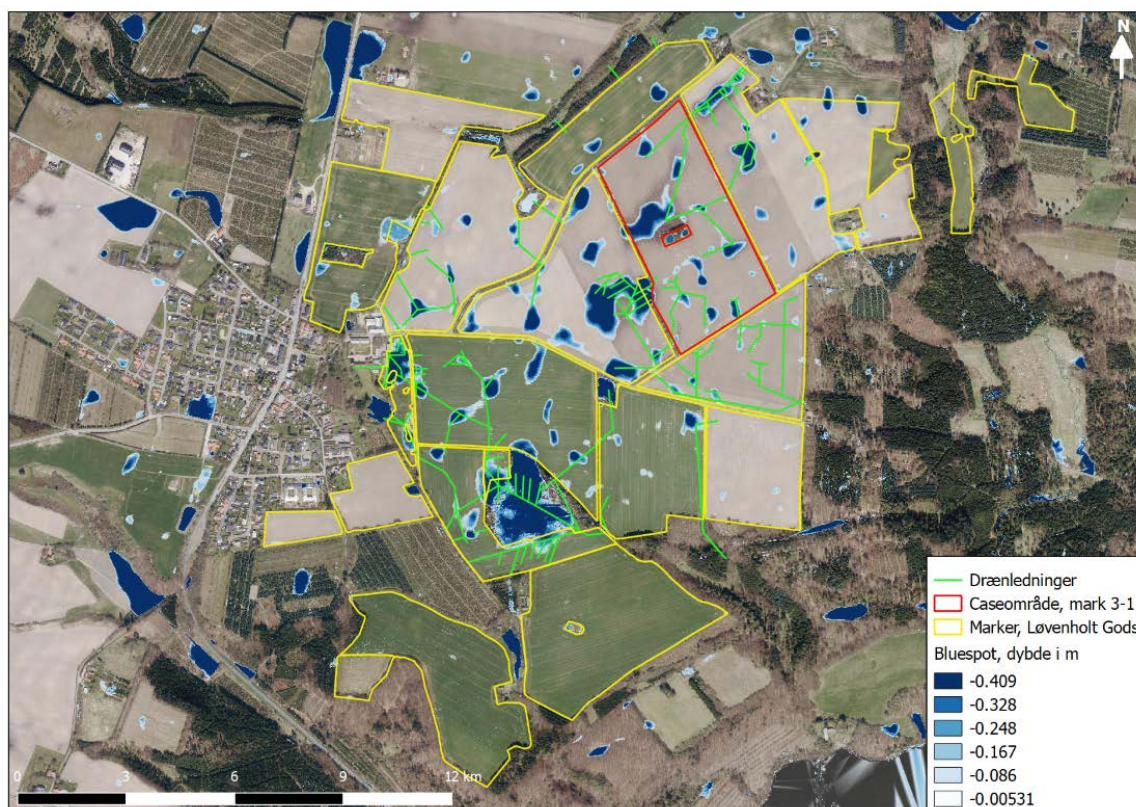
Figur 6: Løvenholt Gods er placeret på et fladt plateau i et ellers kuperet morænelandskab. Et fald på 60-80 m fra godsets arealer til Salten Langsø giver gode afvandingsforhold for de marker, der ligger nærmest søen og tilstødende vandløb. Et ID15-vandskel baseret på topografien opdeler arealerne på Løvenholt Gods, hvilket betyder, at vandafstrømningen fra Løvenholts marker har flere retninger. Højdemodellen (DTM/Terræn 0,4 m grid) er fra Geodatastyrelsen, 2017.

Hydrologi, vandløb og grundvandsstand

Nedbørsforholdene ved Løvenholt Gods er påvirket af dens placering på den jyske højderyg, da højderyggen skaber en del skydannelse og dermed nedbør (Scharling & Cappelen, 2017). Den gennemsnitlige årsnedbør er 907 mm, hvor der falder mest nedbør i november med 102 mm og mindst i april med 51 mm (DMI, 2017). Af nedbøren infiltrerer ca. 350 mm til grundvandet (GEUS, 2017). Resten fordamper eller afstrømmer på overfladen til vandløb, bække eller grøfter.

Arealerne ved Løvenholt Gods afvander til flere mindre vandløb/grøfter i nærheden af markerne, som afvander til Salten Langsø, der er en del af Gudenåsystemet.

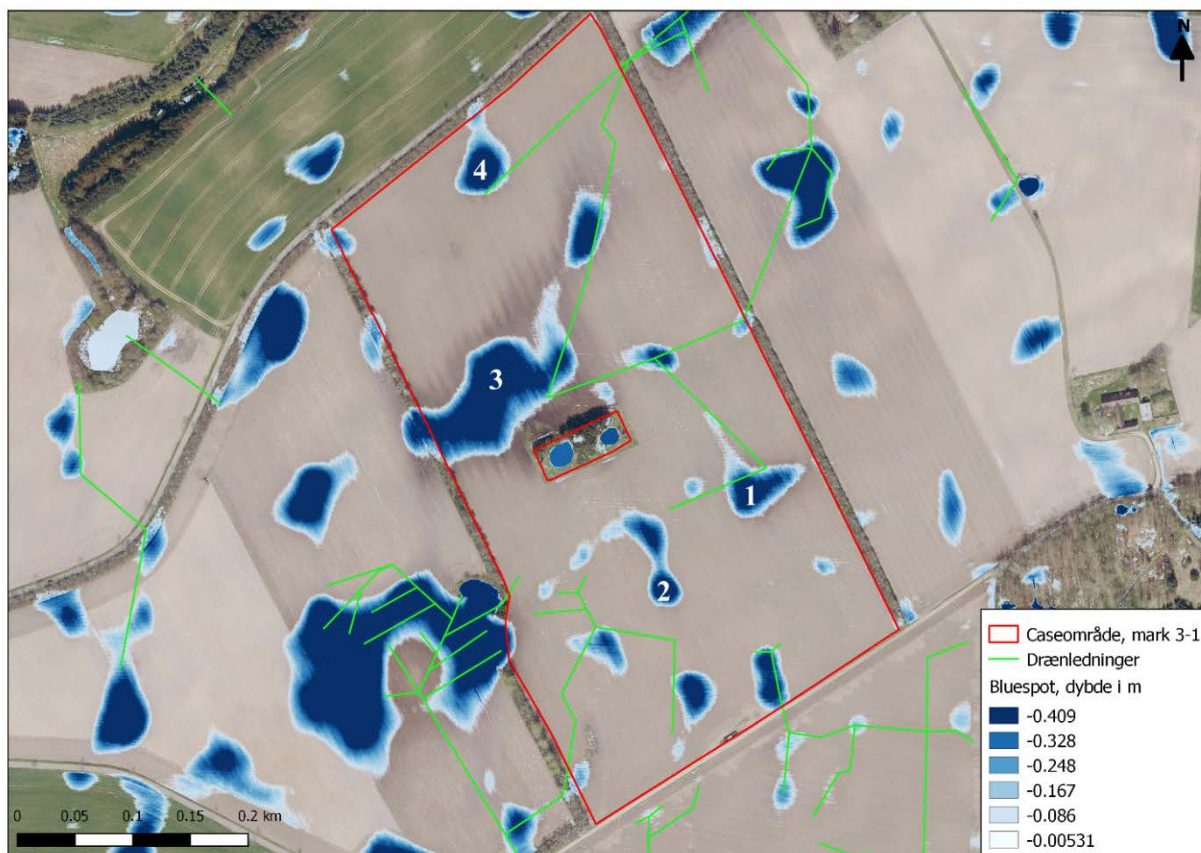
Pejlinger af grundvandsstanden (data fra Jupiter databasen) i området viser, at det primære grundvandsmagasin har et trykniveau beliggende 30 - 80 m under terræn. Dette indikerer, at den observerede højtstående grundvandsstand på Løvenholt Gods arealer er af sekundær art. Da Løvenholt ligger relativt højt i forhold til det omkringliggende landskab og afdræner ned til Salten Langsø, forventes det, at det sekundære vandspejl er dannet i marken af lokalt overskudsnedbør, og at der ikke er et bidrag fra regional grundvandsstrømning.



Figur 7: Udbredelsen af blue spot, afløbsløse lavninger, på Løvenholt Gods. Blue spot-områderne er lavet på baggrund af Digitalt Terrænmodel (DTM) fra Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (2017).

Forsøgsmarken

Marken, der danner rammen om undersøgelserne på Løvenholt Gods, er vist på Figur 8. Af de afløbsløse lavninger på kortet, er det især områderne omkring lavningerne 1, 2, 3 og 4, hvor landmanden har problemer med vandlidende forhold. Disse lavninger er knyttet til drænsystemet, der løber nordpå. Kortlægningen af den overfladenære geologi og jordbundsforhold, vandstandsmålinger, infiltrationstest og drænforhold er undersøgt med udgangspunkt i forsøgsmarken.



Figur 8: Undersøgelserne foretaget på Løvenholt Gods er primært koncentreret om dræningsproblemerne ved lavningerne 1, 2, 3 og 4 på mark 3-1, som er markeret med rødt.

4.2 Undersøgelse af mulige årsager

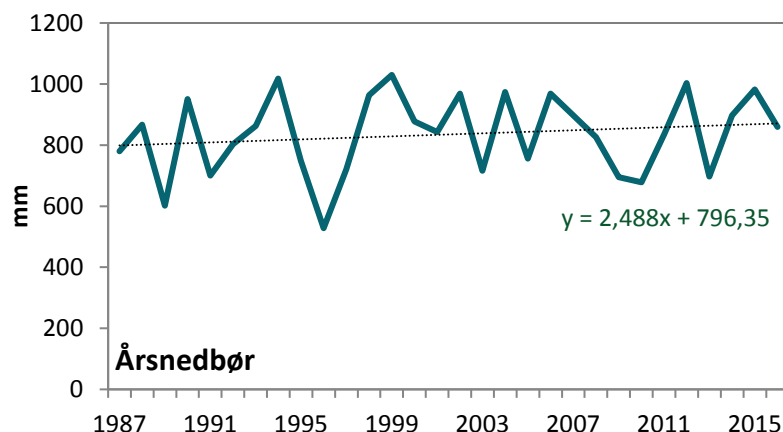
I følgende kapitel vil undersøgelsen af mulige årsager som øgede nedbørsmængder, geologien og jordbundsforholdene, skadelig jordpakning, driftens drænsystem, høj grundvandsstand eller vandløbet blive præsenteret.

Udviklingen i nedbørsforhold ved Løvenholt Gods

Udviklingen i den årlige nedbør for området omkring Løvenholt Gods fra 1987-2016 ses i Figur 9. Det ses, at den gennemsnitlige årsnedbør er steget med 2,5 mm/år, hvilket er en samlet forøgelse på 75 mm over den 30-årige periode.

Det er vanskeligt at fastslå den langsigtede udvikling i nedbør ved Løvenholt Gods, da der ikke foreligger nedbørsmålinger for området over en længerevarende, historisk tidsperiode. En sammenligning med nedbørsforhold fra andre undersøgelser besværliggøres af forskelle i nedbørsdata (målte nedbørsdata eller griddata, korrigeret eller ukorrigeret nedbørsdata) og store lokale variationer i nedbørsfordelingen. En undersøgelse af udviklingen i årsnedbøren for Skjern Ås opland over en 150 års periode, viste en stigning på 2,67 mm/år (Karlsson, et al., 2010). To af klimastationerne i undersøgelsen er placeret i Østjylland, mens de resterende er placeret i Midt- og Vestjylland, hvor stigningen i årsnedbøren generelt er størst. Ved en klimastation i Grønbæk, der ligger ca. 30 km nord for Løvenholt Gods, er der målt en stigning i årsnedbør for perioden 1917-2000 på 0,94 mm/år (Larsen et al. 2005). Deres nedbørsdata er ikke korrigeret i forhold til vindpåvirkningen, dvs. det er muligt værdierne underestimerer den faktiske nedbør.

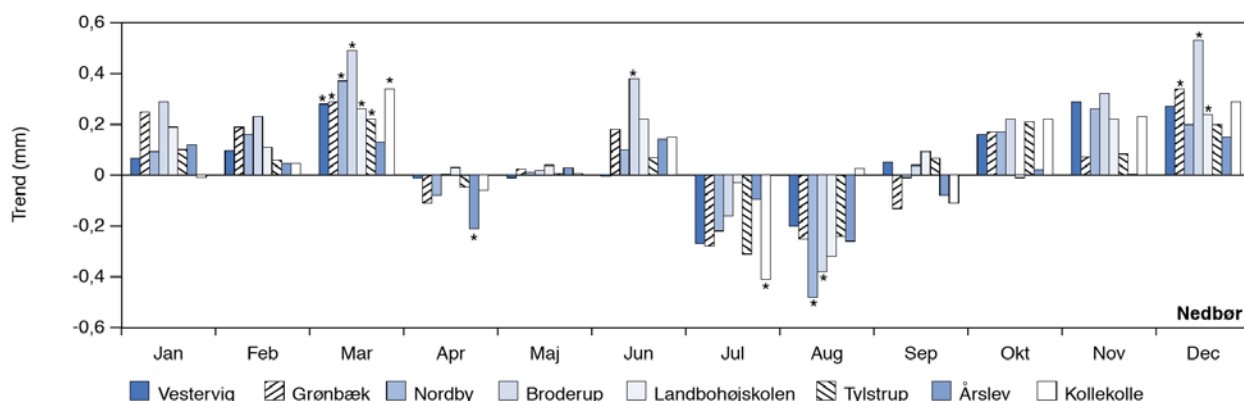
Endvidere er den observerede stigning i årsnedbøren på landsplan ikke jævn fordelt igennem tiden. Stigningen i årsnedbøren er beskeden indtil omkring 1960, og først derefter accelererer stigningen (Cappelen & Jørgensen, 2017). Man kan derfor ikke antage, at stigningen i nedbøren fra 1987-2016 på 2,5 mm/år er repræsentativ for hele perioden fra drænsystemets etablering i 1930 og frem til i dag.



Figur 9: Årsnedbøren for området omkring Løvenholt Gods er steget med ca. 2,5 mm årligt fra 1987-2016. Nedbørsdata er griddata fra DMI hentet fra Kvadratnettet.

Det antages, at stigningen på 2,5 mm/år er repræsentativ for 1960-2017, da stigningen er sammenlignelig med den fundet af Karlson et al. (2010). Antages årsnedbøren fra 1930-1960 at være uændret, vil årsnedbøren – groft estimeret - siden drænsystemet blev etableret i 1930 være steget med ca. 140 mm.

Nedbørsforøgelsen har dog en skæv fordeling over året. Målte nedbørsændringer for Grønbæk klimastation on indikerer, at der over en periode fra 1917-2000 generelt er sket en stigning i nedbøren fra oktober til marts og et fald i nedbøren fra april til september (med undtagelse af juni) (se Figur 10).



Figur 10: Ændringer i månedsnedbøren ved otte klimastationer i perioden 1917-2000. Grønbæk klimastation ligger 30 km nord for Løvenholt Gods. Statistisk signifikante ændringer ($P < 0,05$) er vist med en stjerne over/under søjlerne i figuren (Larsen et al. 2005).

Nedbørsstigning i vinterperioden vil primært ende som overskudsnedbør til øget grundvandsdannelse og øget afstrømning til vandløb. En øget grundvandsdannelse kan medvirke til, at grundvandsstanden ikke

sænkes om sommeren i samme grad som tidligere, men forbliver relativt højt beliggende. Derved får jorden ikke mulighed for at tørre ud, og jordens hulrum fyldes hurtigere op igen om efteråret.

Den overfladenære geologi

HydroGeophysics Group fra Aarhus Universitet har kortlagt de overfladenære jordlag (de øverste 5-8 m) med GCM (DualEM) og geologien under (de øverste 30 m) med tTEM (towTEM) på et 26 ha stort område, der dækker forsøgsmarken og en del af nabomarken. DualEM og towTEM måler jordens elektriske modstand. Grus og sand har en høj modstand, mens ler har en lav modstand. På den måde kan man ud fra modstandskortlægningen se variationen i jordlagene både horisontalt og vertikalt.

For en mere detaljeret beskrivelse af instrumenterne og resultaterne henvises til bilag 2 og bilag 3. De geofysiske målinger er suppleret med syv geomorfologiske profilbeskrivelser af jordens øverste 1,5 m, som er udført af GPS Agro. For en nærmere beskrivelse af profilbeskrivelserne henvises til bilag 4.

Kort opsummeret viste resultaterne, at der i den østlige del af det kortlagte område blev målt meget høje modstande, svarende til smeltevandssand. Flere steder i området når det sandede jord næsten op til terrænoverfladen. Fra 10 meters dybde og ned til mere end 70 meters dybde viser tTEM forekomsten af et større smeltevandssandsgrundvandsmagasin, hvis udbredelse strækker sig over hele arealet.

I markens vestlige del, er den overfladenære geologi meget mere kompleks. Her er store variationer i jordens elektriske modstand, og svinger fra meget sandede aflejringer (smeltevandssand) til meget lerede/organiske aflejringer (smeltevandssler). Udbredelsen af det lerede lag vokser med dybden og dækker således i 4-5 meters dybde ca. halvdelen af den vestlige del af undersøgelsesarealet. Flere steder er lerlaget flere meter tyk.

Der blev fundet en god korrelation mellem områder, hvor der både er en lavning og smeltevandssler inden for de øverste 0,5-5 m, og de observerede vandlidende lavninger.

Profilbeskrivelserne viste, at de lerede lag i lavningerne har en meget lav hydraulisk ledningsevne pga. fraværet af revner og sprækker. Meget lerede jorde kan opnå en god jordstruktur, som revner og sprækker, når jorden gentagende gange opfugtes og udtørres, fryses og optøs. Men da lavningerne er samlingspunkt for vandet fra det omkringliggende terræn og pga. af det våde vejr, tørrer lavningerne sjældent ud. Ligeledes medvirker de milde vintre til, at jorden sjældent fryser til i dybden. Det medvirker alt sammen til, at det tykke lag smeltevandssler i underjorden fremstår som mere eller mindre vandstandsende.

Den lerede underjord er også årsag til, at der dannes trykvand på arealet. Når overskudsnedbøren ikke kan infiltrere, opstuvendes vandet i jordprofilet og presses ud højere i terrænet, langs siderne af lavningerne. Det betyder, at de vandmættede forhold ikke kun relaterer sig til bunden af lavningerne, men også højere i terrænet. Trykvandet opstår efter nedbørsrige perioder, dvs. primært i efterår- og vintermånederne og kan i værste tilfælde gøre, at hele marken er vandlidende.

Kompakte jordlag

De geofysiske og geomorfologiske undersøgelser viste, at det terrænnære lag med smeltevandssler ikke forekommer i alle af markens lavninger, som er vandlidende. Årsagen til afvandingsproblemet i disse lavninger må være en anden.

For at behandle marken rettidig køres der ofte i og omkring markens lavninger, selvom jorden er våd. Dette kan medføre komprimering af jorden under pløjelaget og danne en kompakt pløjesål. I flere lavninger er der

fundet et meget kompakt lag under pløjelaget. Dette stemmer overens med, at de kan køre i de våde lavninger uden at sidde fast, hvilket tyder på, der er et kompakt lag, som kan modstå vægten fra maskinerne.

For at undersøge om kørsel under våde forhold er årsagen til det kompakte lag i lavningerne, blev der udført en række infiltrationstests omkring lavning 1. Formålet var at undersøge om jordens nedsivningsevne var dårligere for underjorden i lavningen i forhold til underjorden på bakketoppen ved siden af lavningen, hvor der ikke køres under våde forhold.

Der blev den 20.-21. juni 2017 udført i alt 9 infiltrationstests, 6 nede i og omkring lavningen og 3 på bakketoppen. Testene blev udført i jorden under pløjelaget i ca. 30 cm dybde.

Resultaterne viste varierende infiltrationsrater på mellem 0,2-2,0 mm/min, hvilket er sammenlignelige med rater fundet af Daraghmeh, et al. (2007), som var 0,01-1,1 mm/min på en sjællandsk sandblandet lerjord. Samlet set viste infiltrationsmålingerne, at infiltrationsevnen var lavest for underjorden i bakketoppen og højest for underjorden ved lavningen, hvilket er modsat det forventede. Dette skyldes formentligt, at alle tests blev foretaget i samme dybde, dvs. i ca. 30 cm, men at det kompakte lag i lavningen forekom i 40 cm dybde. Derved repræsenterer infiltrationsevnen i lavningen ikke det hårde lag korrekt.

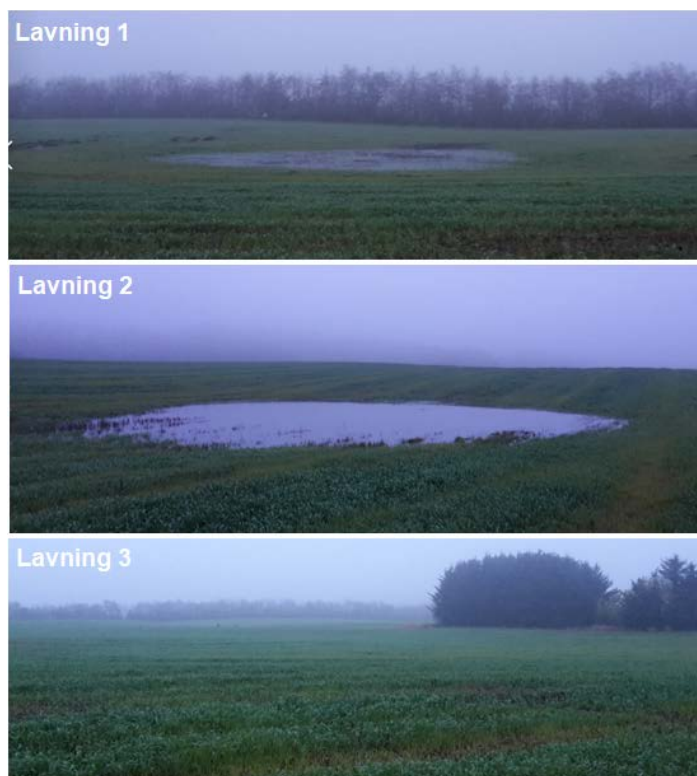
Der blev efterfølgende forsøgt at foretage målinger i det kompakte lag i 40 cm dybde, men laget var så hårdt, at det ikke var muligt at banke røret ned i jorden og dermed foretage infiltrationstestene. Dette vidner om, at laget er meget vandstandsende, og en infiltrationsmåling formentlig ville vise ingen nedsivning.

På baggrund af infiltrationstestene er det ikke muligt at fastlægge, om årsagen til det hårde lag skyldes kørsel i marken. Observationer gjort i forbindelse med infiltrationstestene indikerer ingen forekomst af kompakt lag på bakketoppen, men udelukkende i lavningen.

Omfanget af det kompakte lag i forsøgsmarken er blevet undersøgt via jordprofilbeskrivelserne udført af GPS Agro (for nærmere beskrivelse henvises til bilag 4). Konklusionerne fra undersøgelsen er, at laget er et stærkt cementeret myremalmslag, hvis udbredelse er varierende, men synes udbredt i store dele af det sydøstlige hjørne af marken. Hvor laget er sammenhængende, er det rød- og vandstandsende.

Myremalmslaget udgør en væsentlig hindring for afvandingen i lavning 1 og 2 (jf. figur 8). Vandet kan ikke trænge ned til drænene, men forbliver på jordoverfladen og er afhængig af fordampning for at forsvinde. Som billederne i Figur 11 også viser, har de to lavninger et fritstående vandspejl over jordoverfladen, mens de resterende lavninger i marken, hvor det hårde lag ikke findes, er våde og vandmættede, men vandspejlet står ikke over terræn. I jorden mellem lavning 1 og 2 findes myremalmslaget ikke i de øverste 1,5 m af jordprofilet.

Laget er formentligt dannet naturligt som følge af, at reduceret jernholdigt grundvand er strømmet til lavningerne fra højereliggende dele af marken, hvorefter jernet er oxideret og genudfældet ved mødet med den iltholdige overjord. At lagets hovedsageligt forekommer i de laveste steder i marken, kan skyldes dels at terrænforskellen gør, at den iltrige overjord ligger nærmere jordoverfladen end på bakkedragene, og dels at horisontal vandbevægelse mod lavningerne er udbredt, således at de modtager mere jernholdigt vand end de højereliggende dele af marken.



Figur 11: Hvor myremalmslaget er fundet (lavning 1 og 2), står der blankt vand på overfladen. Billederne er taget d. 16.11.17 af Stinna Susgaard Filsø, SEGES.

På baggrund af jordbundskortlægningen vurderes det, at skadelige jordpakning som følge af kørsel under våde forhold ikke er årsagen til vandstuvning i lavningerne. Det kan dog ikke udelukkes, at kørsel i lavningerne har bidraget til omfanget af dræningsproblemerne i lavningerne.

Dimensionering af driftens drænsystem

Kortlægningen af jordbundsforholdene viste, at lavningerne ikke naturligt kan bortlede overskudsnedbøren ved nedsivning til undergrunden, hvilket er grunden til, at det har været nødvendigt at dræne lavningerne kunstigt med drænanlæg.

Drænsystemet på forsøgsmarken blev anlagt i omkring 1930. Hvem der har projekteret og etableret drænsystemet vides ikke, men Hedeselskabet (nu Orbicon) har projekteret andre drænsystemer på Løvenholt Gods, bl.a. systemet, der afvander Tranekærmosen. Siden 1930 har der været småreparationer af drænsystemet primært udført i 1990'erne og 2000'erne. Her blev alle overgange igennem læhegn erstattet med fasterør og nogle steder blev drænrør udskiftet med større rørstørrelser. For drænsystemet i forsøgsmarken er drænedningen, der afvander lavning 4 udskiftet fra 40 mm til 110 mm. Drænedningen, der afdræner lavning 1 og 2 er ikke direkte koblet til drænbrønden. I drænbrønden er der sat et 65 mm drænrør som indløb og udløb. Placeringen og længden på de udskiftede dræne i drænbrønden kendes ikke.

Informationer om drænsystemet er skaffet på baggrund af driftens drænkort, drænkort fra Hedeselskabet, observationer i marken og viden fra driftslederen. Drænbrønde og drænudløb er blevet kortlagt med GPS, så deres præcise placering og kote kendes.

Det er forsøgt at grave ned til dræneene, med det formål at kende drændybden og rørets tilstand, men uden held. Af den grund er det ikke muligt at undersøge drænet tilstand i forhold til drændybde, om tilslutningerne fungerer, om røret er tilstoppet eller ødelagt.

Derfor undersøges drænsystemets funktionalitet ud fra en teoretisk betragtning om kriterierne for drænsystemets dimensionering er opfyldt i forhold til den vandmængde, det skal bortlede. Drænrør dimensioneres ud fra fald og forventet vandmængde. Rørstørrelsen er kendt (55 mm), mens vandføring og fald er ukendte størrelser.

Der er taget udgangspunkt i drænsystemet omkring drænbrønden og drænrøret, der dræner lavning 1 og 2 (se figur 8). Forventet vandmængde, der afvander ned til drænbrønden, er estimeret på baggrund af vandoplandet til drænbrønden og typiske afstrømningsværdier anvendt i drændimensioneringen. Størrelsen på det opland, der afvander til drænbrønden, er bestemt vha. Scalgo, og er beregnet til at være 3,52 ha (bilag 5). De fleste drænsystemer er dimensioneret efter at kunne bortlede 1 liter pr sek. pr ha (Nielsen, 2015). Det vil sige, at vandføringen bliver 3,52 l/s, hvis afstrømning på 1 l/s pr ha antages.

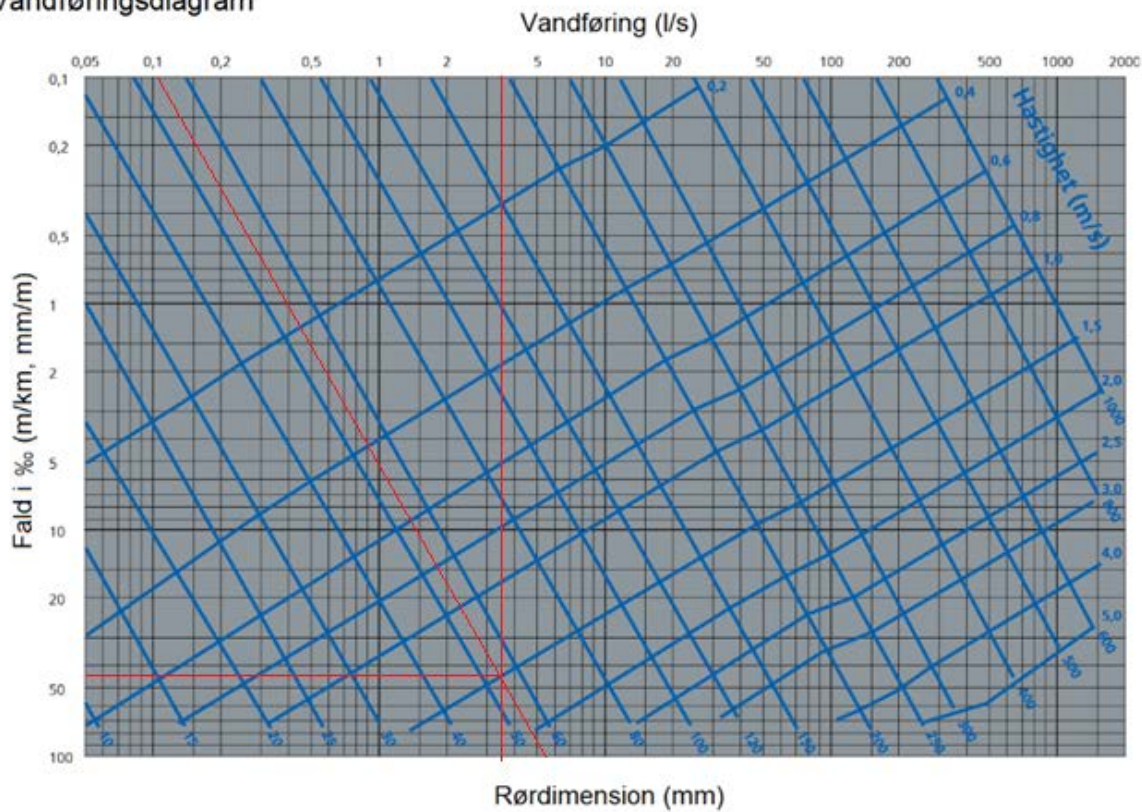
Det skal dog nævnes, at Scalgo tager udgangspunkt i terrænoverfladens topografi. Det topografiske opland tager ikke højde for en mulig grundvandsstrømning, som kan betyde, at en større vandmængde afstrømmer til brønden. Det antages dog, at det topografiske opland er repræsentativ for den vandmængde, der afvander til drænbrønden.

Ifølge et nomogram over rørstørrelse for drænrør, skal faldet på drænrøret være ca. 50 ‰, før en rørstørrelse på 55 mm kan håndtere en vandføring på 3,52 l/s (se Figur 12). Det er langt over den almindelige praksis, hvor hovedledninger har et minimumsfald på 1-3 ‰ (Nielsen, 2015). Det er ikke realistisk, at drænrørene er lagt med så stort et fald, ej heller muligt, da det vil kræve en afvandingsdybde, der overgår terrænkoten.

En vandføring på 3,52 l/s og et fald på 3 ‰ vil ifølge nomogrammet kræve en rørstørrelse omkring 100 mm, dvs. over dobbelt så stort som det nuværende drænrør.

En anden problemstilling med drænsystemet på Løvenholt Gods er, at der ikke er taget højde for trykvandet i det nuværende drænsystem. Når der blot er placeret ét drænrør i bunden af hver lavning, og der ikke er sideledninger til at opsamle trykvandet, hvor det dannes, risikerer man, at det afstrømmer langs lavningernes sider og overbelaster hoveddrænets kapacitet. Desuden øges risikoen for, at sediment eroderer fra siderne og pakker til omkring hoveddrænrøret i bunden af lavningen. Vandet forsvinder kun langsomt fra lavningen, og røret slemmes til af sedimenter eroderet fra de højereliggende arealer. Det er en selvforstærkende effekt, og drænsystemets funktion nedsættes med tiden.

Vandføringsdiagram



Figur 12: Nomogram beskriver sammenhængen mellem rørets diameter, faldet og vandhastigheden ved en given vandføring. Nomogrammer er rørspecifikke og opgives af rørfabrikanterne. Nomogrammet her er fra (PipeLife, 2009). De røde linjer angiver de ovenfor omtalte dimensioner.

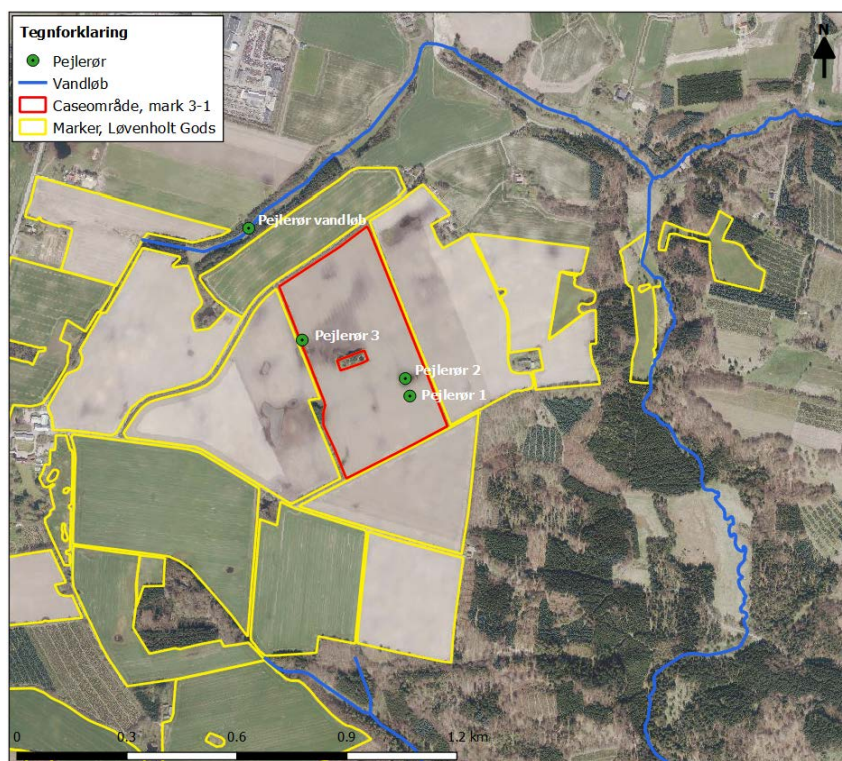
Overordnet kan det konkluderes, at drænsystemet er underdimensioneret. Det var det allerede ved anlægelsen i 1930, da der ikke er taget højde for håndteringen af trykvandet. Tilmed er der siden drænsystemet blev anlagt i 1930 sket en stigning i årsnedbøren på ca. 140 mm, og det skal i dag således håndtere større nedbørsmængder. Desuden blev hovedparten af drænrørene etableret, da bedriften var et kvægbrug med græs på markerne, hvor der formentligt ikke var det samme behov for stor drændybde som nu, hvor landbruget er intensiv planteavl.

Påvirkninger fra grundvandsstand

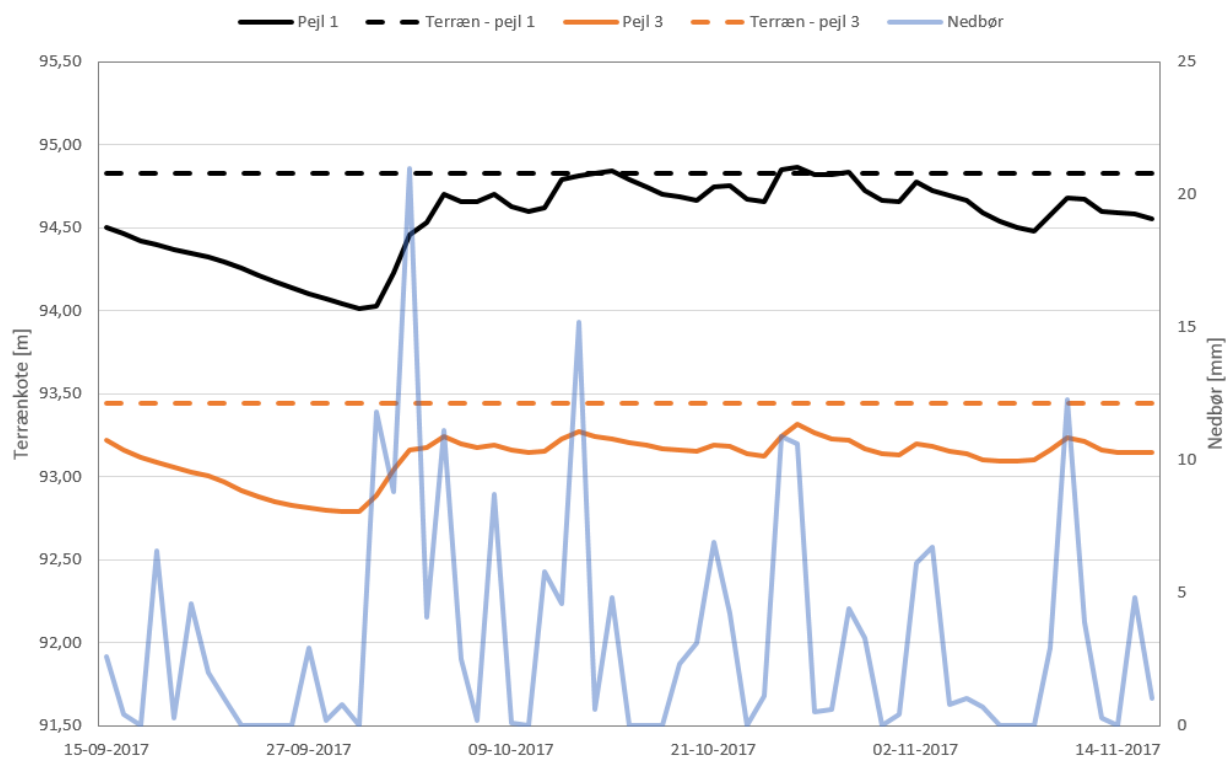
Vandstanden i marken er siden september 2017 blevet registreret ved pejling med automatiske vandstandslogger med det formål at undersøge dynamikken i den terrænnære grundvandsstand.

Resultater fra vandstandsloggerne fra 15. september 2017 til 14. november 2017 er vist i Figur 14.

Det har ikke været muligt at indsamle vandstandsdata for pejl 2, og derfor præsenteres kun resultaterne for pejlerør 1 og 3.



Figur 13: Tre pejleboringer er placeret på forsøgsmarken og en pejleboring er placeret i nærliggende vandløb.



Figur 14: Vandstanden for markens vestlige del (pejl 1) og østlige del (pejl 3) er vist for måleperioden 15. september til 14. november 2017 og sammenlignet med nedbøren for samme periode. Nedbørsdata er hentet fra DMI's 10x10 klimagrid (DMI, 2017)

Overordnet set har vandstanden for begge pejlinger ligget meget terrænnært i hele måleperioden og specielt siden en større nedbørshændelse i starten af oktober. Ved pejl 1 i markens østlige del har vandstanden ligget 0-30 cm under terrænen siden oktober, og ved pejl 3 i markens vestlige del har vandstanden ligget lidt dybere mellem 20-40 cm under terrænen.

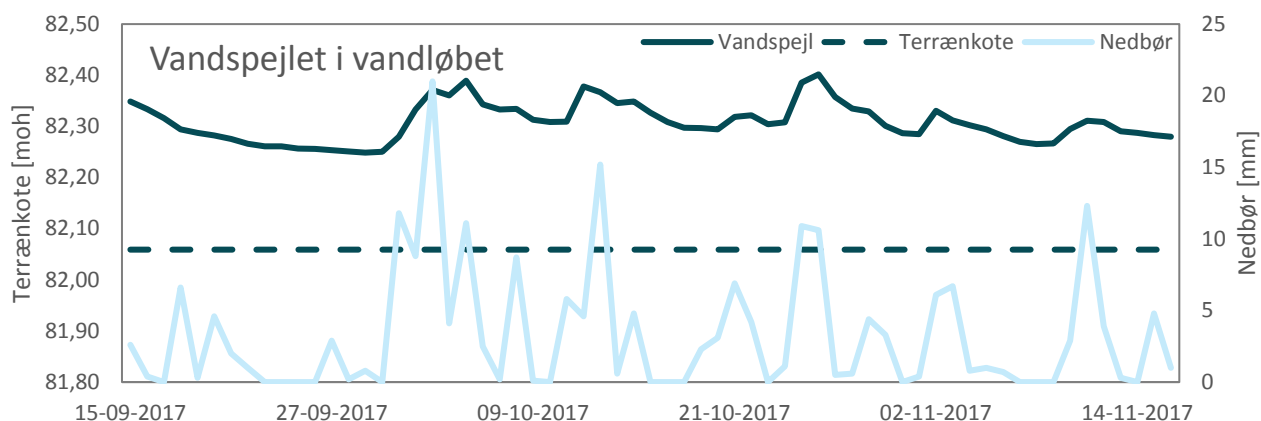
Vandstanden ved pejl 1 har flere gange været i samme niveau som terrænet, hvilket kan forårsage overfladeafstrømning i de pågældende perioder. Vandstandens høje placering illustrerer også problemet med dannelsen af trykvand, og at vandlidende forhold forekommer ved højere terrænkoter end blot i bunden af lavningerne.

Begge vandstande har ligget relativt stabilt over måleperioden, med kun små udsving som funktion af nedbørshændelser. Udsvingningene er dog lidt større for pejl 1, hvor vandstanden ligger tættere på terrænen, og som dermed har et mindre jordvolumen over vandspejlet til at fordele nedbøren i end ved pejl 3. Derfor responderer vandspejlet ved pejl 1 mere og hurtigere for samme nedbørshændelser sammenlignet med vandstanden ved pejl 3, der ligger lidt dybere. Forskelle i jordbundsforhold og hydraulisk ledningsevne kan også medvirke til forskelle i vandspejlsdynamikken mellem pejl 1 og pejl 3.

Den høje vandstand i marken er en konsekvens af, at nedbøren ikke kan afledes naturligt grundet den lerede underjord og det flade terræn eller ikke kan afledes af markens drænsystem, der er underdimensioneret.

Påvirkninger fra nærliggende vandløb

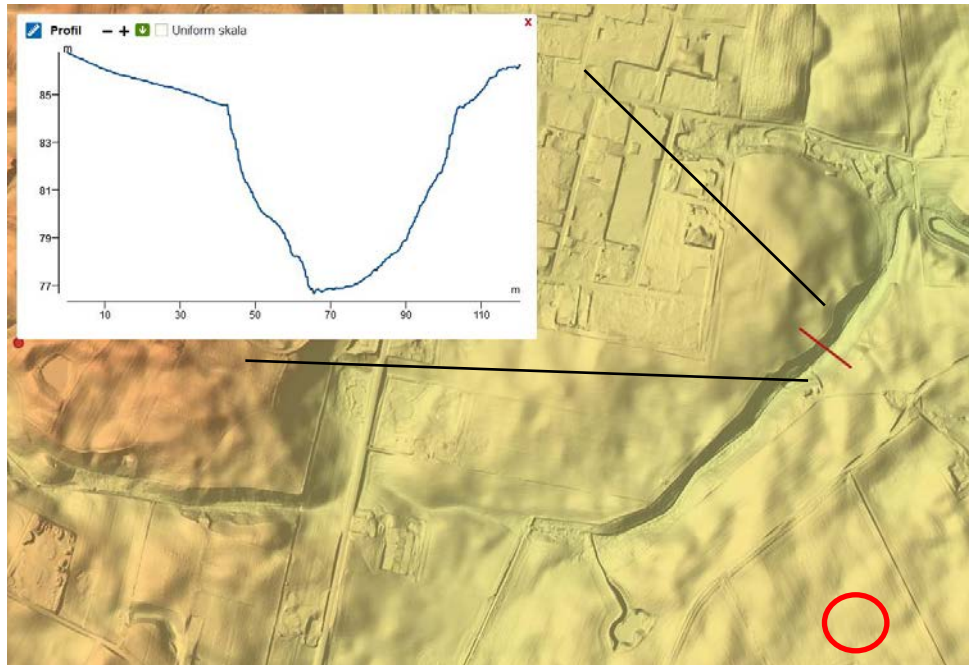
Vandstanden i vandløbet, som drænsystemet afvander til, følger nedbørsmønstret og har i efteråret 2017 en dybde varierende mellem 20-30 cm (Figur 15).



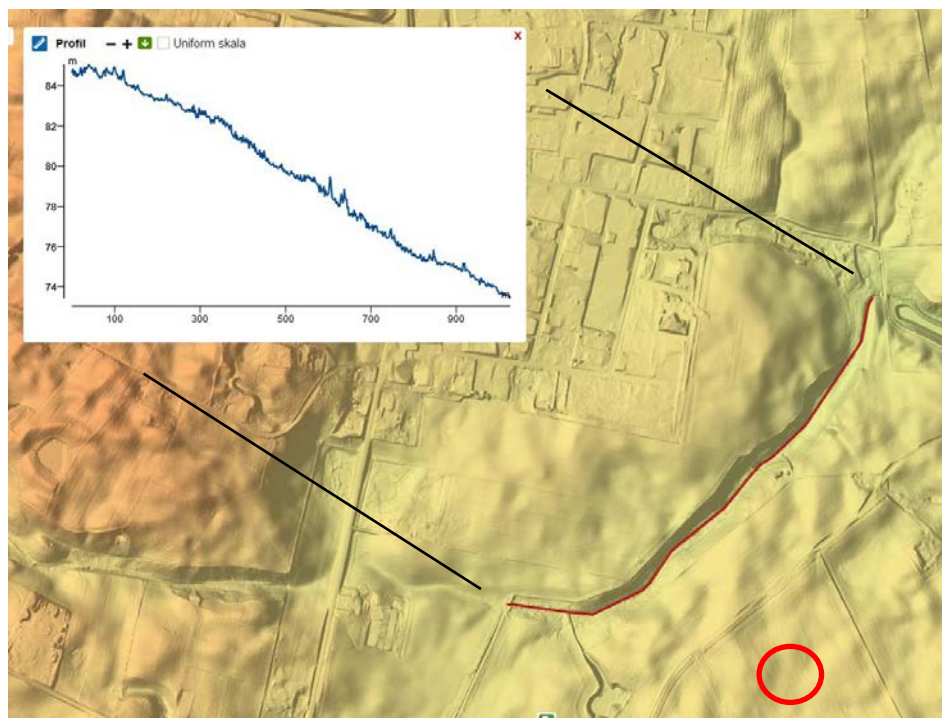
Figur 15: Automatisk vandstandslogger har målt vandstanden i vandløbet, som drænsystemet afvander til i perioden 15. september 2017–14. november 2017 (se figur 13 for placering af pejleboring). Vandstanden følger nedbørsmønstret og dybden varierer mellem 20-30 cm.

Der er godt 10 m forskel på terrænkoten på vandløbets vandspejl i forhold til terrænkoterne for vandstanden i forsøgsmarken (se Figur 14). Påvirkning af dræningen med begrundelse i forringede afløbsforhold via vandløb kan i dette tilfælde fuldstændig udelukkes. Forsøgsmarken er beliggende på et moræneplateau med dybt nedskåret vandløb (ca. 10 m under forsøgsmarkens terrænkote) og med et fald på ca. 10 % (Figur 16 og Figur 17). Det betydelige fald betyder, at miljøtilstanden for god økologisk tilstand potentielt er

tilstede og også er opnået for smådyrsfauna, mens de øvrige parametre (fisk, planter, algebelægninger, kemi) ikke er bedømt.



Figur 16: Vandløbet ligger ca. 10 m nedskåret i moræneplateauet. Kortet er fremstillet i Scalgo. Rund, rød cirkel markerer forsøgsmarken.



Figur 17: Vandløbets fald er omkring 10 ‰ og afstrømningsmulighederne vurderes at være gode. Kortet er fremstillet i Scalgo. Rund, rød cirkel markerer forsøgsmarken.

Sammenfatning af resultater

På baggrund af analysens resultater kan årsagerne til dræningsproblemerne ved Løvenholt Gods rangeres som følgende

- 1) Ændrede rammevilkår for dræningen
 - a. Øget nedbørsmængder. Et groft estimat beskriver en stigning i årsnedbøren på ca. 140 mm siden drænsystemets etablering.
 - b. Skifte i landbrugsproduktionen siden drænsystemet blev etableret.
- 2) Årsager, der udløser dræningsproblemerne
 - a. Underdimensioneret drænsystem. Overskudsnedbøren kan ikke komme hurtigt nok væk fra marken, hvilket giver stigende grundvandsstand og problemer med vandmætning i rod-zonen. Det betyder også, at de steder, hvor underjorden er meget leret, kan jorden ikke udvikle en god jordstruktur, hvilket forringer jordens naturlige afvandingsmuligheder.
 - b. Overfladenært lag af myremalm. Laget forhindrer nedbøren i at trænge ned til drænrørene.
- 3) Medvirkende årsager til dræningsproblemerne
 - a. Stærk leret jordlag i underjorden, der reducerer en i forvejen nedsat vandbevægelse som følge af det underdimensionerede drænsystem
- 4) Påvirkninger, der ikke er årsager til dræningsproblemerne
 - a. Kompakt pløjesål som følge af kørsel i våd jord.
 - b. Vandløbet

4.3 Løsningsforslag og anbefalinger til praksis

Der er flere mulige strategier og løsninger på dræningsproblemerne, alt efter årsagen til de vandlidende forhold.

Udbygning af det eksisterende drænsystem

Eftersom de vandlidende forhold er begrænset til områderne omkring lavningerne vil der muligvis ikke være behov for systemdræning af hele arealet.

Som nævnt er det eksisterende drænsystem ikke designet til at håndtere trykvandet, der dannes i marken. Derfor skal hovedledninger i bunden af lavningerne suppleres med sideledninger. Sideledningerne skal placeres ca. 0,5-1 m under bakketoppen, på tværs af siderne i lavningen med det formål at opsamle trykvandet, hvor det dannes. Ved at opsamle trykvandet med sideledninger undgås, at det afstrømmer langs lavningernes sider, og overbelaster hoveddrænets kapacitet.

Figur 18 viser en skitse af, hvordan et nyt drænsystem på forsøgsmarken kunne se ud, når der er taget højde for markens drænbehov. Her er drænsystemet designet efter at kunne afvande de lavninger, hvor der er dræningsudfordringer. Hovedledningerne er overordnet placeret som ved det eksisterende drænsystem, dog med udvidelser flere steder særligt omkring lavning 3. Mest iøjefaldende ved skitsen af det nye drænsystem i forhold til det eksisterende, er tilføjelsen af sideledninger, der kan bortlede trykvandet og aflaste drænrørene i bunden af lavningerne. Det anbefales, at når en plan for drænprojektet laves, tages der udgangspunkt i en skitse af drænsystemet ved fulddræning. Efterfølgende kan man tilpasse skitsen efter drænbehov og landmandens behov. På denne måde er der taget hensyn til, hvis det i fremtiden bliver nødvendigt at fulddræne arealet. En skitse af drænsystemet ved fulddræning kan ses i bilag 6.



Figur 18: Skitse over hvordan et nyt drænsystem kunne se ud på baggrund af markens drænbehov. Skitsen er udarbejdet af Kjeld Morel på baggrund af $\frac{1}{2}$ meters højdekurver. Drænrørenes endelige placering kan først planlægges, når et detailniveau af terrænoverfladen foreligger.

Det skal understreges, at ovenstående drænforslag er en skitse, og sideledningernes placering og længde kan først fastslås endeligt, når der foreligger et detailniveau af arealet.

Typen af drænrør kan også endeligt fastlægges, når man kender drænmetoden, da typen afhænger af om drænarbejdet udføres traditionelt, med kædegraver eller gravefrit.

Hvorvidt det eksisterende drænsystems design og dimensionering kan anvendes i det nye drænprojekt afhænger af tilstanden på det eksisterende system. Derfor kan det være fordelagtigt at grave ned til de eksisterende rør i drænsystemet. En drænentreprenør vil kunne foretage fejlfinding i det eksisterende drænsystem vha. spuling og rendegraver.

På den anden side, da det er konstateret, at størsteparten af det eksisterende drænsystem er fra 1930 og er meget underdimensioneret, skal man være meget nøjeregnende med hvor meget energi og penge man vil bruge på at søge efter det gamle, fremfor at bruge tid og penge på at få planlagt og udskiftet det med et nyt, med en dimensionering af rørene, der vil kunne virke optimalt. I skitsen er der ikke taget højde for det eksisterende drænsystem. Her vil man, som drænarbejdet udføres, løbende tilkoble eventuelle fungerende dræn til det nye drænsystem.

Grubning

I området (lavning 1 og 2 jf. figur 8), hvor myremalmslaget forekommer, er det ikke nok at dræne. Her skal myremalmen brydes med grubning, så vandet kan trænge ned til drænene. Det anbefales stadig, at grubning sker i forbindelse med en tørvejrperiode for at minimere risikoen for sammenkitning af jorden så meget som muligt.

Det kan også være gavnligt at grubbe i de øvrige lavninger, men da det vandstandsende lag her er meget leret, kan der kun grubbes, når jorden i bearbejdningsdybden er meget tør, for at undgå skadelig pakning af jorden. Det kan dog være vanskelig at opnå så tørre forhold i disse lerede lavninger.

Fremgangsmåde ved projektudførelse

Det anbefales, at der startes med drænearbejdet ved den store lavning (lavning 3, jf. figur 8). Ved at sikre en bedre afvanding nedstrøms øges mulighederne for at dræne lavningerne 1 og 2 opstrøms under mere tørre forhold end ellers. Dermed mindske risikoen for jordpakning under arbejdet.

Når den store lavning er drænet, kan de øvrige lavninger opstrøms grubbes og drænes. På denne måde sikrer man også, at drænsystemet nedenfor har kapacitet til at bortlede den øget vandmængde, der nu kan strømme derned.

Når arealet er omdrænet og grubbet, kan det overvejes at dyrke efterafgrøder, eksempelvis olieræddike, som vil kunne opretholde god jordstruktur og tilføre organisk materiale, der øger jordens stabilitet og bæreevne. Der er dog risiko for, at efterafgrødernes lange rødder vil trænge ned i drænene, hvilket øget behovet for spuling.

5 SAMMENFATNING

Rapportens formål var at beskrive kortlægningen og undersøgelse af årsager til dårlig dræning og afvanding samt mulige løsninger. Gennem tre kapitler beskrives henholdsvis dræningsproblemer på markfladen, afvandingsproblematikken i vandløb samt via et konkret eksempel (Løvenholt Gods) afprøves metoder, som kan anvendes til at finde årsagerne til drænings- og afvandingsproblemer, og der er kigget på konkrete løsningsmuligheder.

En velafdrænet mark er et grundvilkår for en effektiv landbrugsproduktion. Frit tilgængelige, online værktøjer som MiljøGIS og Danmarks Miljøportal er gode til at skabe et overblik over dræningsproblemerne omfang, og kan hjælpe med at udpege områder, hvor man i marken vil undersøge for mere specifikke og lokale informationer. Undersøgelser i marken bør tage udgangspunkt i landmandens lokale viden med fokus på

at opnå et kendskab til det eksisterende drænsystem og undersøge jordbundsforholdene. Er de lokale jordbundsforhold og de drænmæssige udfordringer særligt komplekse, kan man foretage mere dybdegående undersøgelser som infiltrationstest, måling af vandstanden i jorden og kortlægge jordbunden vha. GCM (Ground Conductivity Meter). Valget af løsningsmuligheder er afhængig af årsagen/erne, af drænings- og afvandingsproblemets omfang, lokale forhold og landmandens behov. Det understreger vigtigheden i at få årsagsbestemt dræningsproblemerne, før man går i gang med at udbedre dræningsforholdene. Det er dyrt ikke at gøre det ordentligt.

For dansk landbrug er det vigtigt, at vandløbenes afvandingssevne opretholdes og følger afstrømningens udvikling. I perioden 1917 – 2000 er den årlige middel-, maksimums- og minimumsafstrømning øget. Det er specielt i vinterhalvåret er den gennemsnitlige månedsafstrømning steget, som følge af stigende nedbørsmængder, men også i forårs månederne (april – juni) ses der stigninger i mange vandløb. De stigende vandløbsafstrømninger betyder, at større mængder skal håndteres, og afvandings dynamik ændres. I tillæg har mange vandløbsrestaureringer i dag det formål at vende tilbage til det naturlige mæandrerende forløb, hvilket yderligere kan have negativ effekt på vandløbenes afvandingssevne. Virkemidler, der har til hensigt at opretholde vandløbenes afvandingssevne og sikre afvandingen af arealerne langs vandløbene, omfatter forskellige tilgange til grødeskæring, etablering af skyggegivende vegetation på vandløbets bredder, opgravning af aflejringer, udnyttelse af tidevandet, etablering af dobbeltvandløbsprofil, miniådale.

Årsagerne til dræningsproblemerne i pilotområdet ved Løvenholt Gods kan rangeres som følgende;

- 1) Ændrede rammevilkår for dræningen
 - a. Stigning i nedbørsmængde siden drænsystemets etablering.
 - b. Skifte i landbrugsproduktionen siden drænsystemet blev etableret.
- 2) Årsager, der udløser dræningsproblemerne
 - a. Underdimensioneret drænsystem, som ikke bortleder overskudsnedbøren hurtigt nok væk fra marken, hvilket giver stigende grundvandsstand. Den høje grundvandsstand medfører, at hvor underjorden er meget leret, kan jorden ikke udvikle en god jordstruktur, hvilket forringer jordens naturlige afvandingsmuligheder.
 - b. Overfladenært lag af myremalm. Laget forhindrer nedbøren i at trænge ned til drænrørene.
- 3) Medvirkende årsager til dræningsproblemerne
 - a. Stærk leret jordlag i underjorden, der reducerer en i forvejen nedsat vandbevægelse som følge af det underdimensionerede drænsystem
- 4) Påvirkninger, der ikke er årsager til dræningsproblemerne
 - a. Kompakt pløjesål som følge af kørsel i våd jord.
 - b. Vandløbets afvandingskapacitet

Løsningen er at omdræne forsøgsmarken med et drænsystemet designet efter at kunne afvande de lavninger, hvor der er dræningsudfordringer. Hovedledningerne placeres overordnet som ved det eksisterende drænsystem, men suppleres med sideledninger til at opsamle trykvandet, hvor det dannes, og aflaste drænrørene i bunden af lavningerne. I de lavninger, hvor der forekommer lag af myremalm er det nødvendigt at supplere dræningen med grubning.

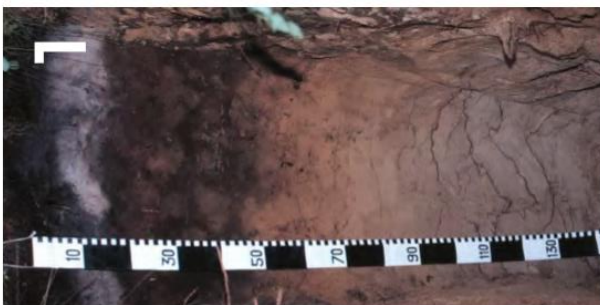
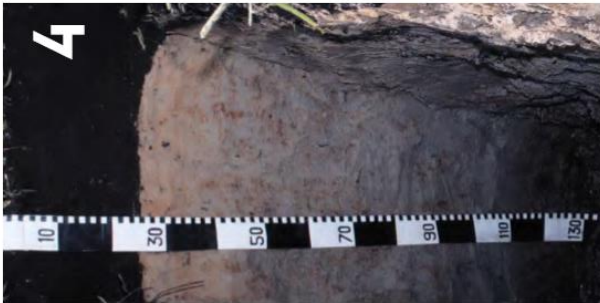
Resultaterne fra pilotområdet kan ikke generaliseres, da årsagerne er meget stedsspecifikke som følge af lokale terræn- og jordbundsforhold. Men arbejdsgangen og metoderne til, hvordan årsagerne og løsningsmulighederne på dræningsproblemet i pilotområdet er kortlagt, kan anvendes af landmænd og deres rådgivere i hele Danmark til at tilgå udfordringen med at bestemme årsagerne samt identificere løsningsmuligheder i deres område.

6 REFERENCER

- Aslyng, H. C., 1980. *Afvanding i jordbruget*. København: DSR-forlag, Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole.
- Bondgaard, F., Piil, K. & Elsgaard, L., 2014. *Tørvejordene synker i Europa - kan landmanden gøre noget?*, Aarhus N: Videncenter for Landbrug; Bæredygtige Vildmosekartofler.
- Breuning-Madsen, H. & Krogh, L., 2013. *Kompendium i jordbundsgeografi*, København K: Geografisk Institut, Københavns Universitet.
- Bøgestrand, J. (red), 2003. Vandløb 2002. NOVA 2003. Danmarks miljøundersøgelser. Miljøministeriet. Faglig rapport fra DMU, nr. 470. Udviklingen i vandafstrømningen og nedbøren i Danmark de seneste 85 år. Larsen, S. E., Kronvang, B. og Ovesen, N. B. Afdeling for ferskvandsøkologi. s. 49 – 59.
- Børgesen, C. D. et al., 2012. *Vedrørende afvandingsdybder ved reduceret vandløbsvedligeholdelse*, Tjele: DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.
- Cappelen, J. & Jørgensen, A. M. K., 2017. *Nedbør og sol i Danmark*. [Online] Available at: <http://www.dmi.dk/klima/klimaet-frem-til-i-dag/danmark/nedboer-og-sol/> [Senest hentet eller vist den 19. 07. 2017].
- Daraghmeh, O. A., Jensen, J. R. & Petersen, C. T., 2007. Near-Saturated Hydraulic Properties in the Surface Layer of a Sandy Loam Soil under Conventional and Reduced Tillage. *Soil Science Society of America Journal*, 72(6), pp. 1728-1737.
- Eriksen, L.B., 2017. Vårbyg - dyrkning. S. 103 – 105. I Oversigt over landsforsøgene 2017 af Pedersen, J.B. SEGES, Landbrug og fødevarer.
- Gertz, F., Kolind, S. og Nielsen, J. A., 2012. Landbrugets behov for afvanding og markvanding. *Vand & Jord*, Vand på landet, 19. årgang nr. 2, s. 49 – 52.
- Jakobsen, J. M., 1946. *Vejledning i dræning*. 1. udgave red. København V: Det Kgl. Danske Landhusholdningsselskab.
- Jensen, C. R., 2002. *Dræning i Jordbruget*. Taastrup: Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole, Institut for Jordbrugsvidenskab, Laboratoriet for Agrohydrologi og Bioklimatologi.
- Klimatilpasning.dk, 2015. Ændringer i nedbør. <http://www.klimatilpasning.dk/viden-om/klima/klimaaendringeridanmark/aendringer-i-nedboer.aspx>. Besøgt 13/10-2017.
- Karlsson, I. B., Sonnenborg, T. O. & Jensen, K. H., 2010. Hydrologiske konsekvenser af historiske og fremtidige klimatiske ændringer i Vestjylland. *Perspektiv*, Issue 17, pp. 32-39.
- Kronvang, B., Kristiansen, S. M., Schelde, K. & Børgesen, C. D., 2013. *Udredningsprojekt vedrørende dræns betydning for afvanding - og de naturlige og menneskeskabte faktorer som influerer på dræns virke som vand-afleder fra marker*, Aarhus: DCE - National center for miljø og energi, Aarhus Universitet.
- Larsen, T., 2014. Naturlige og regulerede vandløb – debat om blødbundsvandløb. Artikel præsenteret på ERFA-gruppemøde, Aalborg, Danmark.
- Larsen, S. E., Kronvang, B., Ovesen, N. B., Christensen, O. B., 2005. Afstrømningens udvikling i Danmark. *Vand & Jord*. 12. årgang nr. 1, s. 8 – 13.
- Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017. Bekendtgørelse af lov om vandløb. LBK nr. 127 af 26/01/2017.
- Miljøstyrelsen, 2017. Søer og Vandløb. <http://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/soer-og-vandloeb/>. Besøgt 12. juli 2017.
- Miljøministeriet Skov- og Naturstyrelsen, 2007. Notat til inspiration for vandløbsmyndigheder. Udarbejdelse af vandløbsregulativer. Erfaringsopsamling og ny viden.
- Munkholm, L., 2016. *Efterafgrøder som jordforbedring*, Aarhus: Plantekongres.
- Nielsen, J. A., 2015. *Dansk Markdræningsguide*, Skejby: SEGES.

- Olesen, S. E., 2009. *Kortlægning af Potentielt dræningsbehov på landbrugsarealer opdelt efter landskabselement, geologi, jordklasse, geologisk region samt høj/lavbund*, Tjele: Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet.
- Piet Zacho, S. og Gertz, F., 2016. Grødeskæring som forbedrer både afvanding og miljø. Landbrugsinfo artikel.
- PipeLife, 2009. *Markavloppssystem*, Ljung: PipeLife.
- Sand-Jensen, K. og Lindegaard, C., 2004. Ferskvandsøkologi. Vandløbenes form, strøm og temperatur.
- SEGES Planter & Miljø, 2016. Virkemiddelkatalog. Mårettede miljøtiltag i Landbruget.
- Simonsen, J. K., Baattrup-Pedersen, A., Larsen, S. E. og Ovesen, N. B., 2016. Grødeskæring og vandstand i danske vandløb. *Aktuel Naturvidenskab*, 2, side 8 – 12.
- Skov- og Naturstyrelsen, 2007. Grødeskæring i vandløb – erfaringsopsamling af metoder, praksis og effekter. Rapport udarbejdet af Orbicon.
- Smed, P., 1981. *Landskabskort over Danmark*, København V: Geografforlaget.
- Styczen, M., 2017. "Udredning om grødeskæring" fra et agronomisk perspektiv. Artikel ifm. indlæg på Plantekongres 2017 under temaet målrettet indsats, vandløbsindsatsen.
- Styczen, M. E., Hansen, S., Pedersen, C. T. & Abrahamsen, P., 2016. *Samspil mellem vandstand i vandløb og de omliggende dyrkede arealer. Bidrag til Udredning om grødeskæring*, Frederiksberg C: Department of Plant and Environmental Sciences, University of Copenhagen
- Wiggers, L., 2007. Vandafstrømning og jordbundsforhold. *Vand & Jord*, 14. årgang nr. 3, september 2007, s. 109 – 112.

Bilag 1 Dræningsklasse



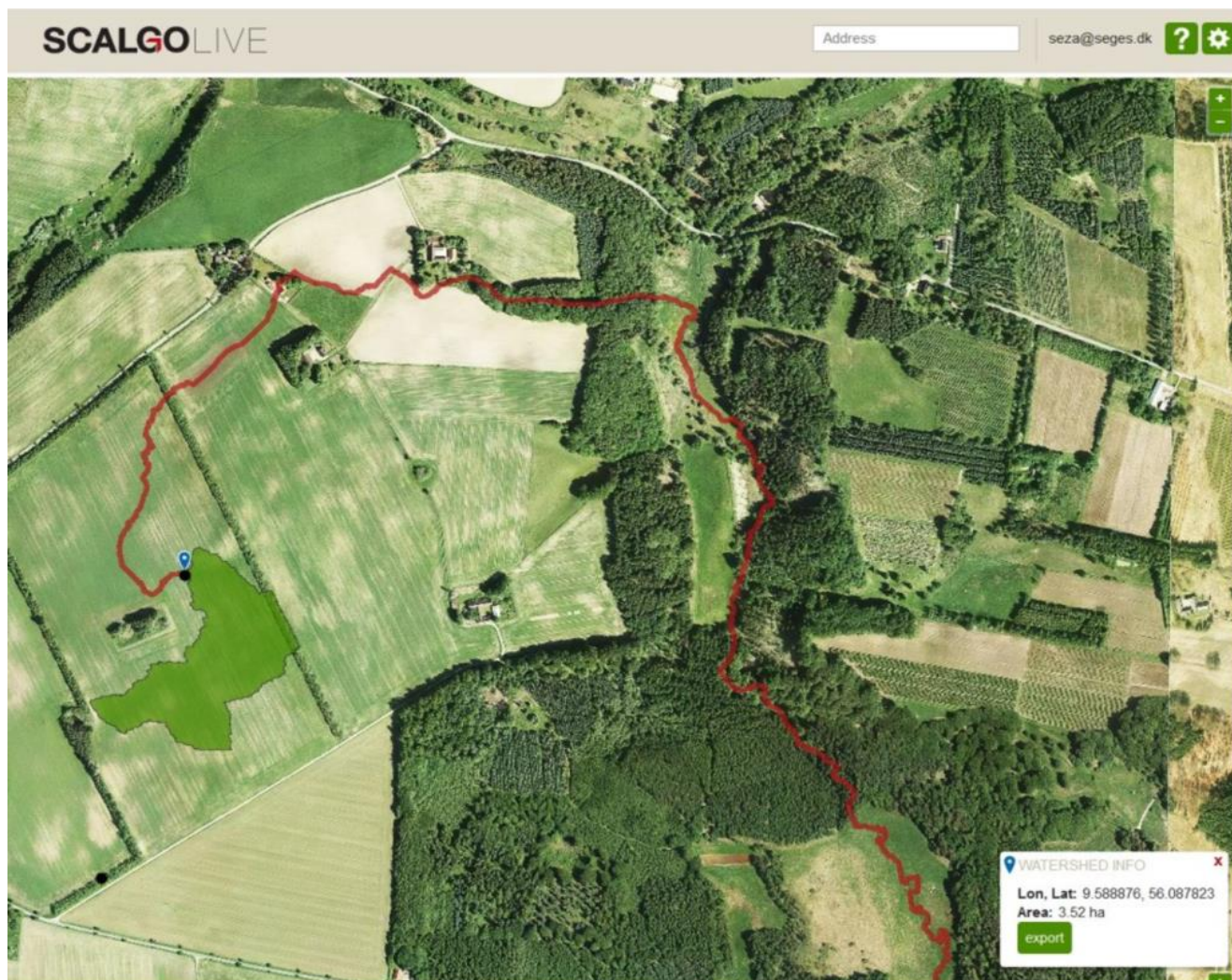
Dræningsklassen bestemmes ud fra jordbunds morfologiske træk

- 1) Meget veldrænet
Jorde uden tegn på vandstuvning i de øverste 120 cm af profilet
- 2) Veldrænet
Jorde med pseudogley eller diffuse jernudfældningspletter mellem 80 cm og 120 cm eller svage tegn på temporær vandstuvning i de øverste 80 cm af profilet.
- 3) Moderat veldrænet
Jorde med grundvandsgley mellem 80 cm og 120 cm eller med pseudogley eller diffuse jernudfældningspletter mellem 0 og 80 cm
- 4) Dårligt drænet
Jorde med grundvandsgley mellem 0 cm og 80 cm, med pseudogley og diffuse jernudfældningspletter mellem 0 og 40 cm, med en humusrig A-horisont, med et sommervandspejl i ca. 50-100 cm dybde de fleste år eller med tydelige tegn på temporær vandstuvning i de øverste 0-40 cm af jordprofilet
- 5) Meget dårlig drænet
Jorde med grundvandsgley inden for de øverste 0-80 cm eller med et konstant vandspejl mellem 0-50 cm.

Grundvandsgley: Grå horisont udviklet i lavtliggende enge og moser med permanent højtstående grundvand, hvorfra jernet er på reduceret form og udvasket fra horisonten.

Pseudogley: Farvemæssig marmorering af jordbunden i grå og røde farver forårsaget af reduktions- og/eller oxidationsprocesser skabt af højtstående grundvand. Pseudogley optræder i lerjorde, der er langsomt gennemtrængelige for vand. I perioder med nedbørsoverskud, dvs. i Danmark om vinteren, dannes et temporært grundvand i og oven på det langsomt gennemtrængelige lag.

Bilag 5 Drænbrøndopland



Oplandet til drænbrønden (blå markering) på mark 3-1 er baseret på terrænoverfladens topografi. Oplandet er markeret med grønt og har et areal på 3,52 ha. Den røde linje markerer vandet fra drænbrøndens strømningsveje, hvilket også er baseret på jordoverfladens topografi. Kortet er lavet i SCALGO.

Udgiver

SEGES
Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.
Agro Food Park 15, Skejby
DK 8200 Aarhus N

Kontakt

Stinna Susgaard Filsø, SEGES PlantelInnovation
D +45 8740 5417

Redaktion

Stinna Susgaard Filsø, SEGES PlantelInnovation
Rikke Krogshave Laursen, SEGES Anlæg og Miljø
Flemming Gertz, SEGES Anlæg og Miljø
Søren Kolind Hvid, SEGES PlantelInnovation

Forsidefoto

SEGES

Januar 2018

Denne publikation må kopieres efter aftale med SEGES.

SEGES skaber løsninger til fremtidens landbrugs- og fødevarerhverv. Vi udvikler forretningsmuligheder i tæt samarbejde med vores kunder, forskningsinstitutioner og virksomheder over hele verden. SEGES er en del af Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.

SEGES
Landbrug & Fødevarer F.m.b.A.
Agro Food Park 15
DK 8200 Aarhus N

+45 8740 5000
info@seges.dk
seges.dk

