

# Udredningsprojekt vedrørende dræns betydning for afvanding

- og de naturlige og menneskeskabte faktorer som influerer på dræns virke som vand-afleder fra marker

---

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 20. december 2013

Brian Kronvang<sup>1</sup>  
Søren Munch Kristiansen<sup>2</sup>  
Kirsten Schelde<sup>3</sup>  
Christen Duus Børgesen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut for Bioscience  
<sup>2</sup>Institut for Geoscience  
<sup>3</sup>Institut for Agroøkologi

Rekvirent:  
Naturstyrelsen  
Antal sider: 47

Kvalitetssikring, centret:  
Poul Nordemann Jensen



AARHUS  
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tel.: +45 8715 0000  
E-mail: [dce@au.dk](mailto:dce@au.dk)  
<http://dce.au.dk>

# Indhold

<b>Forord</b>	<b>3</b>
<b>Sammenfatning</b>	<b>4</b>
<b>1 Afvandingens og dræningens historie</b>	<b>5</b>
Aktiviteter som gjorde jorden vådere	6
Omfanget af dræning i dag	6
Hvor meget drænet landbrugsjord er afstået?	8
<b>2 Behovet for dræning</b>	<b>10</b>
Funktionen af et dræn	10
Årsager til potentielt afvandingsbehov	10
Potentielt afvandingsbehov – landsdækkende opgørelse	11
Kendte behov for om- og nydræning	11
<b>3 Nedbørens og grundvandets betydning for dræning – herunder betydning af klima-forandringer for dræning</b>	<b>13</b>
<b>4 Vandløbs og grøfters betydning for dræning</b>	<b>16</b>
<b>5 Grødens betydning for afvandingen</b>	<b>18</b>
<b>6 Sætningers og jordkompaktionens betydning for effektiv dræning og afvanding</b>	<b>26</b>
Årsager til sætninger	26
Lavbund som er forsvundet pga. sætninger	27
Jordpakning	28
Jordflytninger som følge af jordbearbejdserosion	29
<b>7 Betydning af selve drænrørene og pakningsmaterialet på drænenes effektivitet, herunder betydningen af drænenes effekt i forhold til deres placering og hældning i forhold til terræn</b>	<b>30</b>
Drænsystemers udformning og funktion	31
<b>8 Dykkede dræns betydning for afvandingsdybden af de åncære arealer</b>	<b>34</b>
<b>9 Betydning af nedslidningen af dræn</b>	<b>36</b>
Nedslidning af dræn	36
Drænenes alder og vedligeholdelsestilstand	36
Klimaforandringers betydning	38
<b>10 Sedimentation i dræn og spuling samt betydning af pakningsmaterialet</b>	<b>39</b>
<b>11 Konklusion og perspektivering</b>	<b>41</b>
<b>12 Referencer</b>	<b>43</b>

## Forord

I dette notat har vi lavet en udredning om dræns betydning for afvanding og de faktorer som indvirker herpå. Vi anvender i notatet de samme definitioner på afvanding som Landbrugsministeriet (1985) anvendte: "Behovet for afvanding under givne klimatiske betingelser kan henføres til to hovedårsager, nemlig:

1) Recipientafhængigt afvandingsbehov som primært skyldes arealets niveau i forhold til vandstanden i recipienten (vandløbet),

2) Teksturbetinget afvandingsbehov betinget af jordens tekstur og struktur (jordtype).

Der bruges i notatet ordet lavbundsjord for lavtliggende jorde der kan indeholde en varierende andel organisk stof, mens humusjord er forbeholdt jorde med >10 % humus (med 58,7 % kulstof) i de øverste 30 cm, mens alt andet benævnes mineraljord.

Notatet er primært en mere generel beskrivelse af en række problemstillinger og kun i mindre grad en kvantitativ vurdering af dræns betydning for afvandingen.

## Sammenfatning

Udredningen har peget på en række naturlige og menneskeskabte forhold som har påvirket dræns afvandingsevne gennem de sidste 50 år. Det drejer sig om forhold som:

- Et nedslidt drænsystem med manglende omdræninger, som har forringet dræns vandafledningsevne og selvrensning.
- Sætninger af jorden, som har forringet/ødelagt dræns vandafledningsevne og selvrensning for sediment.
- Øget og mere intensiv nedbør, som dræn ikke er dimensioneret til at kunne aflede hurtigt nok.
- Øget afstrømning i vandløb, specielt i det tidlige forår, som har forringet dræns selvrensning pga. hyppigere neddykning og stuvning.
- Omlægning til vinterkornafgrøder har medført et større behov for afvanding.
- Jordflytning via erosion (jordbearbejdning og vanderosion) kan medføre dårligere afvandingstilstand på højbundsarealer.
- Ændret vandløbsvedligeholdelse, som skæring i strømmende i mellemstore og store vandløb, kan medføre sedimentation og tilslæmning af de dybtliggende drænudløb nær vandløbsbunden. Det kan ændre deres vandafledningsevne, hvilket kan medføre, at der behov for en vedligeholdelse af dræn i form af en forlængelse af drænudløbet.
- Mindre grødeskæring om sommeren har kun en direkte betydning for det fåtal af dræn som løber med vand i sommerperioden da de kan blive neddykket i længere perioder end ved 'normal' grødeskæring.

Alene på baggrund af den gennemgåede, eksisterende viden, er det ikke muligt at kvantificere ovenstående forholds udstrækninger, og dermed heller ikke hvilke forhold som på landsplan er mest betydende for dræns virkning i dag.

Sammenlagt var der i den seneste landsdækkende undersøgelse over dræntilstand i 1972, et reelt behov for plet- og omdræning på ca. 400.000 ha. Med baggrund i den beskedne dræningsaktivitet indtil nu, fortsatte nedslidning af drænsystemerne og udtag af landbrugsjord til skovrejsning, naturgenopretning, byudvikling, m.v. er det bedste skøn, at behovet for om- og pletdræning samlet set ikke er blevet mindre siden 1972.

Vi foreslår, at der gennemføres pilot feltundersøgelser af dræns tilstand og vandafledningsevne, samt undersøgelser af betydningen af grødeskæringsmetoder for dræns afvandingsevne, samt sedimentation i dræn og deres selvrensning. Desuden bør der gennemføres forsøg med forskellige metoder til vedligeholdelse af dræn.

# 1 Afvandings og dræningens historie

I Danmark begyndte afvanding sent sammenlignet med udlandet (Jensen 1989). 1100 og 1200-tallets munke har som de første anvendt det vha. grøftning (Aslyng 1980; Breuning-Madsen 2010). Først fra ca. 1750 blev vandlidende – eller som det hed dengang vandsyge – arealer i større omfang påbegyndt afvandet vha. grøfter. Men i starten gik det kun langsomt pga. manglende teknologi (fx Westenholtz, 1772).

Indtil omkring år 1800 benyttede man i Danmark som ledningsmateriale især sten, grene, lyngtørv, grus eller halm (Jakobsen 1946). Såkaldte "horse shoe tiles" af brændte lerrør var vanskelige at anvende, og blev derfor ikke særligt udbredt, selvom de blev opfundet i begyndelsen af 1800-tallet (Aslyng 1980). Der er fundet sådanne rør i Danmark, men iflg. Westermann (1936) er der ikke bevis for, at de har været anvendt til dræning af landbrugsjord. Dræningen tog for alvor fart efter 1842, hvor det cylindriske drænrør af brændt ler blev opfundet i England og bredte sig til Danmark fra 1848, hvor de første gang blev indført på Gjeddesdal ved Tåstrup (Jakobsen 1946). Denne del af den industrielle revolution passede ind i tidsånden med ønsket om mere højproduktiv landbrugsjord, og mange fremsynede mænd tog til Tyskland, England og Holland for at lære mere om dræning og grøftning, og kom hjem og udbredte sagen, se fx Hannemann (1859).

Der blev udarbejdet flere vejledninger fra 1850-erne for at udbrede sagen, først oversatte fra fx tysk og siden dansk udarbejdede (Vincent 1857; Hannemann 1876). Det skal bemærkes, at der iflg. Westermann (1936) først kom alment gældende retningslinier for dræning i 1930'erne. Dette skyldes – igen ifølge Westermann (1936) – person stridigheder, således at en prisopgave om emnet udført af Hannemann i 1850'erne først blev udgivet i 1876, hvor der af andre blev foretaget væsentlige rettelser efter hans død. Faktisk blev Westermanns' eget manuskript om dræning også først udgivet i 1936 efter hans død, og efter en vis omarbejdelse. Afvandingsarbejdet blev fra begyndelsen udført af lokale landmænd og drænmestre, som blev uddannet på nogle storgodser iflg. Westermann (1936), og der var ikke meget systematik i deres arbejde, omend det var erfaringsbaseret. Først omkring år 1900 begyndte Hedeselskabet at være den største aktør (Breuning-Madsen 2010), og en vis systematik forventes hos dem.

Staten har i hele perioden med afvanding ydet økonomisk støtte. I 1800-tallet indirekte via støtte til uddannelse af drænmestre, mens det i perioden fra 1921 først var i form af lån, og senere direkte via tilskud indtil 1980'erne. Der har desuden været en indirekte offentlig støtte via vandløbsvedligeholdelse fra før 1920'erne (Jakobsen 1946).

Dræning af lerjord (teksturbetinget afvandingsbehov) af især lerjordene på Øerne og i Østjylland er især foregået fra 1860 til 1880 (Westermann 1936; Aslyng 1980). Litteratur om de tidlige aktiviteter er tilsyneladende meget begrænset, da den især skete erfaringsbaseret og med mange, mindre aktører. Det var her de utallige små, afløbsløse lavninger i landskabet, som blev drænet. Først i perioden efter 1930 blev de større moser enten bortgravet og drænet eller blot drænet (Breuning-Madsen 2010).

Der var allerede i 1870'erne anvisninger på, hvordan man skulle dræne lavbundslande (Dalgas, 1876), men alle senere kilder anfører, at de store kær og mosearealer først blev opdyrket og drænet senere.

Dræningen af lavbund (recipient betinget afvandingsbehov) er især sket på Jyllands lavbundsarealer. og begyndte her først for alvor efter en landbrugskongres i 1888, hvorefter Hedeselskabet tog "Mosesagen" op (Westh, 1909). Indtil da havde merglingen i hedeegnene foregået siden 1740'erne (Christensen, 1909), mens det er usikkert hvor meget ældre denne praksis er i Østdanmark. Denne praksis med opgravning af mergel på marker efterlod talrige afløbsløse små huller som - via deres frivandspejl - især i Østdanmark hvor mergelgravene ofte lå i markene, forøgede arealernes samlede fordampning. Dette er dog aldrig forsøgt kvantificeret. Dræning af lavbundsarealer, som især findes i Jylland, toppede i perioden fra 1937 til 1960 som følge af statslige tilskudsordninger i form af Grundforbedringsloven fra 1933 samt Landvindingsloven fra 1940 (Pedersen 2006; Olesen 2009).

### **Aktiviteter som gjorde jorden vådere**

Menneskelige aktiviteter, især i ådalene, har også bidraget til, at det danske landskab er blevet mere vådt end det var naturligt. Allerede i 1100-tallet ændrede munkene en del vandløb for at skabe vandkraft, og denne opdæmning af egnede vandløb øgedes igennem middelalderen (Fritzbøger 2009). Kun enkelte dokumenterede tilfælde findes dog, hvor omkringliggende landbrugsjord bliver vandlidende, fx ved Åstedlund i Gudenåen (Hofmeister 2012). Her bliver vandmøllen dog fjernet allerede i 1897. Hvor stor effekt vandmøllerne medførte på mere vandlidende jord langs åerne er aldrig forsøgt udredt, men det må forventes at have påvirket meget begrænsede arealer, som ikke var vandlidende i forvejen.

Engvanding startede i Jylland så småt i 1800'erne, uden i nævneværdig grad at have ændret hedens "karakter" (Westh, 1909). Men har givetvis gjort jorden langs visse jyske ådale vådere end før, omend de nu kunne give bedre høslæt end førhen med datidens landbrugspraksis pga. mere plantetilgængeligt vand og flere næringsstoffer (Rasmussen, 1964).

Landvindinger skal ikke behandles her, men det bør bemærkes, at disse gennem tiden indvundne lavtliggende arealer (altovervejende lavbundsland) er i særlig risiko for at være vandlidende, når vandspejlet i hovedafvandingen ikke kan eller må sænkes yderligere pga. fortsatte sætninger i landbrugsjorden eller som følge af forøget nedbør pga. klimaforandringer. Her kan nævnes gamle marine områder som Rødby fjord, Bøtø Nor, Falster, Lammefjorden, Nordfyn, Kolindsund, Stadil fjord og Ulvedybet. Det bør også bemærkes, at de største indvundne ferskvandsterritorier som Gårdbogård sø, Sjørring sø, Tastum sø og Fil sø er, planlægges eller ønskes gendannet til naturområder.

### **Omfanget af dræning i dag**

Omkring halvdelen af landbrugsjorden er i dag drænet, mest på Øerne med ca. 70 % og mindst i Jylland med ca. 40 % (Aslyng 1980) og næsten udelukkende med drænrør (Breuning-Madsen 2010). Store lokale variationer findes dog. Dræningsprocenter som de forskellige forfattere herunder citeres for, skal opfattes som minimumstal, da hovedafvandings-systemer i form af kanaler og modificerede vandløb på fx sand- og tørve-

jord med sandunderlag er tilstrækkelig til afvanding mange steder (Olesen 2009).

I den første del af perioden med dræningsaktiviteter er der gjort meget få forsøg på at lave landsdækkende opgørelser over, hvor store arealer der er drænet. Breuning-Madsen (2010) skønner, at der i midten af 1800-tallet formentlig var mindre end 2 % af landets areal, som var drænet, og det med grøfter og kanaler. I en lang periode var der alene fokus på humusjord som en naturressource til brændsel, se fx (Thøgersen 1942), men uden at dræning var involveret, på trods af at der allerede i 1876 var udkommet anvisninger på, hvordan mose- og kærjordsarealer kunne kultiveres og drænes effektivt (Dalgas, 1876).

Dræningen har siden 1970'erne været forsøgt opgjort af flere personer og med forskellige metoder. Hver gang bliver det bemærket, at ved vurderingerne af behovet for dræning, er der ikke taget hensyn til de økonomiske og praktiske forhold i marken. Hvordan dette influerer på de noget forskellige resultater mht. areal, der kræver om- og nydræning, kan ikke bedømmes i nærværende teoretiske udredning. Det bør også bemærkes, at mange steder erstattede nye nedgravede drænrør gamle grøfter, men omfanget af og tidspunkter for denne grøftning er ikke forsøgt opgjort af kendte kilder.

Først i 1972-73 udførtes for første gang en landsdækkende afvandingsundersøgelse forestået af planteavlskonsulenter og Det Danske Hedeselskabs eksperter (Skriver and Hedegård 1973). Undersøgelsen foregik ved hjælp af en stikprøveundersøgelse på ca. 1 % af datidens ejendomme, som udgjorde et samlet areal på 28.465 ha (ca. 1 % af landbrugsjorden). Ejendommene havde 3.973 ha, som blev betegnet som "humusjord" (14 %), og resten var mineraljord. I gennemsnit fandt de, at 49 % af landbrugsjorden var drænet, mindst i sydlige Nordjylland med 24 % og mest i Storstrøms Amt med 81 %. For mineraljorden blev der fundet, at 47 % var drænet, mens 62 % af "humusjorden" var drænet. De konkluderede, at "Generelt gælder, at der øst for Storebælt er et alvorligt behov for om-dræning af arealer med meget gamle dræn. Vest for Storebælt er behovet mindre, men også der er der mange steder et stort behov for forbedring af afvandingsforholdene".

Tidligere opgørelser over udviklingen i drænet areal er blevet gennemført vha. statistikker for produktionen af drænrør og forventet forbrug pr. drænet hektar, samt ansøgninger til Landbrugsministeriet (Aslyng 1980). Dette viste en del usikkerhed i tallene, men han konkluderede, at det var "...rimeligt at antage, at det drænedede areal ved begyndelsen af 1980 er ca. 1,44 mio. ha for hele landet". Disse data anvender (Jensen 1989) til at fremskrive dræningsbehovet (se kapitel 9).

Olesen (2009) har den senest opdaterede opgørelse over dræningsaktiviteten i Danmark (figur 1.1), som især baseres på Aslyng's 1980 data, som han fra årene før 1929 har hentet i Jakobsen (1946) og Westermann (1936). Opgørelsen viser to primære perioder med stor dræningsaktivitet, nemlig 1860-1880 og igen 1930-1960. Indtil 1929 er opgørelsen baseret på forbruget af drænrør (Aslyng, 1980) og antagelser over forbrug af rør pr. drænet areal. Siden er Hedeselskabets optegnelser anvendt, omend de er mangelfulde, samt visse antagelser om hvor stor en andel af den samlede dræningsaktivitet som Hedeselskabet forestod. Fra 1938 til 1968

og igen fra 1975 til 1983 er dræningen baseret på ansøgninger til Landbrugsministeriet om tilskud til dræning. Baseret på nye metoder finder Olesen (2010), at der i gennemsnit er drænet ca. 50 % af dansk landbrugsjord.

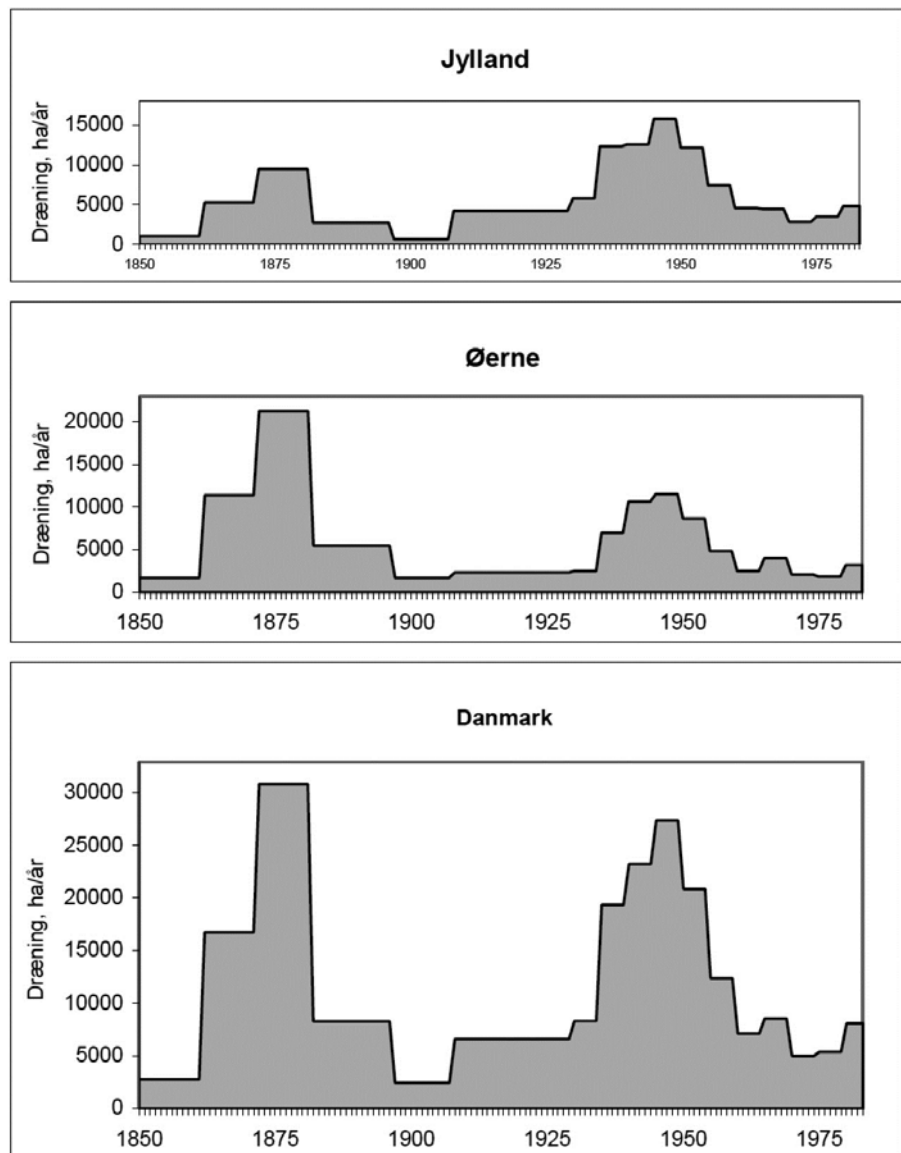
I skovene er der sket en sideløbende dræning og grøftning. Denne udvikling er dårligt belyst og skal ikke gennemgås her. Men det kan bemærkes, at mere end 80 % af de oprindelige (1850-erne) vådområder i en række undersøgte Nordsjællandske skove er forsvundet som følge af ændret vegetation, grøftning m.v. (Rune 1997), selvom der her sjældent er nedlagt drænrør (Aslyng 1980).

### **Hvor meget drænet landbrugsjord er afstået?**

Hvor meget af de drænedede arealer, som siden 1980'erne er afstået til andre formål, er ikke undersøgt. Dog må en del af de siden 1980'erne naturgenoprettede arealer være potentielt drænedede. Fra 1998 til nu er således ca. 10.000 ha landbrugsjord naturgenoprettet til vådområder, mens der inden 1998 måske har været inddraget andre ca. 10.000 ha til at genoprette vandløb og ådale, samt vådområder og søer (Hoffmann og Baatrup-Pedersen, 2005). Byudviklingsområder og veje har desuden påvirket landbrugsarealer med inddragelse af i størrelsesordenen 10.000 ha om året, men hvor meget af dette som var drænet er ukendt.



**Figur 1.1.** Dræningsaktiviteten i Danmark fra 1853-1980. Efter Olesen (2009). Data efter 1980 eksisterer ikke.



## 2 Behovet for dræning

### Funktionen af et dræn

Kort fortalt afhænger det som vi opfatter som effektiviteten af et drænsystem af følgende parametre, her efter Kristiansen (2012) og Olesen (1982):

- Nedbøren: mængder i forhold til. dimensionering på drænsystemet, nedbørsintensitet, årstid, m.v.
- Grundvandet: Grundvandsstanden, årlige variationer, evt. stigende vandstand siden dimensioneringen,
- Drænsystemet: herunder rørledningernes hældning, pakningsmaterialet omkring rørene, dimensioner på rørene, evt. ødelagte sektioner, sandindtrængning, rodindtrængning, okkerudfældninger, dybde til rørene, indbyrdes afstand mellem rørledninger, tilstopning ved udmundingen, m.v.
- Jordbunden: jordens kornstørrelse, hvor kontinuert poresystemet i jorden er, pakning af jord omkring rørene, sætninger af jordoverfladen på organisk jord, omlejring af mineralsk jord siden dimensionering, etc.
- Vandløbet: Drænvandet sikres tilstrækkelig hældning i rørene, , størst mulige gennemstrømningsareal, mindst mulige strømningsmodstand, passende, lav vandstand. m.v.
- Afgrøden: nogle afgrøder er mere følsomme for vandmætning, øgede problemer med ukrudt pga. vandlidende jord.

### Årsager til potentielt afvandingsbehov

Hovedparten af dræningen og grøftningen er udført på jord, hvor afvandingsbehovet skyldes naturligt forekommende, delvist vandstandsende lag i underjorden, således at nedsivende regnvand midlertidigt kan ophobes (Aslyng 1968; Jensen 1989). Typisk er det kun i ådalene at grundvand skal dræne væk sammen med regnvandet. Dræning er sket ved en detailafvanding på marken med grøfter eller drænrør så regnvandet kan ledes til et vandløb, samt en ændring af vandløbene nedstrøms med udretning, uddybning og grødeskæring, så vandet i vandløbet hurtigt kan ledes væk.

Systematiske drænsystemer i landbrugsjorden består af nedgravede drænrør af tegl eller plastik med en indbyrdes afstand på typisk 8 til 20 m som igen er forbundne med beton-, teglrør eller åbne grøfter der leder vandet til det nærmeste vandløb. Drænet er tilpasset et bestemt vandspejl i vandløbet det dræner til, og hvis fx drænrørene synker eller vandløbets vandspejl stiger, kan funktionen af drænet nedsættes så der må påregnes et større vedligeholdelsesbehov.

Dræn i landsbrugsjord er typisk dimensioneret ud fra erfaringer hos de personer som oprindeligt anlagde det. I Hedeselskabet anvendte man fx i en længere årrække, at 9 mm nedbør skal afledes pr. døgn på jord som ikke var grundvandspåvirket (Hansen 1989; Mark 1991). I 1980-erne anbefalede man fra Landbohøjskolen, at 30-40 mm nedbør skal kunne ledes væk på 5 dage på højbundsområder (Jensen 1989). Normerne her var baseret på 700-900 mm nedbør om året og tillod, at regnvand måtte stå oppe i pløjelaget mellem 0,5 og 2 dage pr. år. Så selv om et drænsystem fungerer efter hensigten, kan intensiv eller lang tids nedbør give anledning til oversvømmelser på selv drænede arealer.

Ændrede afgrødetyper kan også have betydning for opfattelse af hvor vandlidende jord en jord er. Fx har vinterbyg høj følsomhed mens rug, vinterhvede og vårbyg har lavere følsomhed overfor vand i rodzonen (Jensen, 1989). Ændringer i arealanvendelsen og afgrødevalg til flere vinterkornafgrøder fra 1940-60 til i dag, må på denne baggrund forventes at medføre et større behov for afvanding af specielt de mere lerede jorde, men også for lavtliggende mere sandede jorde der dyrkes med vinterkornafgrøder.

### **Potentielt afvandingsbehov – landsdækkende opgørelse**

Det skønnede behov for dræning er steget støt igennem tiden trods en fortsat dræningsaktivitet. I årene 1910-17 fandt Landboforeninger via kortlægning, at Sjælland, Fyn og Jylland havde hhv. 16, 10 og 8 % vandlidende arealer, med et gennemsnit på ca. 10 % eller i alt 300.000 ha (Jakobsen 1946). I årene 1929 til 1935 viste nye opgørelser at 25-29 % af landbrugsarealet var vandlidende (Jakobsen 1946). I dag er det overordnet er skønnet, at ca. 61 % af Danmarks landbrugsjord potentielt har behov for dræning (Jensen 1989; Olesen 2009).

Landbrugsministeriet vurderede i 1985 (side 49-59) på grundlag af en inddeling af landet i fem afvandingsklasser (dvs. dræningsbehov), at 1,79 mio. ha. af datidens landbrugsareal på 2,90 mio. ha. (62 %) havde et potentielt afvandingsbehov (Landbrugsministeriet 1985). Denne vurdering var baseret på, at middelaftvandingsbehovet i de 4 udpegede afvandingsklasser (I-IV) lå midt i afvandingsklasserne, og havde et potentielt afvandingsbehov på henholdsvis 87,5 %, 62,5 %, 37,5 % og 12,5 %. Hvis de anvendte en lidt anden tilgang kommer de frem til 1,64 mio. ha med dræningsbehov. Kun 6,9 % af det klassificerede areal på i alt 3.440.228 ha var humusjord ifht. Landbrugsministeriet (1985) retningslinjer. Kortlagte arealer omfattede dog kun 80 % af landets areal, og denne usikkerhed ligger tilsyneladende bag de lidt forskellige (1,79 og 1,64 mio. ha) opgørelser over dræningsbehovet, som især skyldes usikkerhed vedrørende arealet med humusjorde, samt den lokale afvanding langs vandløbene.

Olesen (2009) foretager den seneste opgørelse over arealer med potentielt afvandingsbehov. Olesen finder med forbedrede metoder inkl. GIS og 10 drænklasser, at ca. 48 % af landbrugsjorden er drænet. Han opgør dog ikke direkte det potentielle afvandingsbehov, men referer til Landbrugsministeriets (1985) resultater. En vigtig konklusion fra Olesen (2009) er, at eksisterende kort over dræningsprocenter kun bør bruges til generelle formål og ikke kan erstatte kortlægning af aktuelle dræningsforhold på ejendomsniveau.

### **Kendte behov for om- og nydræning**

I det åbne land findes ingen nyere landsdækkende undersøgelser over hvorfor marker er vandlidende. Men nogle ældre landsdækkende vurderinger findes dog. I 1970'erne fandt Landsudvalget for Planteavl, at der var behov for nydræning på 238.000 ha, pletdræning på 112.000 ha og omdræning på 158.000 ha (Skriver & Hedegård 1973) hvis arealet udregnedes på baggrund af det dengang totale dyrkede areal. Hvis man derimod udregnede arealerne på grundlag af de undersøgte marker (detaljerne i de to forskellige udregninger kan ikke umiddelbart gennemskues i Skriver & Hedegård, 1973) får man et behov for omdræning på 238.000

ha, pletdræning på 112.000 ha og nydræning på 158.000 ha (refereret i fx Olesen 2010), dvs. i alt 508.000 ha.

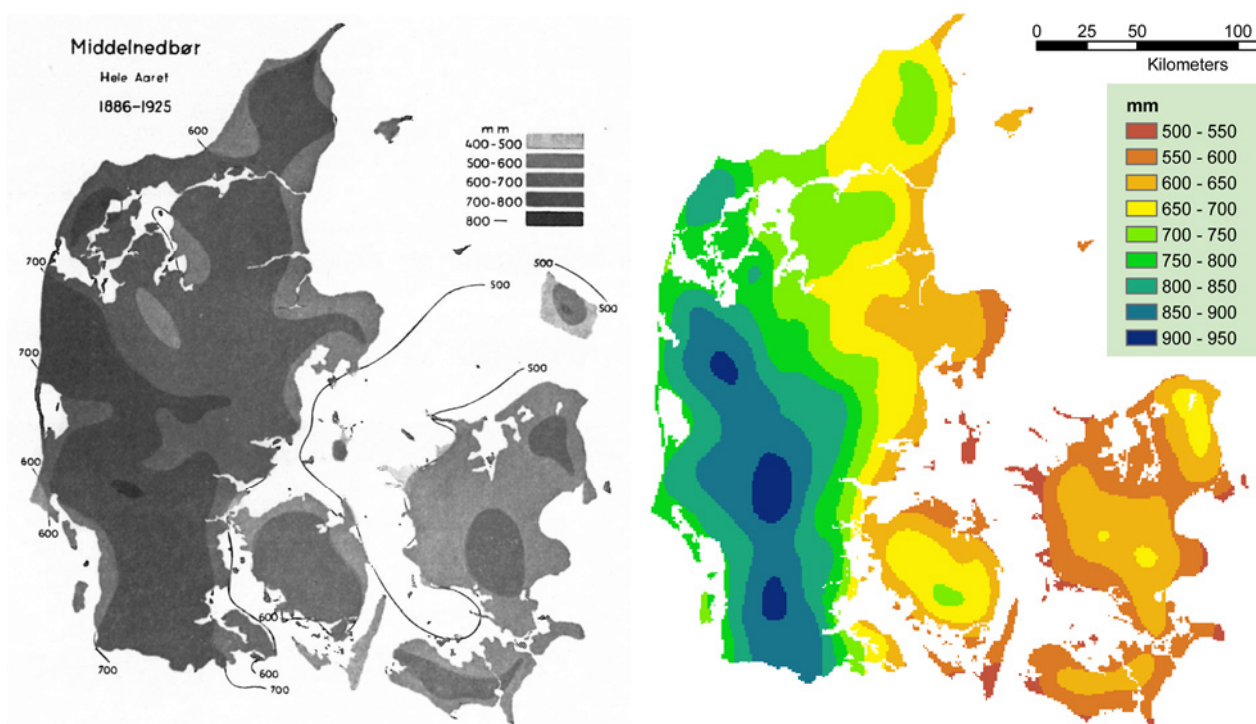
Det reelle dræningsbehov var altså i 1970-erne anslået til mellem 350.000 til 400.000 ha (anslået af Olesen, 2010) landbrugsjord, hvis man antager, at nydræning på de nævne arealer ikke altid var muligt af praktiske og økonomiske årsager. Der er altså en usikkerhed i de eksisterende data fra 1970-erne på ca. 50.000 ha. I undersøgelsen fra Landbrugsministeriet (1985) findes det vha. differensregning, at der kun er behov for ny- og pletdræning i 200.000 ha. Men heri indgår ikke "områder båndlagt af fredningsinteresser" og arealer hvor "omkostningerne ved gennemførelse af dræning ikke står i et rimeligt forhold til de driftsøkonomiske fordele".

**Figur 2.1.** Aktuelt dræningsbehov i 1972. Data efter Skriver og Hedegård (1973) – her fra Olesen (2010).

	Mineraljord		Organogenjord		Total
	%	ha	%	ha	
Behov for:					
Omdræning	7	170.000	17	68.000	238.000
Pletdræning	4	92.000	5	20.000	112.000
Nydræning	4	94.000	16	64.000	158.000
Sum	15	356.000	38	152.000	508.000

### 3 Nedbørens og grundvandets betydning for dræning – herunder betydning af klimaforandringer for dræning

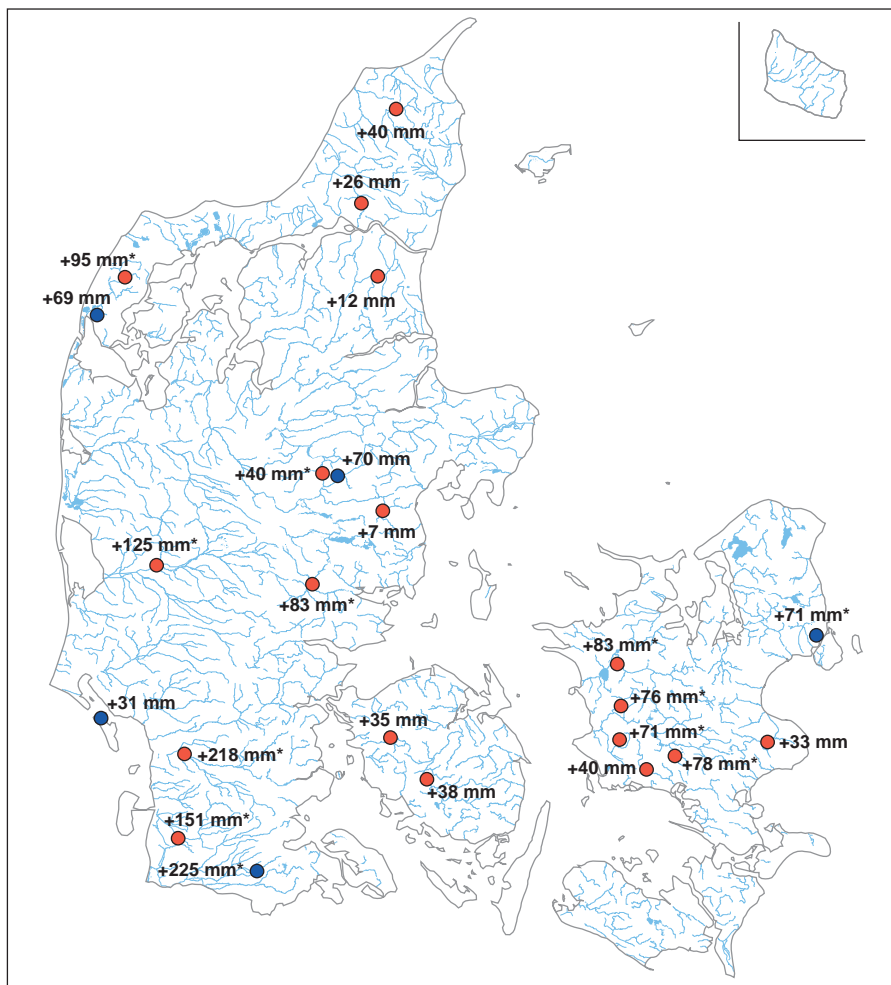
Målinger af nedbør de sidste ca. 120 år viser, at frekvens af ekstrem regn er stigende samtidig med at årsnedbøren er steget ca. 10 % de sidste 30 år (Van Roosmalen et al. 2009). Således kommer der nu ca. 100 mm mere nedbør end i 1870'erne (Drews et al. 2011). Grundvandsstanden i det åbne land har været og forventes i fremtiden generelt at være stigende. Kombinationen af mere intense og større regnmængder samt højerestående grundvand kan være medvirkende årsager til, at vi oftere ser oversvømmede marker i dag. Et ellers fuldt funktionsdygtigt drænsystem er ikke altid i stand til at sikre veldrænedede marker, hvis det ikke er dimensioneret efter disse større mængder og intensiteter (Andersen et al., 2006). Det bør her bemærkes, at den lokale, erfaringsbaserede nedbør som mange gamle drænsystemer fra 1800-tallet er designet efter, var vidt forskellig fra nutidens årlige middelnedbør (figur 3.1). Omfang og varighed af en oversvømmelsesbegivenhed er dog kraftigt påvirket af effektiviteten af dræningerne på den enkelte mark. Igen skal man være forsigtig med at generalisere, da ingen årsag virker alene. I ådale vil fx stigende grundvandsspejl og lang tids sætning af jordoverfladen i organisk jord nemlig kunne forstærke virkningen af en ellers moderat nedbørsbegivenhed.



Figur 3.1. Årlige middelnedbør hhv. for perioderne 1886-1925 (Westerman, 1936) og 1961-1990 ([www.difgeodata.dk](http://www.difgeodata.dk)).

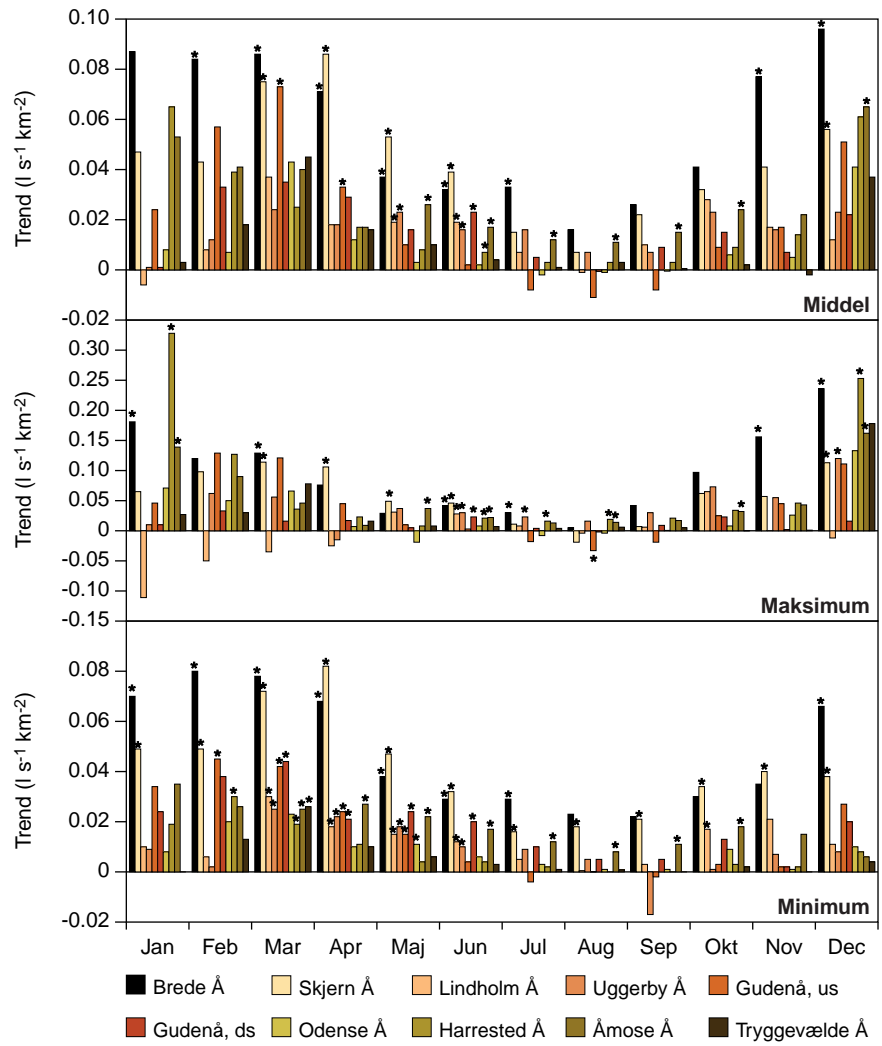
Der er gennemført flere analyser af den historiske udvikling i nedbøren i Danmark og afstrømningen i danske vandløb (Larsen et al. 2005). Der er konstateret stigninger i den årlige nedbør ved en række målestationer, samt i afstrømning i en lang række vandløb over hele landet gennem perioden 1925-2000 (figur 3.2). Den årlige stigning i nedbør og afstrømningen er størst i den sydvestlige del af landet og aftager mod nord og øst.

**Figur 3.2.** Årlig stigning i vandafstrømningen i vandløb (røde) og i nedbør (blå) i perioden 1925-2000. \*: Signifikant udvikling.



Stigningen varierer betydeligt gennem året men er tydeligvis størst i efterår- og vinterperioden (figur 3.3). Størst stigning er der generelt i december, februar og især marts måned, hvor grødemængden er mindst. Stigningen kan i denne periode både erkendes for maksimum og minimum afstrømningen (figur 3.3). Da denne periode er kritisk for dræn og deres naturlige spuling af sediment kan udviklingen have indflydelse på dræns evne til 'selvrensning'.

**Figur 3.3.** Udviklingen i den månedlige afstrømning (middel, maksimum og minimum) i 10 danske vandløb i perioden 1925-2000.



## 4 Vandløbs og grøfters betydning for dræning

Den fysiske udformning af vandløbene, er vigtig for effektiv og hurtig afvanding af landbrugsjord. I 1880 blev en ny lov vedtaget som sikrede at danske vandløb alene skulle sikre bortledning af drænvand og ikke som tidligere primært sikre vandmøllernes vandbehov (Pedersen 2006). Herefter var de agronomiske interesser stort set enerådende for vandløbene fysiske rammer. Fokus var på vandløbets evne til at bortlede vand, typisk ved udretning, sænkning af vandspejlet, samt løbende fjernelse af aflejrede sedimentter. Først med vandløbslovene efter 1982 samt senest Miljømålsloven blev naturhensyn inddraget i væsentlig omfang.

De fleste danske vandløb er derfor blevet udrettet og kanaliseret gennem de sidste mere end 150 år for at skabe en øget vandafledning fra det åbne land og i byer. Man har anslået at mere end 90-95 % af de vandløb har været igennem en eller anden form for hovedafvanding (Brookes, 1984). Denne hovedafvanding har skabt grundlaget for den senere detailafvanding med grøfter og dræn idet der kunne etableres et fald på drænrør og grøfter hen til det udrettede vandløb. Frem til den nye Vandløbslov i 1982 blev vandløb derfor kun betragtet som en kanal til vandafledning og der har derfor frem til dette tidspunkt formentlig været forsøgt optimeret til afvandingsforhold.

Først med vandløbslovene efter 1982 blev naturhensyn inddraget i væsentlig omfang i vandløbenes vedligeholdelse. Vandløbsloven indeholder bestemmelser om udarbejdelse af regulativer for alle offentlige vandløb. Af regulativerne fremgår det at vandløb enten skulle administreres efter krav til deres skikkelse (bundbredde, bundkote og skråningsanlæg) eller efter deres vandføringsevne. I regulativerne er desuden indarbejdes regler for vedligeholdelsen af vandløb i form af bestemmelser om grødeskæringen. Denne sætter rammer for antal skæringer, tidspunkter og metode til grødeskæringen (strømrende, hele bunden, brinken, mv.).

De nye regulativer blev udarbejdet gennem 1980'erne og starten af 1990'erne. De giver myndighederne mulighed for at dokumentere om vandføringsevnen var overholdt på de enkelte vandløbsstrækninger. De giver samtidig myndighederne en mulighed for at kunne dokumentere vedligeholdelsens omfang og dermed undgå at lave for store og i princippet ulovlige vedligeholdelsesarbejder i form af opgravninger og grødeskæring. Dermed sikres naturens interesser bedre i vandløbene. Analyser af hvilke konsekvenser omlægningerne af vedligeholdelsen af de danske vandløb medførte i form af vandstandsstigninger er behandlet i kapitel 5.

I lærebogen af Aslyng (1980, s. 108) siges: "Ved afstrømning svarende til middel for marts måned skal vandspejlet være mindst 1,0 m under laveste terræn og tillade frit udløb fra drænledninger". Der kræves altså generelt frit udløb i den (normalt) kritiske periode (marts). Mange dræn udmunder ca. 1 m under terræn i vandløbsbrinken. I marts måned findes normalt den højeste vandføringsevne i vandløb da biomassen af planter i selve vandløbet (de ægte neddykkede), de amfibiske planter langs brinken og de terrestriske planter på brinken er lavest efter vinte-



rens lave temperaturer, ringe lys og det hydrauliske slid fra store vandføringer. Denne naturlige årsrytme er ikke ændret ved de nye måder at skære grøde på. Dog kan tilsanding og tilslamning af bredzonen hvor der i sommeren står mange amfibiske planter have opbygget bundniveauet så drænudløb tilsander eller kommer kritisk tæt på bundkoten. Drænen kan derfor allerede gennem omlægningen af vandløbsvedligeholdelsen igennem 1980'erne og 1990'erne være blevet påvirket af en sådan ændring i vandløbets skikkelse. Kortvarige neddykninger af drænen har altid forekommet på grund af de store udsving i nedbør og afstrømning i vandløb som sker fra naturens hånd. Dette har ikke påvirket vandafledningsevnen fra grøfter og drænen, men har måske nok krævet vedligeholdelsesarbejder i form af opgravninger af materiale fra grøfter og rensning af drænen.

Hvis vandløbet i længere perioder stuver op over drænenes udløb i et vandløb, eller drænudløbet blokeres af tilsanding af bunden, der hæves, vil der ske en reduktion af den kraft (potentialgradient), der får vandet til at strømme i og hen til røret, set i forhold til situationen med frit udløb. Afvandingseffektiviteten reduceres umiddelbart. Vandhastigheden bliver især lavere end planlagt på den nedre del, og der opstår risiko for sedimentation af partikler (ler og sand) som er trængt ind i drænrørene. Risikoen er særlig stor på flade vandløbsnære arealer, hvor vandhastigheden i drænen i forvejen har ligget tæt på den kritiske grænse. Sætninger kan også spille en stor rolle for dræns vandafledningsevne og om de kan overholde den mindste strømhastighed, som er nødvendig for at holde dem fri for sedimentation (0,2-0,35 cm/s).

Vandløbsloven fra 1982 gav også mulighed for at gennemføre restaureringer af vandløb i form af træplantning langs bredden, udlægning af sten og gydegrus og egentligt genslyngninger af selve vandløbet. Amter, kommuner og staten har siden 1983 gennemført mange tusinde vandløbs restaurerings projekter (Hansen et al. 1996). Disse projekter har i mange tilfælde ændret på vandføringsevnen og vandløbets skikkelse og dermed har de i mange tilfælde påvirket dræningen af de tilstødende arealer. I de større projekter med brug af genslyngning af vandløbet (Gelså: Kronvang et al. 1994; Brede Å: Kronvang et al. 1998; Skjern Å: Andersen et al. 2006) er der sket en forringelse af dræningen og i mange tilfælde er drænen og grøfter blevet sløjfet.

Siden 1998 hvor der i forbindelse med Vandmiljøplan II blev åbnet for etablering af vådområder og søer i Danmark finansieret af statslige midler er der gennemført mange små og store projekter hvor måske op mod 20.000 ha lavbundsarealer er blevet ændret til søer og vådområder.

## 5 Grødens betydning for afvandingen

Den fysiske udformning af vandløbene, er vigtig for effektiv og hurtig afvanding af landbrugsjord. Skæring af grøde i vandløbene har således til formål at sikre effektiv og hurtig gennemstrømning ved at skabe det størst mulige gennemstrømningsareal og den mindst mulige strømningsmodstand og vandstand. Herved sikres en dyb og effektiv dræning af den tilgrænsende landbrugsjord. Grøde i et vandløb kan let hæve vandspejlet med mange cm, og er dermed et problem for dyrkningssikkerheden langs åen. Størst effekt af grødevækst forekommer hvor vandløbet har et lille fald og hvor der er åbne vandløb uden skygge fra træer og anden brinkvegetation.

Vandstanden i vandløbene afhænger primært af vandføringen, dvs. hvor meget vand der strømmer i vandløbet. Vandføringen afhænger dels af, hvor meget det har regnet, dels af hvor stor en del af nedbøren, der når vandløbet, samt eventuelle spildevandstilførsler. Vandstanden er generelt højest om vinteren. Det skyldes, at vandføringen er størst i vinterhalvåret, hvor en større del af nedbøren strømmer af til vandløbene. Vandstanden er lavere om sommeren, fordi den regn, der falder om sommeren, i mindre omfang bidrager til vandføringen på grund af den store fordampning fra jord og plantedækket på denne årstid. Vandet, der strømmer af i vandløbene i sommerhalvåret, tilføres primært vandløbene fra tilsivende grundvand.

Udover vandføringen afhænger vandstanden tillige af vandføringsevnen, dvs. hvor mange liter pr. sekund, der kan løbe ved en valgt given vandstandskote. Det er dog mest praktisk at illustrere vandføringsevnen ved at se på ændringer i vandstanden ved en konstant vandføring. I et smalt vandløb er vandstanden højere end i et bredt vandløb ved samme vandføring. Hvis vandløbet fyldes op af grøde eller is, stiger vandstanden tillige, selvom vandføringen er konstant. Forhindres vandstrømmen lokalt i vandløbet, vil det samtidig få vandstanden til at stige på en længere strækning ovenfor forhindringen, hvorved vandet staves op. Om vinteren afhænger vandføringsevnen først og fremmest af vandløbets geometri og eventuelle isdannelser, fordi grøden helt eller delvist henfalder på denne årstid. I sommerhalvåret er vandstanden både bestemt af geometrien og den hydrauliske modstand i den fremvoksende grøde.

Praksis med hensyn til grødeskæring har naturligvis betydning for mængden af grøde i vandløbet om sommeren, men grødeskæringen kan tillige afstedkomme midlertidige og permanente ændringer i vandløbets geometri på grund af vandløbsvegetationens evne til at tilbageholde sedimenter. Oprensninger/opgravninger fører til en øjeblikkelig udvidelse af vandløbet, men forøger erosionsrisikoen på længere sigt. Når udviklingen i vandføringsevnen som følge af ændret vedligeholdelsespraksis undersøges, betragter man derfor samtidige ændringer i grødens hydrauliske virkning og ændringer i geometriens indflydelse på vandstandsforholdene. Vedligeholdelsespraksis har derfor betydning for vandstandsforholdene både sommer og vinter.

Vandspejlsniveauet i vandløb er med til at påvirke grundvandsstanden i de vandløbsnære arealer. Det har gennem tid været udnyttet ved de så-

kaldte hovedafvandinger, hvor man ved udretning af vandløbets forløb, samt uddybninger sænkede vandspejlet i vandløb og i de vandløbsnære arealer (Kronvang et al. 1987). Herved blev der opnået en større hældning på grundvandspejlet ud mod vandløbet. Dette gav en direkte sænkning af grundvandspejlet i de vandløbsnære arealer og som samtidig kunne udnyttes til en videre detailafvanding ved grøftning eller dræning.

På tilsvarende måde kan vandspejlet i vandløb og dermed grundvandspejlet hæves ved at restaurere et vandløb gennem f.eks. genslyngning ved indsnævring af bredden og hævning af bunden ved udlægning af sten og grus. Desuden vil en mindsket oprensning gennem tid kunne hæve vandspejlet i vandløb. Desuden vil en ændret grødeskæring kunne ændre vandspejlet i vandløb i kortere eller længere perioder. I hvor høj grad grundvandspejlet i de vandløbsnære arealer påvirkes ved et vandspejlsniveau i vandløbet, såvel opadgående som nedadgående, afhænger af en række faktorer:

- De vandløbsnære arealers udbredelse og topografi.
- Jordens hydrauliske ledningsevne.
- Udgrøftning af de vandløbsnære arealer.
- Dræning af de vandløbsnære arealer.

Udbredelsen og topografien af de vandløbsnære arealer bestemmer både omfanget (arealet) af de potentielt påvirkede områder og området fugtighedstilstand ved en hævning af vandspejlet i vandløb. I forbindelse med hoved- og detailafvandingerne er der dog sket store sætninger i mange vandløbsnære arealer som gør at en hævning af vandspejlet i vandløb i dag vil gøre de vandløbsnære arealer mere fugtige end de ville have været før afvandingen (se kapitel 6).

Jordens hydrauliske ledningsevne er bestemt af tekstur forholdene i rodzonen i de vandløbsnære arealer. Den er stor i grovsandede aflejringer ( $10^{-4}$ - $10^{-3}$  m/s) og lav i lerede aflejringer ( $10^{-12}$ - $10^{-9}$  m/s). Derimod kan den hydrauliske ledningsevne variere meget i organiske jorder alt afhængig af hvor omsat det organiske materiale er (stærkt humificeret tørv:  $10^{-8}$ - $10^{-6}$  m/s; svagt humificeret tørv:  $10^{-5}$ - $10^{-2}$  m/s) (Dahl et al., 2004).

Biomassen af planter (grøde) i vandløb (både submerse, emergente og terrestriske planter på brinken), og plantearternes morfologi påvirker ved deres modstand mod vandets strømning vandspejlsniveauet i vandløb så det stiger ved mere grøde og jo tættere og ubøjelige planterne er ved vandets strømning. Det teoretiske grundlag for hydrauliske beregninger af vandspejl i åbne vandløb gennemføres oftest ved anvendelse af Manning formelen:

$$V = M * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Hvor V er strømhastighed (m/s), M er Manningstal ( $m^{1/3}/s$ ) og S er energigradienten (m/m).

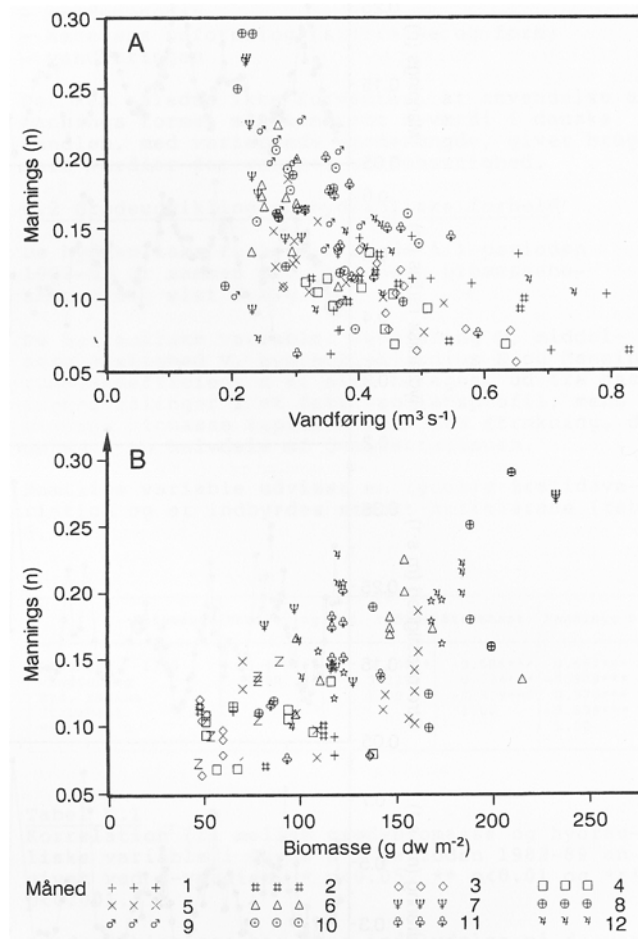
Der er også opstillet empiriske formler for strømmingen i vandløb fra danske studier som (Thyssen et al., 1990):

$$V = 79,3 * Q^{0,47} * B^{-0,058} * S^{0,69} * I^{-0,79}$$

Hvor V er strømhastighed (m/s), Q er vandføring (m<sup>3</sup>/s), B er biomasse af grøde (g TV/m<sup>2</sup>), S er energigradienten (m/m) og I er et index for meanderingsgrad (hvor 1 er lige, 2 er sinuøs og 3 er meanderende).

De fleste beregninger gennemføres dog med Manning formlen hvor Manningstal er et udtryk for den hydrauliske modstand i vandløbet. Denne afhænger af flere ting som blandt andet relaterer sig til de fysiske forhold som vandløbsbundens sammensætning, bundens topografi, samt dimensioner og form af vandløb. Desuden spiller grødens mængde og karakter en stor rolle. Således fremkommer der et lavt Manningtal (M, svarende til et stigende Mannings lille n som det er vist i figuren) ved en høj modstand når der er store grødebiomasser om sommeren i vandløb og et højere Manningtal (M) i senvinter og det tidlige forår hvor grøden er henfaldet og slidt af ved det hydrauliske slid fra store vandføringer og sedimenttransport gennem vinteren (figur 5.1).

**Figur 5.1.** Eksempel på sammenhæng mellem grødevækst og Mannings n i et vestjysk vandløb, Grydeå (n = 1/M) (fra Thyssen et al., 1990).



Hvis der ikke sker ændringer i de fysiske forhold i vandløbet vil det alene være grøden og brinkvegetationen der har betydning for modstandstallets udvikling og dermed vandspejlet i vandløb. Dog er der konstateret en sammenhæng mellem forekomst af forskellige plantesamfund (ægte vandplanter og amfibiske) og sedimentationen på bunden af vandløb, således at der ved en større plantebiomasse sker en lokal hævnning af vandløbsbunden forårsaget af sedimentation af sand og slam.

Denne sedimentation giver ved omlægning til strømrendeskæring om sommeren i vandløbet anledning til en øget sedimentation i bredzonerne af vandløbet som fastholdes om vinteren af de amfibiske vandplanter. Dette blokerer og tilsander drænummønder hvorved deres vandafledning forringes og der kan ske sedimentation i drænrørene på grund af manglende gennemstrømning. I sådanne tilfælde kræves der et hyppigere tilsyn med drænumløb og et større vedligeholdelses arbejde eventuelt med forlængelse af drænummønder længere ud i vandløbets nye strømrende.

I Kronvang et al. (1987) blev der gennemført analyser i fire vandløb af hvad der sker med vandspejlet i åen og i de vandløbsnære arealer ved en ændret grødemængde i vandløb. Beregningerne blev foretaget for 4 forskellige jyske vandløb:

- Karup Å på hedesletten vest for Viborg (flere strækninger)
- Nørre Å i Gudenåsystemet øst for Viborg
- Surbæk/Arnå på bakkeø og hedeslette i Sønderjylland.
- Uggerby Å på hævet havbund i Nordjylland.

De hydrauliske beregninger blev foretaget ved simulering af forskellig grødemængde gennem et fastholdt Manningtal (10, 20, 30 og 40), hvor et Manningtal på 10 svarer til en situation uden grødeskæring om sommeren, og et Manningtal på 40 svarer til en situation helt uden grødevækst. De gennemførte beregninger blev især foretaget ved en medianmiddel afstrømning for perioden 15. august til 15. oktober, da det er i den periode, at grødemængden er størst i vandløb og påvirkningerne på afvandingen af de vandløbsnære arealer er størst.

Ud fra ændringer i vandspejlet i vandløb og topografien af de vandløbsnære arealer og viden om deres jordbundsforhold kan der teoretisk indtegnes et ændret grundvandspejl i de vandløbsnære arealer som følge af stigninger i vandspejlet i vandløbet. Der kan for eksempel indlægges grænse for tør eng til omdrift (grundvandsstand ca. 90 cm under terræn), eng til afgræsning (grundvandsstand ca. 50 m under terræn) og sumpeng (grundvandsstand ca. 20 cm under terræn med enkelte steder med frit vandspejl).

Resultaterne fra de gennemførte analyser i 2006 i de 4 vandløb viste følgende:

I Uggerby ådal blev det beregnet, at der ved overgang til ingen grødeskæring (M=10) vil ske en stigning på fra 22 til 69 % af ådalen som er sumpeng og vådarealer (i alt en stigning på 186 ha). Den flade ådal og det relativt lille fald på åen (1,0 ‰) har stor betydning for konsekvenserne for afvandingen ved ændret grødeskæring i dette område.

I Nørreåen vil der ske en forsumpning (sumpeng og vådarealer) af 60 % af ådalen (428 ha) allerede ved nogen grødeudvikling (M=20) og ved ingen grødeskæring (M=10) vil store arealer oversvømmes (figur 2). Den store effekt af ændret grødeskæring i denne ådal skyldes det meget lille fald på åen (0,2 ‰) (figur 5.2).

I Karup Å ved Agerskov vil der ved ingen grødeskæring (M=10) kun blive en øget forsumpning i en 50 m smal bræmme på grund af den for-

holdsviis smalle ådal med en markant ådals topografi og et rimelig fald på åen (1,6 ‰) (figur 5.3).

I Surbæk vil der uden grødeskæring ske en stigning i sumpeng fra 9 ha til 24 ha men kun i et smalt bælte langs vandløbet pga. de relativt gode faldforhold både i terræen og i vandløbet (1,1 ‰) (figur 5.4).

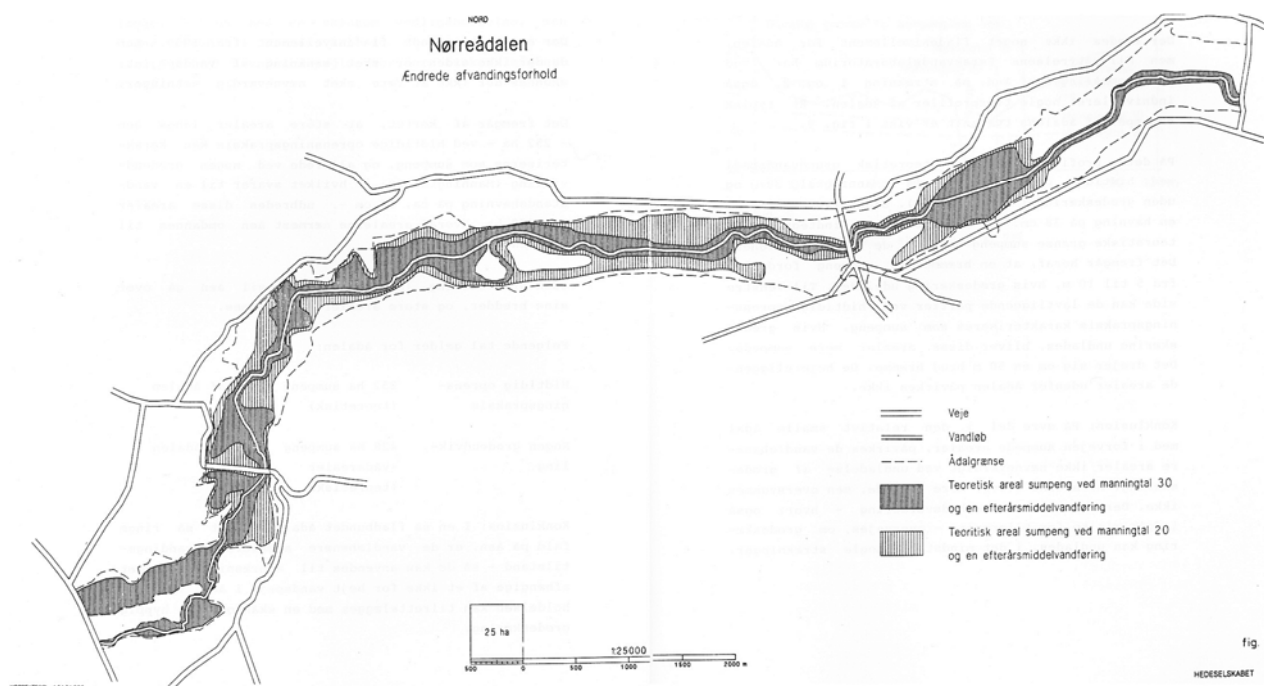
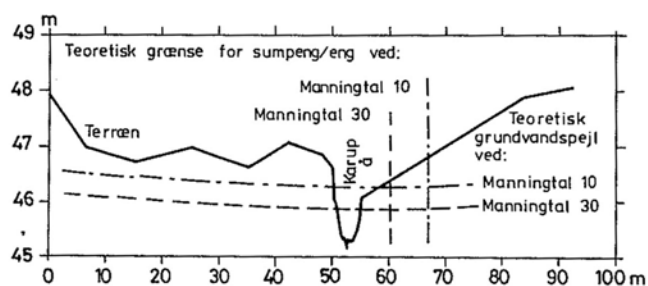


fig. 8  
HEDESELKABET

**Figur 5.2.** Eksempel op ændring i afvandingstilstand i Nørreåen ved ændret grødeskæring.

**Figur 5.3.** Eksempel på beregning af konsekvenser af ændret grødeskæring i en smal ådal (Karup Å opstrøms Agerskov bro).





**Figur 5.4.** Eksempel på ændret afvanding langs Surbæk i Arnå systemet ved ændret grødeskæring.

Det skal huskes at effekterne af en grødeskæring ikke er vedvarende men kan ophøre forholdsvis hurtigt ved genvækst pga. de gode lysforhold som skabes ved bunden efter reduktion i vandstand og ingen selvskygning. Så selv om konsekvenserne af ophør med grødeskæring er store i nogle ådale kan den samme effekt forekomme også ved en grødeskæring i f.eks. juni eller juli på grund af genvæksten. Så for at opretholde en afvandingstilstand i ådalen kan flere grødeskæringen i den undersøgte periode (15. august til 15. oktober) være nødvendig for at sænke grundvandsspejlet i ådalen.

Eksemplerne ovenfor viser med al tydelighed at konsekvenserne ved at ophøre med grødeskæring er meget forskellige fra vandløb/ådal til vandløb/ådal. Konsekvenserne er kun beregnet for en situation med maksimal grødeforekomst i vandløb, men er gode til at vise de lokale konsekvenser. Betydningen for eventuelle dræn i de berørte områder vil forventeligt følge forsumpningens omfang. Således vil der kun være en lille lokal betydning for eventuelle dræn i Surbæk/Arnå eksemplet mens betydningen vil være stor i Nørreåens eksempel.

I et projekt fra 1997 blev konsekvenser af ændret grødeskæring i vandløb efter Vandløbslovens ændring fra 1982 beregnet for en række danske vandløb i perioden 1976-95 (Iversen og Ovesen, 1997). Der blev i projektet dokumenteret ændringer i vandstand især i den sidste del af perioden 1986-95. Resultaterne viste, at der i omkring halvdelen af samtlige undersøgte vandløb i løbet af perioden 1976 til 1995 skete en reduktion af vandføringsevnen. I godt 10 % af vandløbene skete der en forøgelse, og i resten af vandløbene er der ikke nogen signifikant ændring i vandfø-

ringsevnen. For samtlige de undersøgte vandløb er der i løbet af perioden 1976 - 95 sket en gennemsnitlig reduktion i vandføringsevnen svarende til en vandstandsstigning på ca. 5 cm. I de vandløb, hvor vandføringsevnen er reduceret (altså ca. halvdelen), svarer ændringen til en vandstandsstigning på gennemsnitligt ca. 16 centimeter, og i de enkelte vandløb varierer stigningen mellem 4 og 42 centimeter. Vandstandsstigningerne er sket både i sommer- og vinterperioden.

**Tabel 5.1.** Udvikling i vandføringsevnen (95 % konfidensniveau) på 64 stationer i Danmark, opdelt i grupper med og uden ændring i vedligeholdelsespraksis (tabel er fra Iversen og Ovesen, 1997).

Periode	Sæson	49 Stationer med ændring i vedligeholdelsespraksis		15 Stationer uden ændring i vedligeholdelsespraksis	
		Signifikant reduktion Antal (%)	Signifikant forøgelse Antal (%)	Signifikant reduktion Antal (%)	Signifikant forøgelse Antal (%)
1976 – 1995	Vinter	24 (49)	6 (12)	8 (53)	1 (7)
	Sommer	19 (39)	6 (12)	7 (47)	1 (7)
1976 – 1985	Vinter	12 (24)	14 (29)	2 (13)	3 (20)
	Sommer	10 (20)	13 (27)	0 (0)	3 (20)
1986 – 1995	Vinter	24 (49)	0 (0)	6 (40)	0 (0)
	Sommer	14 (29)	2 (4)	6 (40)	0 (0)

Det fremgår af tabel 5.1, at den generelle reduktion i vandføringsevnen i årene 1976-1995 både ses hvor der er ændret i vedligeholdelsespraksis og hvor der ikke er sket ændringer i vedligeholdelses praksis. En Chi2-test viser, at der ikke er signifikant forskel på udviklingen i henholdsvis referencestationer (vandløb uden ændring) og stationer med ændret vedligeholdelsespraksis. Denne statistiske analyse godtgør således ikke, at vandføringsevnen generelt er reduceret alene på grund af ændringer i vedligeholdelsespraksis. Der kan i den givne periode være tale om at andre forhold som variationer i klima og en forbedret vandkvalitet i vandløb som følge af spildevandsrensning (som giver større lys nedtrængning til bunden) også kan have haft en indflydelse på vandføringssevnen i vandløb.

I en analyse af vandstandsstigninger, som følge af et ophør med grødeskæring, er der blevet gennemført konsekvensberegnet for de større vandløb i Odense Å systemet (DCE 2012). Vandstandsstigningerne fremkommer ved at ændre på vandløbsruheden (Manning tallet) så de repræsenterer ændringen i grødeskæringspraksis. Vandstandsstigningerne er beregnet med den hydrauliske vandløbsmodel MIKE11. Middel af den maksimale vandstandsstigning på de 81 tværprofiler der indgår i modelleringen af de strækninger der indgår i udkastet til vandplanerne er 6,2 cm ved ophør med grødeskæring, beregnet efter et "gennemsnits" scenarie og 42 cm beregnet efter et absolut "worst-case" scenarie. Ved et scenarie hvor der er introduceret tydelig grødeskæringseffekt i reference kørslen er middelvandstandsstigningen 17.9 cm ved ophør med grødeskæring.

Oversvømmelseshyppigheden er modelleret til at stige fra 0,40 % af tiden (juni-oktober) ved et middel af hidtidige situation, til 0,55 % af tiden ved ophørt grødeskæring ved et normalt scenarie. Hvis der lægges et absolut ekstremt scenarie ind hvor der bygges på maksimalt forekommen-

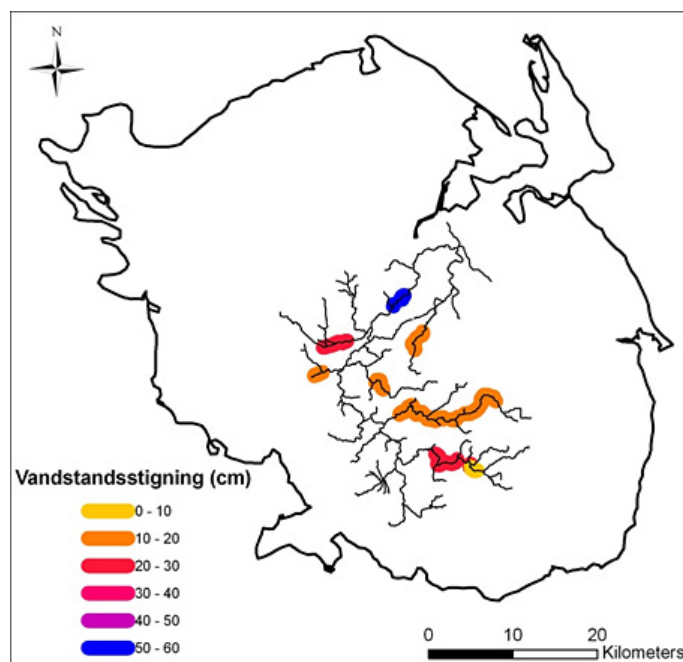


de ruheder over hele perioden vil oversvømmelseshyppigheden stige til 3,2 %. Ved scenariet hvor der er introduceret tydelig grødeskæringseffekt i reference kørslen er oversvømmelses hyppigheden 0,28 %. Tallene er et gennemsnit for de 81 tværprofiler, der indgår i modelleringen af de strækninger der indgår i udkastet til landplanerne, og er gennemført for en 4 årig modelleringsperiode.

I figur 5.5 er vist konsekvenserne af ændret grødeskæring for dele af det analyserede Odense Å system. Af figuren fremgår det tydeligt at der er store lokale forskelle i den modellerede vandspejlsstigning ved at ophøre med grødeskæring. Det er især de lokale hældningsforhold i vandløbet som afgør hvor stor en effekt der bliver af ophør med grødeskæring. Hvor store arealer som berøres i ådalen er ikke analyseret i denne udredning og dette afhænger som ovenfor beskrevet af den lokale ådals topografi, samt især de lokale jordbundsforhold og detaildræningsforhold. Kun gennem lokale analyser af denne problemstilling kan konsekvenser af ændret grødeskæring i vandløb for afvandingen af den tilgrænsende ådal analyseres.

I små vandløb med stor hældning vil konsekvenserne af ophør med grødeskæring være begrænsede, da der ikke vil ske større stigninger i vandløbets vandspejl og konsekvenserne formentlig kun er tydelige i sensommerperioden. Udenfor denne periode vil afvandingen vende tilbage til den normale situation, med mindre, der som følge af stop i oprensning sker en indsnævring af tværprofilet. Det er især i større vandløb med ringe faldforhold og en bred sandet ådal med stor hydraulisk ledningsevne, at der vil kunne ske forsumpning af ådalens arealer. Dog kan brede ådale uden større hældning, som er detaildrænet og har en lav hydraulisk ledningsevne også risikere at forsumpe fordi vandstandsstigningen i vandløbet vil reducere afledningen af drænvand for større arealer pga. den reducerede hældning i drænsystemet.

**Figur 5.5.** Middel af maximal vandstandsstigning ved ophørt grødeskæring for enkelt strækninger. "Introduceret grødeskæring" scenariet er reference niveau for de enkelte delstrækninger som er analyseret af Odense Å systemet.



## 6 Sætningers og jordkompaktionens betydning for effektiv dræning og afvanding

### Årsager til sætninger

Al drænet lavbundsjord som består af tørv samt sø- eller havsedimenter siges at "sætte sig". Sætning består af to processer: konsolidering som følge af vandudpresning og mineralisering af aflejret organisk stof til især CO<sub>2</sub>. Tørvejord nedbrydes langsomt men sikkert, når dræning tilfører ilt til jorden, lige som de løse organiske lag synker sammen når vandet i dem forsvinder. Risikoen for at drænsystemer på berørte arealer ikke fungerer optimalt øges hvis de ikke omdrænes regelmæssigt og/eller vandløbets vandspejl ikke sænkes samtidigt.

Der findes to væsentlige gennemgange af eksisterende viden om sætninger i dansk jord, nemlig Fanger (1989 og); (Hansen 1989). Hansen (1989) har de bedst dokumenterede nyere danske felteksperimenter, mens Fanger (1989)' speciale mere er en oversigt over tidligere undersøgelser.

Konsolidering skyldes en sammenpresning af jordlagene på grund af overliggende lags større belastning når der ikke længere er grundvand mellem partiklerne til at bære en del af vægten, samt større kapillærkræfter som trækker partiklerne sammen. Det sker både over og under drændybden. Samlet kan konsolidering, som undersøgelser i Susåens opland viste, variere fra 1 til 10 % af tykkelsen af de organiske lag, men være overstået indenfor de første 1-2 år efter dræningen.

Mineralisering skyldes at aflejret organisk stof, der tidligere har ligget i iltfrit miljø, udsættes for ilt og derved kan nedbrydes biologisk. Det foregår derfor i den umættede zone samt de øverste få titals cm under grundvandsspejlet. Omsætningshastigheden af tørv, gytje m.v. varierer kraftigt, og generelt kan man ikke sige hvornår alt er væk på et givent sted. Hansen (1989) oversigt værk om sætning af drænet dansk jord konkluderer dog at der generelt sker 1-2 cm mineralisering pr. år på ren humusjord.

Samlede sænkninger af jordoverfalden på op til 1 til 2 meter som følge af dræning af humusjord er ikke usædvanlig. Af eksempler på sætningsundersøgelser som er specielt relevante kan nævnes Pedersen (1978) som viste tab af 220 cm humusjord over 44 år ved Centralgården i Store Vildmose. Højmoser er udsat for store sætninger, hvilket også afspejler sig i antallet af sammenhængende højmoser som i perioden 1919 til 1985 faldt fra >600 til ca. 29 (Mark 1991). Eksempler på hvordan søer og fjorde er tørlagte, og hvilke kulturtekniske udfordringer lavmose og gytte jord giver med initiale konsolidering og langsomme mineraliser ses fx i Amstrup (1955) hvor sætningernes udvikling i Søborg Sø er fulgt nøje, samt i Hansen et al. (1989) og (Hansen 1989), som følger en række danske lokaliteter. Især i 1800- og 1900-tallet umiddelbart efter de store hoved- og detailafvandinger blev påbegyndt, var sænkningerne markante og et velkendt problem.

Sætninger af jordoverfladen er svære at erkende, da de er sket over flere generationer (Hansen 1989). I Store Vildmose skønnes det i 1978 f.eks., at den fortsatte omsætning af tørven betyder, at alt tørv her først er forsvundet om 175-225 år fra nu, da samlet op til 3 cm mineraliseres og konsolideres hvert år (Pedersen 1978). Nye, endnu ikke publicerede undersøgelser indikerer imidlertid, at humusjorden i Store vildmoses landbrugsarealer kan være omsat indenfor blot 50-100 år fra 2013 (M.H. Greve, pers. komm.).

Sætninger tæt ved vandløbet kan forplante sig længere op i et drænsystem ved at skabe såkaldt bagfald på drænrørssystemet. Herved kan også jord længere væk fra vandløbet blive vandlidende i et komplekst samspil med vandløbet, da brinkerne ikke altid sætter sig tilsvarende.

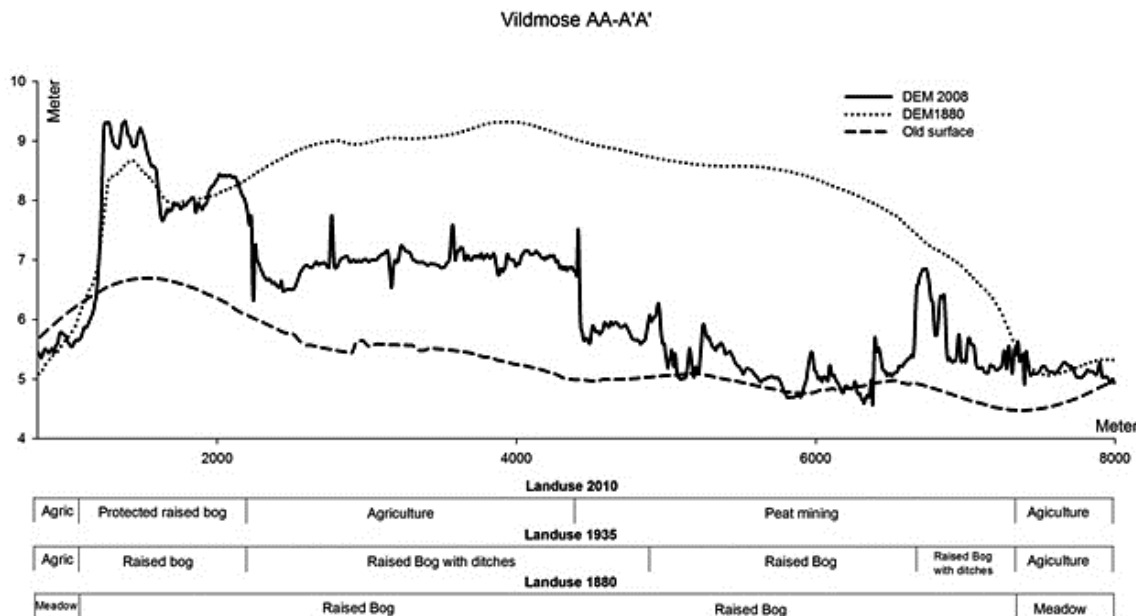
### **Lavbund som er forsvundet pga. sætninger**

I dag skønnes det, at kun ca. 68.000 ha tørvejord er tilbage imod 8-900.000 ha for 200 år siden (Petersen et al. 2011). Det er især på disse resterende få procent af landbrugsarealet at fortsatte, store sætninger kan forekomme. Grundvandsspejlet vil nemlig langsomt nærme sig jordoverfladen når jorden sætter sig så længe drændybden ikke ændres. Det vides i dag ikke hvor mange hektar af de lavbundsarealer, der allerede gennem tid har sat sig, som i dag er i en større risiko for at forsumpe når vandstanden stiger i vandløb, som følge af mere nedbør (klimaforandring), øget grødevækst, restaurering af vandløb, mv.. Det samme gælder de tørvejerde som fortsat sætter sig, da der ikke er nogen tvivl om at disse arealer i fremtiden også er i stor risiko at blive vådere end i dag.

De moderne laserscanninger af hele Danmarks har vist sig som et værdifuldt værktøj til bestemmelse af sætninger (M.H. Greve, Institut for Agroekologi, pers. komm.). Når terrænhøjderne i dag trækkes fra de terrænhøjder Hæren målte i slutningen af 1800-tallet, kan man anskueliggøre hvor store og hvor udbredte sætningerne har været i mellemtiden.

Til landbrugsformål er drænings dybder generelt anbefalet som følger, på lerjorde i 1,1-1,3 m dybde, meget svære lerjorde i ca. 1 m dybde og på sandjorde i 0,7-0,9 m dybde (Aslyng 1980). Hvis jordoverfladen sætter sig på humusjord eller der tilføres/fjernes mineraljord pga. pløjeerosion kan de oprindeligt projekterede drændybder ændres. Drænsystemers levetid på humusjord er således kun i gennemsnit ca. 33 år, om end den varierer fra 8 til 63 år (Hansen et al. 1989; Hansen 1989).

De naturlige processer som sænker jordoverfladen er begrænset reversible. Kun ved at vandspejlet i åen hæves eller drænene tilstoppes og der dele af året opretholdes et meget højt grundvandsspejl, kan nedbrydningen af tørven stoppes. Hansen (1989) har et eksempel hvor en hævnning af grundvandsstanden på 120 cm bevirker, at humusjorden hæver sig ca. 10 cm, og hvor de senere års mineralisering starter fra dette nye niveau. Det skal her bemærkes, at hævnning af grundvandet kan give en lavvandet sø i dele af året, hvis de forudgående sætninger har været tilstrækkeligt store.



**Figur 6.1.** Ændringer af jordoverfladens højde som følge af sætninger og delvist bortgravninger fra 1880 til 2008 i et 8 km langt transekt igennem St. Vildmose i Nordjylland. "Old surface" er littorinahavets overflade, dvs. sand, mens DEM2008 højder fra laser scanning af overfladen i 2008 og DEM1880 er kvoter fra bykortet som ligger til grund for Målebordsbladene fra 1880-erne. Data: Mogens H. Greve, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, upubliceret.

## Jordpakning

Ved mangeårig drift af landbrugsjord med brug af tunge maskiner og kørsel med gyllevogne kan der opbygges betydelig og svært reversibel jordpakning i underjorden, hvor der ikke pløjes. Jordpakning i underjorden kan reducere planters rodvækst og medføre udbyttetab (Hammel 1994, Kirkegaard et al., 1992, Raper 2005), men de langvarige effekter på andre jordfunktioner, som f.eks. jordens afdræningsevne, er ikke veldokumenterede. Midlertidig pakning af overjorden kan nedsætte jordens vand-infiltrationskapacitet (Mulholland & Fullen 1991; Lamandé et al. 2003) og øge risikoen for overfladisk afstrømning. Direkte og indirekte målinger af jordens mættede og nær-mættede ledningsevne tyder på at vandledningsevnen reduceres i over- og underjord som følge af jordpakning (Berisso 2012, 2013). Pakningen kan imidlertid også øge tilbøjeligheden til præferentiel strømning ned gennem jordprofilen og til dræn. Det tyder på at regnorme som laver dybe, gennemgående og nærmest lodrette ormehuller, ikke påvirkes af graden af jordpakning. Det betyder, at vandstrømning i en kompakt jord i højere grad domineres af præferentiel strømning via gennemgående, større makroporer som rodgange og regnormegange (Kulli et al. 2003; Etana et al. 2013). Idet de store makroporer har en relativt høj vandafledningskapacitet, har undersøgelser ikke fundet at jordens samlede vandafledningsevne reduceres ved jordpakning.

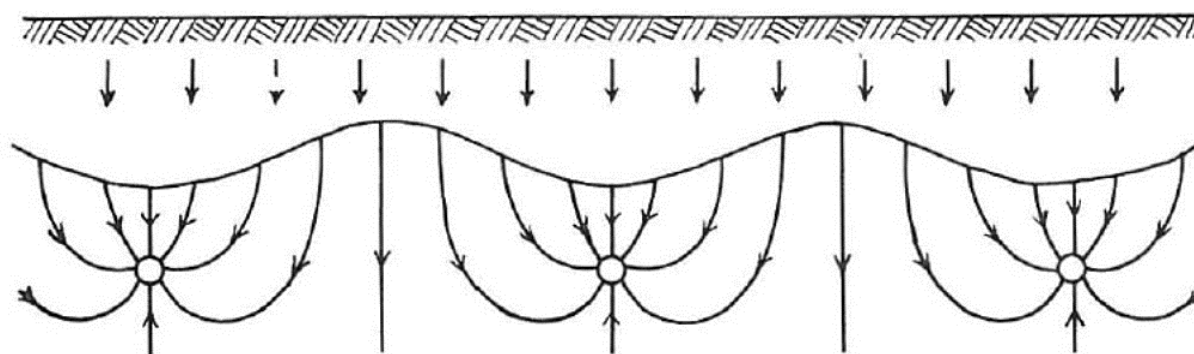
Det vil sige at jordpakning reducerer jordens evne til at infiltrere og bortlede vand 'som en svamp', mens den ikke forhindrer jorden i at bortlede vand 'som et nedløbsrør'. Der er desuden ingen studier der peger på at tunge maskiner påvirker med forskydningskræfter så dybt under jordoverfladen at ellers velfungerende/ hele drænrør ødelægges.

### **Jordflytninger og erosion som følge af jordbearbejdning**

Når der hvert år pløjes og harves, flyttes langsomt men sikkert store mængder jord i de kuperede landskaber. Det er således ikke ualmindeligt at finde 0,5-1 meter tykke muldlag i lavninger i østdanske morænelandskaber hvor 20-30 cm er naturligt. Samtidig fremkommer der langsomt mere kompakt underjord på bakketoppe og -skråninger, hvor regnvandet langsommere trænger igennem. Netto effekten på drænefektivitet på landplan er ikke forsøgt kvantificeret, men dette er en medvirkende, men nok overset, årsag til at drænsystemernes optimale funktion sænkes.

## 7 Betydning af selve drænrørene og pakningsmaterialet på drænenes effektivitet, herunder betydningen af drænenes effekt i forhold til deres placering og hældning i forhold til terræn

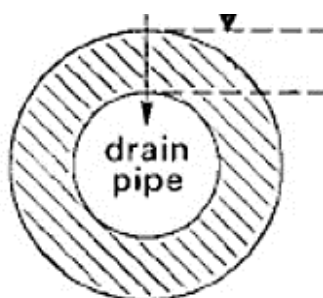
Dræning med drænrør har forskellig effektivitet afhængig af en række forhold, herunder specielt hvorvidt tilstrømningen af vand sker i et kompakt eller et porøst materiale. Vandstrømmen frem mod drænrør drives af den hydrauliske gradient hen mod drænrøret og så jordens mættede hydrauliske ledningsevne samt ledningsevnen i materialet omkring drænrøret. Eksempel på hvorledes vandspejlet ligger over drænrør kan ses af figur 7.1. Pilene viser vandets strømningsveje frem mod drænrørene: Vandets strømningsveje fra overfladen er meget forskellige afhængigt af afstand til drænledningen. Eksemplet viser en meget homogen jord, hvorimod naturlig markjord er mere heterogen. Pilene angiver vandstrømnings retningen og den optrukne linje angiver den vandmættede jords øvre grænse. Vandet samles omkring drænrørene fra et stort jordvolumen og skal derefter passere et mindre jordvolumen omkring drænrøret. Strømningslinjernes indbyrdes afstand viser relativt hvor stort jordvolumen der er for vandets passage frem til drænrøret. Omkring drænrørene indsnævres afstanden og der skal passere mere vand per jordvolumen i området omkring drænrørene end langt fra drænrørene. Figuren underestimerer imidlertid de korrekte størrelsesforhold i marken. For et drænrør med en diameter på 11 cm og en drænaftand mellem ledningerne på 18 meter skal der passere ca. 50 gange så meget vand gennem det inderste jordlag omkring drænrøret som der passerer i de umættede- og vandmættede jordlag over drænrørene (Her er antaget radial inflow, dvs - indstrømning over hele rørets overflade). Hvis rørene er smallere end 11 cm diameter, er forholdet endnu større; omvendt hvis rørene er større. Den mættede hydrauliske ledningsevne i jorden omkring drænrøret har således stor betydning for drænrørets effektivitet mht. at aflede vand fra marken.



**Figur 7.1.** Vandets strømningsveje omkring drænrør i en homogen jord. Pilene angiver strømningsveje. Optrukne linje angiver dybden for den vandmættede jord som funktion af afstand til drænrør. Figur fra Engelund (1951), gengivet i Aslyng (1980) (Figur 7.1).

Ved at vandet skal passere et lille jordvolumen i området omkring drænrøret er det største trykfald i vandets hydrauliske potentiale også omkring drænrøret. Det betyder at energiudladningen for at lede vandet frem til drænrøret her er størst og dette trykfald kan påvirke jordpartikler (specielt ler- og finsands partikler) og lede disse ind i drænrørene (se herom i kapitel 10).

For at forbedre dels vandtransporten frem mod drænrøret, dels undgå indtrængning af partikler i rørsystemet (stort trykfald) anvendes pakningsmaterialer omkring drænrørene (figur 7.2). Der er gennem tiderne gennemført en række forsøg med dels design af anlæg, dels forsøg med forskellige pakningsmaterialers virkning på dræneffektivitet og hvordan de virker som barriere for indtrængning af pakningsmateriale (Waagepetersen & Clausen 1988, Vlotman et al. 2000).



**Figur 7.2.** Tværsnit af drænrør omgivet af pakningsmaterialer (skraveret areal)

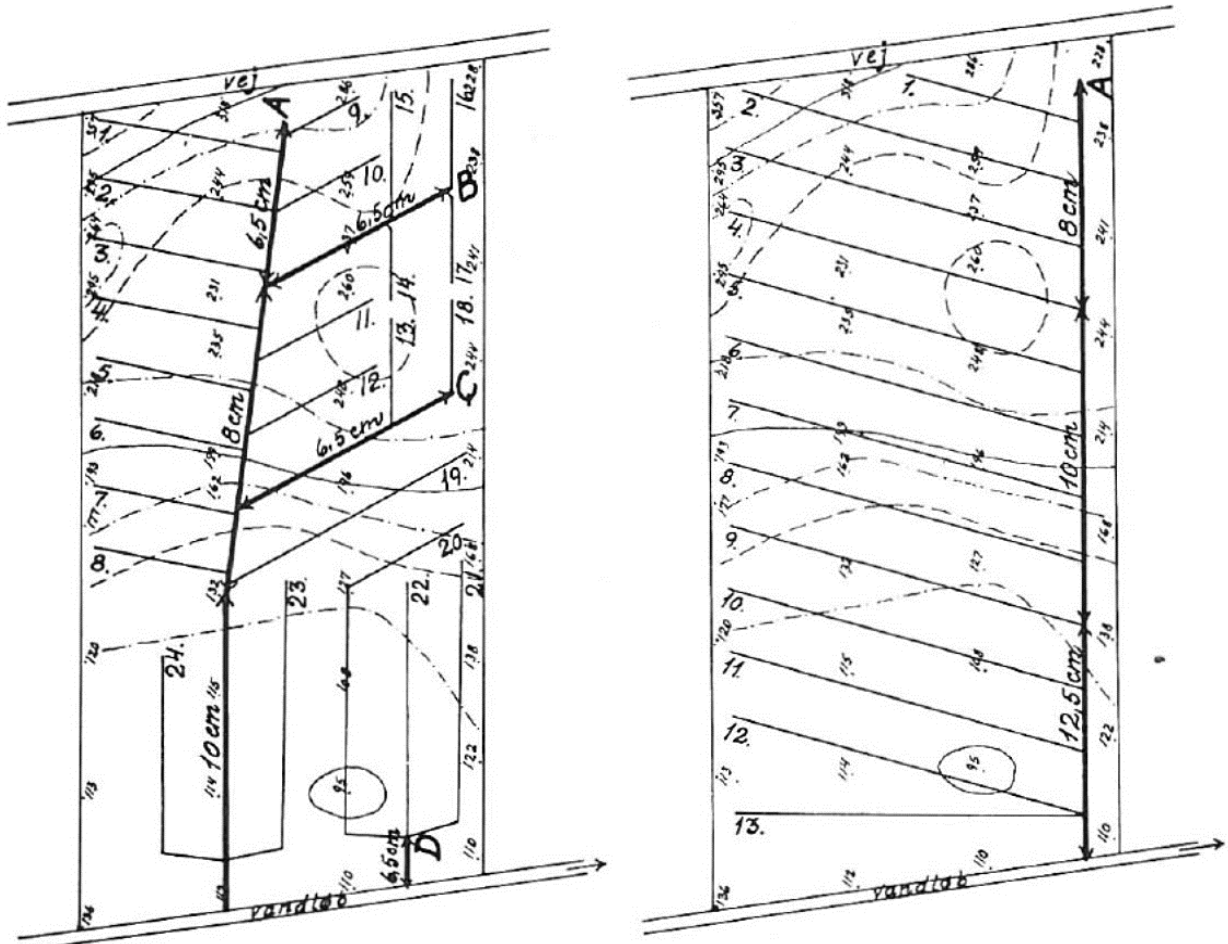
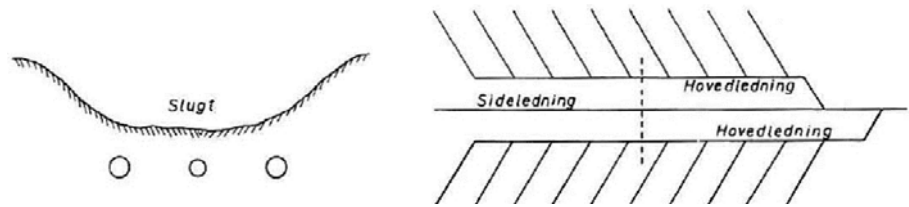
Pakningsmaterialet har varieret gennem tiderne: Der har været anvendt jord fra pløjelaget, savsmuld, halm, og senest har anvendelse af filtergrus og filtersand fundet stor udbredelse. Vigtigt for pakningsmaterialet er at det er formstabil (således at det ikke medfører sediment opslæmning og indtrængning i drænsystemet), samt at det har en stor hydraulisk ledningsevne (kan transportere meget vand per volumenenhed uden et stort hydraulisk tryktab).

### **Drænsystemers udformning og funktion**

Man skelner normalt mellem detailafvanding, som er afvanding af markerne, og hovedafvanding, som samler vandet fra detailafvandingen og leder det ud til større vandløb og søer. Detailafvanding kan enten være systematisk, hvor drænenes placeres med nogenlunde ensartet afstand på hele arealet, eller der kan drænes efter skønnet eller konstateret behov. I kuperet terræn eller på arealer med stor variation i jordbundsforhold og topografi, eller hvor arealet ligger i en lavning hvor der kan være kilder eller vand under tryk, vil der ofte være behov for afvanding. I figur 7.3 er vist eksempel på etablering af drænsystem i slugt, hvor der er placeret to hovedledninger i siderne af slugten med sildebens liggende sideledninger og en sideledning placeret i midten.

I figur 7.4 er vist to eksempler på projekterede drænsystemer for den samme mark. Dels et system (7.4. tv.) hvor højdekurverne anvendes som beslutningsgrundlag for placering af hovedledning og sideledninger. I figur 7.4 (th.) et drænsystem hvor der ikke optimeres i forhold til terrænforhold, men graves dybere hvor terrænfold kræver det. Fælles for systemerne er dog at de skal overholde en række krav til hældning for at vandafstrømningen i drænrøret er selvrensende og effektive.

**Figur 7.3.** Tværsnit af slugt med to hovedledninger med sildebens sideledninger og sideledning placeret i slugtmidten (Aslyng 1980).



**Figur 7.4.** To detaildrænsystemer projekteret for et lettere kuperet areal. Tv.: Gravet drænsystem hvor hovedledning placeres i lavninger og sideledningerne placeres ud fra terrænforhold. Th.: Et drænsystem hvor der ikke i samme grad optimeres i forhold til terrænforhold men graves dybere hvor terrænfold kræver dette.

For mindre hovedledninger skal mindste fald være 2-3 ‰ (20-30 cm fald per 100 meter) og for større hovedledninger ned til 1 ‰. Et passende fald for sideledninger er 4-5 ‰ og minimum er 3 ‰ (Aslyng 1980). I mosejord eller jord af varierende beskaffenhed søges der mod etablering af et rigeligt fald, da det her er vanskeligt at opretholde jævnt fald pga. sætning ved ændrede afvandringsforhold. Større fald end omkring 5 ‰ bør undgås.

Drænledningernes hældning skal medvirke til at strømhastigheden er tilstrækkelig stor til at jordmateriale, der føres med vandet ind i ledningerne, kan forblive opløst i drænvandet. Dette kræver for partikler af lerstørrelse en hastighed på mindst  $0,2 \text{ m s}^{-1}$  og for finsand mindst  $0,35 \text{ m s}^{-1}$ . Strømningshastigheden må ikke overstige  $1,5 \text{ m s}^{-1}$ , da vandha-



stigheder på denne størrelse eller derover medfører risiko for erosion af jordmaterialet omkring drænledningen (Aslyng, 1980).

Effektiviteten af de enkelte drænsystemer varierer meget afhængig af mange faktorer, herunder: overskudsnedbørens størrelse og fordeling over året, bevoksningen (permanent eller varierende over året), og underjordens hydrauliske egenskaber. Hvor jorden er kompakt med lille hydraulisk ledningsevne vil meget af overskudsnedbøren bortledes med drænsystemet og hvor der kun periodevis er overfladenært grundvand vil systemet bortlede en mindre andel af overskudsnedbøren. Hvis der forekommer vand der tilføres jorden med trykvand eller direkte udsivning ved bakkefod, i ådale eller andre lavninger i marken vil disse dræn afvande større mængder vand end overskudsnedbøren for det direkte overliggende areal tilfører.

Drænsystemers holdbarhed varierer meget afhængig af hvilke fysiske og kemiske påvirkninger drænrørene er påvirket af. Fra praksis er det almindelig kendt, at levetiden for drænrør er meget varierende. På morænelerjorde findes velfungerende systemer som er mere end 100 år gamle. På lavbundsjarde kan man have problemer med funktionen efter ganske få år. De forhold, der med tiden forringer drænledningers funktion, kan være nedbrydningen af rør og pakningsmaterialer, tilstopning med sand og okker, eller der kan forekomme sætninger i jorden. Sætnings-skader opstår på jorde med stort humusindhold hvor afvandingen medfører omsætning af organisk stof, samt konsolideringsskader som forskubber drænrør og ændrer på fald i systemerne.

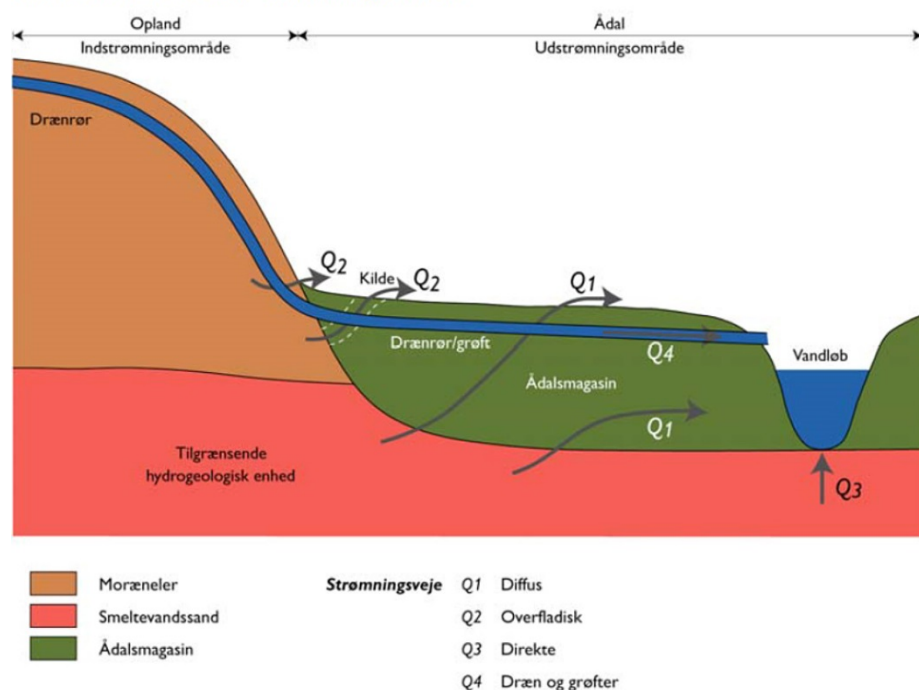
Pakningsmaterialer omkring drænene har til opgave at forbedre permeabiliteten omkring røret (hydraulisk funktion), og fungere som permeable begrænsninger der hindrer indtrængen af skadelige mængder af jordpartikler og jordaggregater i drænrør (filter funktion). Hovedparten af suspendede partikler vil rent faktisk passere gennem et korrekt udvalgt og installeret dræn pakningsmateriale uden at forårsage tilstopning. Det relativt grove pakningsmateriale omkring drænrør skal stabilisere jorden mekanisk og hydraulisk, men bør ikke fungere som et tæt filter, der i sidste ende kan tilstoppes og nedsætte drænets funktionsdygtighed (Stuyt et al. 2005). Der har gennem tiden været anvendt både mineralske, organiske og syntetiske materialer som drænpakningsmaterialer. De organiske materialer har typisk haft en kort levelængde, og nedbrydningen af materialerne har bidraget til tilstopning af drænåbninger (Stuyt et al. 2005).

## 8 Dykkede dræns betydning for afvandingsdybden af de ånære arealer

Afstrømning til vandløb sker via en række transportveje som det er illustreret i figur 8.1. Hvor der er grøfter eller udført rørdræning vil vandafstrømningen hovedsagligt ske via disse. Overfladisk afstrømning under vandmættede forhold forårsages af udstrømmende grundvand eller egentlig overfladisk afstrømning ovenpå markjorden. Størrelsen af de enkelte bidrag er afhængige af de lokale forhold såsom topografi, jordtype, vandstandsene lag i jorden og de geologiske forhold. Udstrømning af vand fra oplandet via dybereliggende grundvand, drænvand der kommer via drænsystemer, vand tilført via vandløbet fra opstrøms beliggende områder, samt overskudsnedbør fra arealet bidrager alle til de ofte vandmættede forhold i ånære områder.

**Figur 8.1.** Skitse af strømningsforhold gennem ådal til overfladevand (fra Dahl et al. 2004 og 2005).

### Illustration af lav- hhv. højbund.



Ved store nedbørs- og afstrømninger fra oplandet vil der naturligt kunne ske en stuvning af vand nær vandløbet, og overlejring af drænrørs udløb vil forekomme i kortere eller længere perioder. Det samme kan ske ved manglende grødeskæring og/eller oprensning i vandløbet. Grøden støver vandet og den højere vandstand kan medføre dykkede drænudløb især i sommer og det tidlige efterår hvor der er størst biomasse af ægte vandplanter, amfibiske planter langs brinken og terrestriske planter på brinken. Grøden i vandløb og især de amfibiske planter langs brinken opfanger materiale som vandrer i vandløbet og kan dermed forårsage hævnings af bund og tilslæmning af drænudløb. Ved forøget vandstand vil drænudløb komme til at ligge under vandoverfladen i vandløbet – i nogle tilfælde permanent, i andre tilfælde kun ved stor afstrømning. I den forbindelse skal man være opmærksom på bl.a. følgende:

Den mest effektive afvanding opnås, når drænrørene har frit udløb til afvandingskanalen/ vandløbet specielt i perioden i det tidlige forår (marts) hvor vandspejlet pga. lille grødemængde ofte er lavest. Herved opnås et til tider turbulent flow i dræneene, som har en delvis selvrensende effekt, således at aflejring af sedimenter i drænrørene mindskes. Der opstår dog efterhånden sedimentaflejringer i drænrør, selv om de har frit udløb, og derfor skal de vedligeholdes ved spuling (udføres typisk af entreprenør). Hyppigheden af spulinger bestemmes af flere faktorer, herunder jordtype, pakningsmateriale, filtermateriale, drænrørs fald og drænanlæggets alder. Hvis drænrørene ikke har frit udløb til vandløbet (dykkede drænudløb) og/eller tilsandede/tilslæmmede drænudløb i vandløbet på de tidspunkter af året (typisk tidligt forår), hvor afvanding er påkrævet, sker der en opstuvning af vand i den nedre ende af drænsystemet. Herved mindskes afdræningshastigheden, og strømningen bliver laminær og derved mindre selvrensende for drænanlægget. Øget sedimentaflejring vil forekomme, og frekvensen for det nødvendige vedligehold af anlægget vil stige. Det blev i forbindelse med Hedeselskabets projektering af flere drænsystemer planlagt at anlægge dykkede drænrør i udløb til vandløbet. Dette var nødvendigt for at opnå tilstrækkelig hældning på drænledningerne (pers. meddelelse, S.E. Olesen, 2011). Det er ukendt hvilken andel disse systemer udgør af samtlige drænanlæg. Det vurderes at dykkede dræn (allerede fra projekteringsfasen) udgør en mindre andel (<10%).

Reduceret afdræningshastighed som følge af dykkede dræn medfører forsinket afvanding af marker i en vis afstand fra vandløbet. Forsinkelsen og rækkevidden af det berørte område afhænger af flere faktorer, herunder landskabs- og jordtype, topografi, samt drænanlæggets alder og vedligeholdelsesstatus.

Den forsinkede afdræning vil formentlig være mest problematisk for arealer med flad topografi, hvor drænrørene er udlagt med det mindste anbefalede fald (1-3 ‰, Aslyng 1980). Forsinket afvanding resulterer i forringede samt mindre fleksible produktionsbetingelser i de berørte arealer. Ved længerevarende opstuvning vil afdræningsforholdene være så forringede at produktion af korn ikke er rentabel og områderne må overgå til græsningsarealer eller henlægges som naturarealer.

## 9 Betydning af nedslidningen af dræen

### Nedslidning af dræen

Årsagerne til, at drænsystemer siges at "nedslides" er en kombination af ødelagte rør pga. mekaniske påvirkning, ændringer i jordoverfladens beliggenhed, indtrængende rødder, samt aflejringer af okker og sand. De teoretiske og praktiske aspekter af nedslidningen af drænsystemer skal ikke gennemgås her, og der henvises til (Hansen et al. 1989; Hansen 1989). Også de fælles, rør lagte vandløb har været nævnt som mulige forklaringer på oversvømmet landbrugsjord (Kristensen 1998).

Et drænsystems virkningsperiode er skønnes i gennemsnit at være ca. 30 år på humusjord og 80-120 år på mineraljord (Aslyng 1980). For et drænsystem som er veletableret og korrekt dimensioneret efter de ovennævnte parametre, er der under almindelige jordbundsforhold begrænset behov for vedligeholdelse (Aslyng 1980). Dog skal drænledningen optage vand fra omgivelserne gennem stødfugerne (ler- og betonrør) eller gennem rørvæggens perforering (plastrør) og hertil kræves en høj hydraulisk ledningsevne. Alle jorde med lille hydraulisk ledningsevne (svær lerjord samt visse humusjorde) skal derfor have et pakningsmateriale med stor ledningsevne omkring sig. Dette pakningsmateriale kan nedbrydes, da det består af fx savsmuld, sand, sphagnum, muslingeskaller, tang eller træflis, mens der de senest få årtier især er anvendt forskellige kunststoffer og sand. På alle typer dræen kan der trænge sand og silt ind fra den omkringliggende jord (se kap. 7).

Visse faktorer bør dog bemærkes. Indtil 1960-erne bestod drænrørene af tegl, mens der siden er anvendt PVC og andre typer plastikrør. Først fra omkring 1980 er det vurderet, at plastikrør har været konkurrencedygtige (Aslyng 1980). Det skal også bemærkes, at for at vedligeholde et lukket drænsystem i jorden skal indtrængende rødder, sand og udfældet okker kunne spules væk fra/til samlebrønde o.l. Dette er dog generelt kun muligt i intakte rørsystemer, og har kun ringe effekt på vandafledningen hvis pakningsmaterialet omkring selve drænrøret er nedbrudt.

### Drænenes alder og vedligeholdelsestilstand

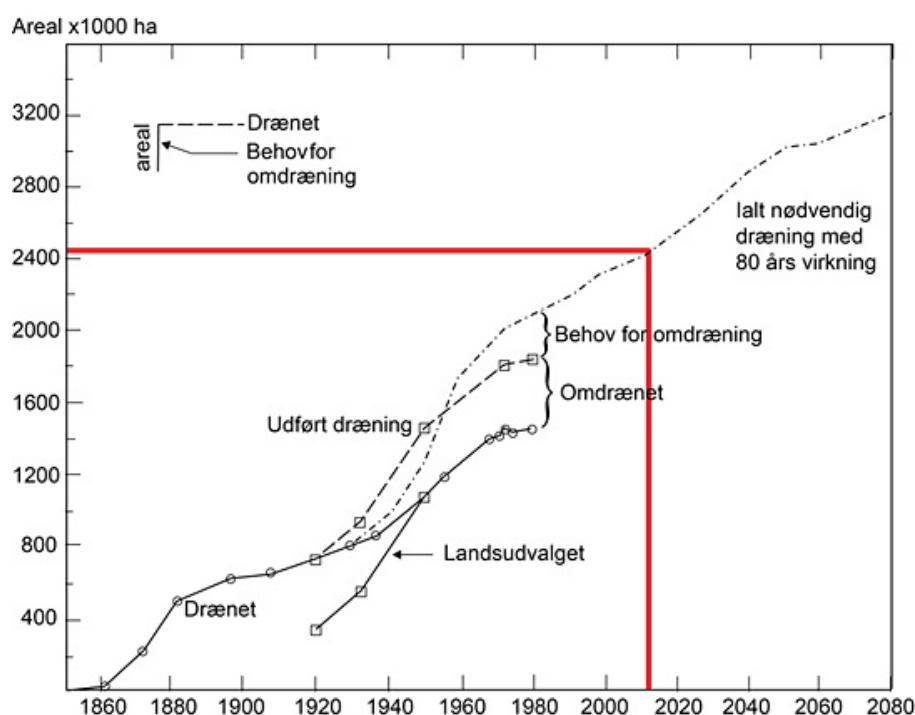
En vurdering af den gennemsnitlige nødvendige dræningsaktivitet til vedligeholdelse eksisterende dræninger viste i 1985 (Landbrugsministeriet 1985), at der skulle omdrænes ca. 20.000 ha årligt. Dette var baseret på en levetid for et drænsystem på 30 år for "humusjord" og 100 år for mineraljord. Dengang blev det konstateret, at den faktiske dræningsaktivitet siden ca. 1965 kun var imellem 5.000 og 10.000 ha. pr. år trods det forventede større behov. Dette behov for omdræning har Olesen (2010) skønnet er fortsat til 2010, og at der yderligere var næsten ophør af dræningsaktivitet if. med EU' braklægningsordning. Dog er der efter 2008 opstået en fornyet interesse for at gennemføre omdræninger, en interesse som dog afhænger af især kornpriserne.

Opgørelser over omfanget af nedslidte drænsystemer er ikke foretaget for nyligt. De ældre opgørelser starter med Skriver and Hedegård (1973), som på baggrund af den landsdækkende afvandringsundersøgelse af 1 % af landets ejendomme viste, at 238.000 ha trængte til omdræning, 112.000

ha til pletdræning og 158.000 ha til nydræning, og at det samlede dræningsbehov var 508.000 ha. Men de konkluderede også at praktiske forhold gjorde, at arealet hvor dræning var aktuelt formentlig var noget mindre. Hedeselskabet anslog i 1978, at omkring 500.000 ha trængte til dræning (Sandahl Skov, 1978, citeret i Aslyng (1980)). Endelig finder Aslyng (1980), at ca. 250.000 ha trængte til omdræning, og at ca. 160.000 ha manglede nydræning, dvs. i alt et behov på 410.000 ha. Det skønnes i 1985 af Landbrugsministeriet (1985), at der var et jordtypebetinget potentielt behov for ny- og pletdræning på ca. 200.000 ha, af det dræned landbrugsareal, som blev anslået til 1,44 mio. ha.

Det er tidligere forsøgt at fremskrive dræningsbehovet på landsplan (Aslyng 1980; Jensen 1989) som det ses i figur 9.1.

**Figur 9.1.** Drænet areal igennem tiden indtil 1980, udført dræning og behov for dræning med 80 års virkningstid. Delvist omtegnet efter Jensen (1989). Rød streg viser år 2013.



Fremskrivningen i figur 9.1 af dræningsbehovet viser, at der i 2013 (optrukne røde streger) har været et akkumuleret behov for at dræne (inkl. omdræning) på i alt ca. 2,45 mio. ha landbrugsjord. Aslyng (1980) har her alene antaget, at alle eksisterende drænsystemer har en funktionstid på 80 år, men ikke taget hensyn til, at der reelt først er behov for omdræning 80 år efter, at den foregående dræning er udført. Dette skyldes, at han fremskrev på landudvalgets data (Skriver & Hedegård 1973) hvor der var en ca. 400.000 ha stor uoverensstemmelse til de statistiske tal han selv fandt frem til (Aslyng 1980). Det reelt udførte dræningsaktivitet, som i figur 9.1 omfatter både ny- og omdræning, og som i 1980 var skønnet til ca. 1,85 mio. ha, er derfor yderst risikabel at fremskrive.

En anden mere simpel tilgang kan ske ved at sammenholde figur 9.1 og dræningsaktiviteten, som den fremgår af figur 1.1. Herved kan det konstateres, at selvom der teoretisk siden 1980 skulle udføres 20.000 ha omdræning hver år (Landbrugsministeriet 1985; Olesen 2009), så har den reelt udførte omdræningsaktivitet på ca. 10.000 ha pr. år (Olesen 2009) været tilstrækkelig i perioden ca. 1970-2010, da drænen som blev >80 år gamle, kun har udgjort omkring 3-8.000 ha pr. år. Hertil skal selvfølgelig

lægges dræn på humusjord som skal fornys ca. med 30 års mellemrum, men da der i 1975 kun var ca. 125.000 ha og i 2010 kun ca. 68.000 ha tilbage (Petersen et al. 2011), så er denne faktor blevet mindre end for 100 år siden (dengang ca. 250.000 ha) som følge af humusjord nedbrydning, naturgenopretning, skovrejsning, m.v. Figur 9.1 viser dog også, at der indenfor de nærmeste år vil opstå et betydeligt behov for omdræningsaktivitet, når rørsystemerne fra den meget store dræningsaktivitet i perioden 1930-1950 skal fornys.

I 1985 konkluderede (Landbrugsministeriet 1985), at der ”.. givetvis i de kommende år bliver et voksende behov for fornyelse af disse drænsystemer, såfremt den nuværende dræningstilstand skal opretholdes.” Denne konklusion står fortsat ved magt, og må forventes at blive mere aktuel i den nærmeste fremtid.

### **Klimaforandrings betydning**

Ovenstående estimer af behov for nydræning gælder for uændrede nedbørintensiteter og nedbørmængder relativt til forholdene da de første skøn blev fastlagt. For Danmarks vedkommende er den årlige nedbør på landsplan imidlertid steget med omkring 100 mm over de sidste 150 år samtidig med, at der har været en stigende tendens i antallet og intensiteten af kraftige nedbørshændelser. Klimaændringers effekt under danske forhold ventes fortsat at give sig udslag i mere variabel nedbør med høj nedbørintensitet og forøget vinternedbør. Vi kan vente flere kraftige nedbørshændelser om sommeren, og de mest ekstreme hændelser øges mest (Drews et al. 2011). Den øgede nedbør ventes også at give anledning til en større belastning af drænsystemerne (van Roosmalen et al. 2009; Sonnenborg et al. 2012). Van Roosmalen (2009) skønnede at den årlige drænastrømning i løbet af dette århundrede kan stige med 20-30 %.

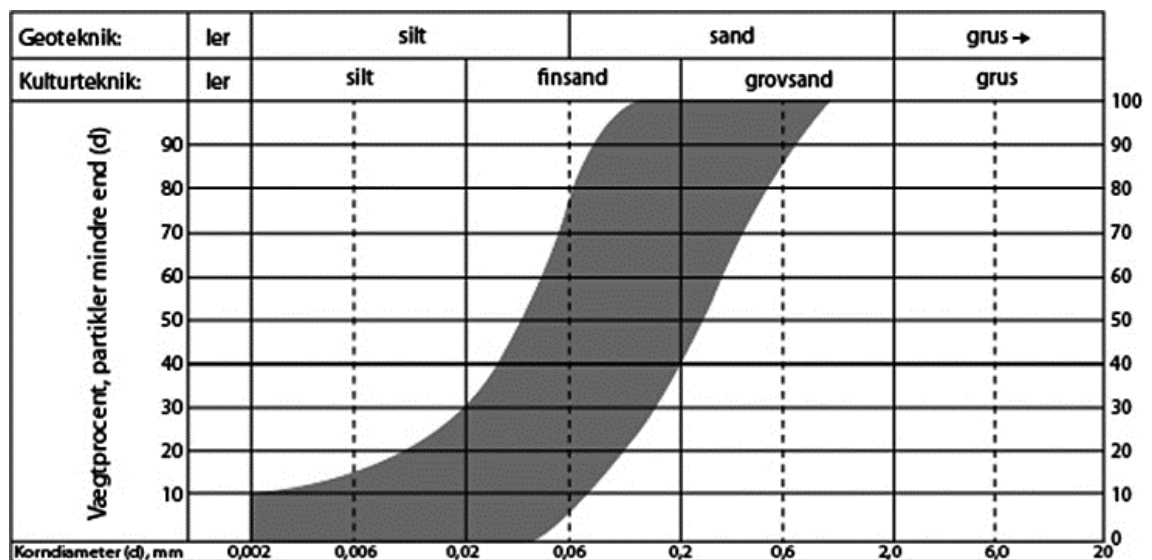
Én undersøgelse for Skjern Åens opland over de sidste 150 år viser, at der langsomt er sket store ændringer i det hydrologiske system i hele perioden, og at de fremtidige ændringer som følge af forventede klimaændringer bliver af samme eller mindre størrelsesorden omend med større sæsonvariation (Karlsson et al. 2010). Her anfører forfatterne, at udretning og uddybning af vandløbene og den omfattende dræning har været værktøjerne til at modvirke disse ændringer, som kan være gennemført som en reaktion på klimaændringerne. De skriver også, at ”det er imidlertid interessant, at tilpasningen er sket løbende, uden at der tilsyneladende har været en lokal bevidsthed om de klimatiske ændringer”.

## 10 Sedimentation i dræn og spuling samt betydning af pakningsmaterialet

Sedimentaflejring i drænsystemer er et velkendt problem og er en konsekvens af indtrængning af suspenderet materiale. Indslæmning af jordmateriale med drænvandet kan nedsætte drænsystemets effektivitet som følge af aflejring i rørene.

Risikoen for aflejring er størst på jorde med stort indhold af silt og finsand. I figur 10.1 er vist den kumulative kornstørrelsesfordeling. Jorde som har en kornstørrelsesfordeling inden for det skraverede areal er problematiske jorde med risiko for indtrængning af ler, silt og finsand (Irwin & Hore, 1979). Fordelingen i figur 10.1 gælder for canadiske jorde og en tilsvarende er ikke udarbejdet for danske jorde. På tværs af landegrænser er der varierende retningslinier for hvilke sandjordstyper der regnes for problematiske (Vlotman et al. 2000).

Jorde med et højt lerindhold (>17,5 %) har generelt små problemer med sedimentation i drænene (Stuyt & Oosten 1987).



Figur 10.1. Kummulative kornstørrelses fordelingen. X akser (vandret) viser kornstørrelserne og Y akser viser den procentvise akkumulerede andel (Irwin & Hore, 1979).

Indslæmning af jordmateriale kan hindres eller modvirkes ved anvendelse af dels pakningsmateriale (kap. 7) og ved at brug af filtermateriale omkring drænrør. Generelt har Jensen (2002) anbefalet at filterdækning er påkrævet for:

- Jorde med mindre end 10-15 vægtprocent ler + humus
- Jorde med et lille ler-indhold i forhold til indholdet af silt og finsand
- Jorde med lav "U-værdi"
- Teksturanalysediagram (gråt område).

Der er gennem tiden anvendt mange forskellige filter materialer. Tidligere er der anvendt savsmuld, halm og træflis, kokosfilt, eller fibertex (geotekstil) som filtermateriale. I dag anvendes i højere grad drænrør omvik-

let med tekstilfiltrester med forskellige porestørrelser, også kaldet "tæppedræn". Erfaringer med disse under nordjyske jordbundsforhold (Jungersen 2012) viste mht. tæppedrænenes porestørrelse (PP):

- Porestørrelse 450:- de var alt for tætte
- Porestørrelse 700: mere åbent filter; fungerede bedre.
- Porestørrelsen 1000: meget åbent filter (rigtig godt).

Vedligeholdelse af drænsystemer er ofte en overset aktivitet. For drænsystemer der ikke har tilstrækkeligt fald eller hvor der er indtrængning af ler og finsand pga. manglende filtermateriale skal drænsystemerne vedligeholdes ved rensning efter behov, typisk dog med flere års mellemrum. Dette foretages ved spuling med højtryksspuling hvor et dysehoved med et antal bagud-spulende vanddyser og en enkelte fremad-spulende dyse kan føres frem i røret. Sedimenteret materiale vil herved løsnes og transporteres med vandet i faldretningen. Denne rensning er specielt vigtig de første år efter etablering af drænsystemet da jorden her vil sætte sig omkring drænrørene og strukturelt bundet ler, silt og finsand i pakningsmaterialet omkring drænrørene vil infiltrere med vandet.

Spuling med for højt tryk (high pressure jetting) kan påvirke pakningsmaterialet omkring drænene så spulingen, mod hensigten, efterfølges af forøget sedimentation af eroderede partikler.

Hvor der er risiko for indtrængning af jordpartikler kan der også være etableret sedimentationsbrønde til opsamling af finsand og silt. Disse brønde må også løbende (hvert eller hvert andet år) oprensnes for at hindre at sediment transporteres videre i drænsystemet og videre ud i vandløbssystemet.



## 11 Konklusion og perspektivering

Dræns afvandingsevne er gennem tid blevet påvirket af en række naturlige og menneskeskabte faktorer, som er gennemgået i notatet og opremses her:

- Sætninger af jorden som følge af dræning, især på humusholdige lavbundsjord, har medført forringelser i drænenes afvandingsevne, samt deres evne til selvrensning for sediment.
- Dræn kan godt virke effektivt selvom de er dykkede. Således er der antaget at ca. 10 % af dræn er dykkede allerede ved deres etablering. Dykning kan medføre hyppigere vedligeholdelse af drænet.
- Stigende nedbør og større nedbørsintensiteter igennem de sidste 150 år har ændret på forudsætninger for dræns dimensionering.
- En stigning i nedbør i vinterperioden med stigende grundvandsdannelse vil medføre en stigning i afstrømningen i vandløb specielt i de tidlige forår hvor dræn skal selvrense for sedimenteret materiale. Dette kan give ekstra problemer da dræn kan blive dykkede i længere perioder uden frit udløb og dermed selvrensning.
- Omlægning til vinterkorn afgrøder har medført et større behov for afvanding.
- Jordflytning via erosion (jordbearbejdning og vanderosion) kan medføre dårligere afvandingstilstand på højbundsarealer.
- Moderne maskiner, der bliver stadig tungere, kan medføre at dyrkningsjorden bliver kompakt og dermed dårligere til at infiltrere og bortlede vand som en svamp. Jordens evne til at bortlede vand i større porer og gange ser dog ikke ud til at forringes.
- Ændret vandløbsvedligeholdelse som skæring i strømmende i mellemstore og store vandløb kan medføre sedimentation og tilslæmning af dybtliggende drænudløb nær vandløbsbunden og dermed ændre deres vandafledningsevne. Derfor kan det medføre et behov for vedligeholdelse af dræn i form af forlængelse af dræn og hyppigere spuling.
- Højere vandstand om sommeren på grund af mindre grødeskæring kan give problemer med stuvning og sedimentation i de dræn, som fører trykvand væk fra lavbundsarealer om sommeren og i det tidlige efterår.
- Nedslidningen af dræn på grund af alder og den manglende omdræning, må anses for at være et meget stort problem for de gamle dræns afvandingsevne, også set i sammenhæng med de andre forhold nævnt ovenfor. Forskelle imellem landsdelene må således forventes, da drænene i Østdanmark generelt er ældst, men den mulige forskel kan ikke kvantificeres ud fra eksisterende data.

Alene på baggrund af den gennemgåede, eksisterende viden, er det ikke muligt at kvantificere ovenstående forholds betydning og udbredelse, og dermed heller ikke hvilke forhold som på landsplan er mest betydende for dræns virkning i dag.

Såfremt plet- og omdræning ikke kan gennemføres på grund af for store sætninger af jorden og/eller nye miljøkrav til vandløbene må dyrkningen ekstensiveres eller arealerne må anvendes til vådområder, etc.

Andre steder kan og skal der plet- og omdrænes med hensyntagen i dimensionering og valg af pakningsmaterialer til den nyeste viden og med hensyntagen til de målsætninger, der er for det pågældende vandløb.

Ved en reduceret/bortfald af vandløbsvedligeholdelse, vil der formodentligt blive et større behov for hyppigere vedligeholdelse af dræn og deres udmunding i vandløb for at sikre deres optimale vandaflednings-evne. Problemerne vil her være størst hvor vandløbet har et ringe fald.

I den seneste landsdækkende undersøgelse over dræntilstand i 1972, var der behov for plet- og omdræning på ca. 350-400.000 ha. Med baggrund i den beskedne dræningsaktivitet indtil nu, den fortsatte nedslidning af drænsystemerne og udtag af landbrugsjord til skovrejsning, vådområder, byudvikling m.v., er det skønnet, at det samlede behov for om- og pletdræning ikke er blevet mindre siden 1972. Et præcis skøn kan dog ikke gives pga. usikkerhed på dataene fra 1970-erne.

Der mangler i forhold til emnerne nævnt ovenfor undersøgelser af følgende elementer:

- Bedre og digital kortlægning af drænedede arealer.
- Landsdækkende undersøgelse af dræns tilstand og behovet for omdræning samt evt. nydræning.
- Flerårige feltundersøgelse af virkninger af ændret grødeskæring for dræns afvandningsevne og tilsanding i drænrørene.
- Feltundersøgelse af skæring i strømrendes betydning for tilsanding og tilslæmning af drænudløb over en gradient af vandløbstyper ift. hældning, samt mulige foranstaltninger til afhjælpning af dette problem.
- Feltundersøgelser af omfanget af tilsanding i danske dræn og behovet for vedligeholdelse af dræn, herunder nødvendig hyppighed.
- Etablering af et katalog over konsekvenser af ændret grødeskæring for ruheden i vandløb og afvandingstilstanden i en bred vifte af forskellige danske ådale af ændret grødeskæring ville være et godt baggrunds værktøj til brug for de lokale vandløbsmyndigheder.
- Landsdækkende kortlægning af hvor store sætningerne har været siden slutningen af 1800-tallet, og dermed et mere detaljeret kendskab til hvor vandløb hhv. jord er årsager til vandlidende landbrugsjord.

## 12 Referencer

Amstrup, N. (1955). "Kultiveringsproblemer på den tørlagte Søborg Sø." Geografisk Tidsskrift 55: 24-35.

Andersen, H.E., Kronvang, B., Larsen, S.E., Hoffmann, C.C., Jensen, T.S. & Rasmussen, E.K. 2006: Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish lowland river basin. - Science of the Total Environment 365: 223-237.

Aslyng, H. C. (1968). Klima, jod og vandbalance i landbruget, DSR Forlag, Den kgl. Veterinær- & Landbohøjskole.

Aslyng, H. C. (1980). Afvanding i jordbruget. København, DSR forlag, Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole.

Berisso, F.E., P. Schjønning, T. Keller, M. Lamandé, A. Etana, L.W. de Jonge, B.V. Iversen, J. Arvidsson & J. Forkman, 2012: Persistent effects of subsoil compaction on pore size distribution and gas transport in a loamy soil. Soil Tillage Res., 122:42-51.

Berisso, F.E. 2013: Traffic induced compaction and distortion effects on soil pore characteristics and functions. Ph.D. afhandling, Inst. Agroøkologi, Aarhus Universitet, 174 s.

Breuning-Madsen, H. (2010). Drænrørets indførselse og betydning i et landbrugs- og miljømæssigt perspektiv. Det fremmede som historisk drivkraft: Danmark efter 1742. København, Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab: 158-165.

Brookes, A. 1984. Recommendations bearing on the sinuosity of Danish stream channels. Danish EPA, Teh. Report No. 4, 130 pp.

Dahl et al., 2004. Videreudvikling af ådalstypologi. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, 16, 163 s.

Dahl, M., Nilsson, B., Platen-Hallermund, F.von, Banke, M., Engesgaard, P., Sonnenborg, T., Wohlfeil-Müller, D.-I., Fuglsang, A., Tornbjerg, H., Ovesen, N.B., Kronvang, B. & Christensen, S. 2005: Afslutning af ådalstypologi (Grundvand-Overfladevand interaktion). Miljøstyrelsen. - Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 17: 98 s.

Findes på: <http://www.mst.dk/udgiv/publikationer/2005/87-7614-796-7/pdf/87-7614-797-5.pdf>

Dalgas, E. 1876. Hede-mose og kærjorde. Det danske Hedeselskab, København. 103 sider.

DCE 2012. Notat for beregning af vandstandsstigning i vandløb ved ophørt eller reduceret vedligehold i Odense Å systemet, DCE, Aarhus Universitet, 15 s.

- Drews, M., F. Boberg, et al. (2011). Fremtidige nedbørsændringer i Danmark - En oversigt over den aktuelle viden i sommeren 2011. Danmarks Klimacenter rapport 11-03: 17.
- Etana, A., Larsbo, M., Keller, T., Arvidsson, J., Schjønning, P., Forkman, J. & Jarvis, N. 2013. Persistent subsoil compaction and its effects on preferential flow patterns in a loamy till soil. *Geoderma*, 192:430-436.
- Fanger, K. (1989). Sætning af organiske jorder efter dræning Hovedopgave, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole.
- Fritzbøger, B. (2009). Vandets veje - Skjern Ås miljøhistorie gennem 350 år, Gyldendal.
- Hammel, J.E. 1994. Effect of high axle load traffic on subsoil physical properties and crop yield in the Pacific Northwest USA. *Soil Tillage Res.*, 35:23-36.
- Hannemann, D. (1859). Engvanding- og udtørnings samt andre vandbygningsarbejder, iagtagne paa en rise i Tyskland og Belgien i efteraaret 1858. København.
- Hannemann, D. (1876). Vejledning til Dræningens Udførelse på større og mindre Gaarde. København.
- Hansen, A. C., O. H. Nielsen & J. Waagepetersen (1989). Langtidsholdbarheden af drænsystemer på lavbundsjord. Hedeselskabets Forskningsberetning nr. 44. Viborg: 1-26.
- Hansen, B. (1989). Sætning efter afvanding og drænsystemers funktionstid på organogenjord. Hedeselskabets forskningsvirksomhed beretning nr. 42, Hedeselskabet. 42: 1-62.
- Hofmeister, E. (2012). Gudenåens kulturhistorie. Silkeborg, Ferskvandscentret.
- Irwin R.W. & F. R. Hore, 1979: Drain envelope materials in Canada. Engineering and Statistical Research Institute, Agriculture Canada, 14 s..
- Jakobsen, J. M. (1946). Vejledning i dræning, Det Kgl. Danske Husholdningsselskab.
- Jensen, C. R. (1989). Dræning i jordbruget - kulturteknik III. København, DSR-Forlag, Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole.
- Jensen, C.R. (2002). Dræning i jordbruget. Lærebog, den Kgl. Veterinær og Landbohøjskole, Lab. Agrohydrologi og Bioklimatologi, Taastrup.
- Jungersen, J.R. (2012). Praktiske erfaringer med dræning hos JSJ Agro I/S. Indlæg fra temadag om dræning, 6. nov. 2012. [https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Draening/Sider/indlaeg-temadag-draening\\_pl\\_12\\_1074.aspx](https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Draening/Sider/indlaeg-temadag-draening_pl_12_1074.aspx)

Karlsson, I. B., T. O. Sonnenborg, et al. (2010). "Hydrologiske konsekvenser af historiske og fremtidige klimatiske ændringer i Vestjylland." *Geoforum Perspektiv* 17: 32-39.

Kirkegaard, J.A., Troedson, R.J., So, H.B., and Kushwaha, B.L., 1992. The effect of compaction on the growth of pigeonpea on clay soils. II. Mechanisms of crop response and seasonal effects on an oxisol in a humid coastal environment. *Soil Tillage Res.*, 24:129-147.

Kristensen, H. C. (1998). "Efter nedbør kommer søer - mange rørlagte vandløb synger på sidste vers." *Agrologisk* 12/98: 30-31.

Kristiansen, S. M. (2012). "Marken og det skadelige vand." *Vand og Jord* 19: 141-144.

Kronvang, B., C. Olsen, V. Dissing and S. Grant, 1987: Marginal soils and environmental interests, effects of changes in land use on runoff and land drainage (in Danish). In: *Marginaljorder og miljøinteresser*, National Agency of Environmental Protection, Tech. Report No. 21, 41 pp.

Kronvang, B., Græsbøll, P., Svendsen, L.M. og Friberg, N., Kjellsson, G., Hald, A.B., Nielsen, M.B., Petersen, B.D. og Ottosen, O., 1994: Restoration of river Gelså at Bevtøft: Environmental effects in streams and riparian areas (in Danish). National Environmental Research Institute, Technical Report No. 110. 88 pp

Kronvang, B., Svendsen, L.M., Brookes, A., Fisher, K., Møller, B., Ottosen, O., Newson, M. and Sear, D. 1998. Restoration of the rivers Brede, Cole and Skerne: A joint Danish and British EU-LIFE project, III - Channel morphology, hydrodynamics and transport of sediment and nutrients. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 8, 209-222

Landbrugsministeriet (1985). *Afvandingsundersøgelsen i Danmark, Arealdatakontoret: 149 + bilag.*

Kulli, B., Gysi, M. and Flühler, H. 2003. Visualizing soil compaction based on flow patterns analysis. *Soil Tillage Res.*, 70:29-40.

Lamandé, M., Hallaire, V., Curmi, P., Pérès, G. & Cluzeau, D. 2003. Changes of pore morphology, infiltration and earthworm community in a loamy soil under different agricultural managements. *Catena*, 54:637-649.

Larsen, S.E., Kronvang, B., Ovesen, N.B & Christensen, O.B. 2005. Trends in runoff in Denmark, *Vand&Jord* 12, 2005, 8-13.

Mark, H. S. (1991). *Afvanding nær ferske §43 områder. Hedeselskabets forskningsvirksomhed, beretning nr. 46: 97.*

Mulholland, B. & Fullen, M.A. 1991. Cattle trampling and soil compaction on loamy sands. *Soil Use Man.*, 7:189-193.

Olesen, S. E. (1982). "Landmandens dispositioner hæmmes af en vandlidende jord." *Hedeselskabets tidsskrift* 103(2): 34-37.

Olesen, S. E. (2009). Kortlægning af - Potentielt dræningsbehov på landbrugsarealer opdelt efter landskabselement, geologi, jordklasse, geologisk region samt høj/lavbund. Intern rapport Markbrug. Foulum, Det Jordbrugsvidenskabelige fakultet. 21: 1-31.

Olesen, S. E. (2010). Omfang, status og potentielt behov for dræning på danske landbrugsarealer. Plantekongres 2010.

Iversen, H. L. & Ovesen, N. B. 1997. Vandføringsevne i danske vandløb 1976-1995. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, 1997. 54 s. (Faglig rapport fra DMU, Vol. 218).

Pedersen, A. B. (2006). Fra landvindingspolitik til naturgenopretningspolitik - policy-netværks magt og forandring. PhD, Aarhus Universitet.

Pedersen, E. F. (1978). "Tørvelagets sammensynkning og mineralisering i Store Vildmose." Statens Planteavlsvforsøg 1425. beretning: 509-520.

Petersen, S. O., M. B. Greve, et al. (2011). "Tørvens Klimabalace." *Aktuel Naturvidenskab* 3/2011: 24-28.

Raper, R.L. 2005. Agricultural traffic impacts on soil. *Terramechanics*, 42:259-288.

Skriver, K. & J. Hedegård (1973). "Undersøgelser over danske jorders dræningstilstand." *Planteavlsvarbejdet i Landbo- og husmandsforeningerne*: 2055-2059.

Sonnenborg, T.O et al. (2012), Assessment of climate change impacts on the quantity and quality of a coastal catchment using a coupled ground-water-surface water model. *Clim. Change*, 113(3), 1025-1048.

Stuyt, L.C.P. M, W. Dierickx & J.Martinez Beltran, 2005: Materials for subsurface land drainage systems. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 60, rev. 1, ISBN 92-5-105427-4, 202 s.

Thyssen, N., M. Erlandsen, B. Kronvang & L.M. Svendsen, 1990: Stream models - biological structure and functioning (in Danish). *NPo-Research C10*. National Agency of Environmental Protection, Copenhagen, 104 pp

Thøgersen, F. (1942). *Danmarks Moser. Beretning om Hedeselskabets systematiske Eng- og Moseundersøgelser*. Viborg, Hedeselskabet.

van Roosmalen, L. et al. 2009. The impact of climate and land-use changes on the hydrology of a large-scale agricultural catchment, *Water Resour. Res.*, 45, 1-18

Vincent, L. (1857). *Veiledning i Draining* oversat til dansk af E. Møller Holm. København.

Vlotman, W.F., L.S. Willardson & W. Dierickx (2000). Envelope design for subsurface drains. *International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI) Publication Series*, Wageningen, The Netherlands. ISBN 9070754533, 262 pp.

Waagepetersen, J. & S.U. Clausen, 1988. Løse pakningsmaterialer til markdræn, belyst ved laboratorie- og markforsøg. Hedeselskabets Forskningsvirksomhed, Beretning 38, 56 s. Westh, T. C. (1909). Eng og mose, mergel. Hedebogen - korte populære bidrag om heden i fortid, nutid og fremtid. København, Adolf Jacobsen: 72-79.

Westermann, T. (1936). Dræning. København, Udarb. paa Foranledning af Det kgl. danske Landhusholdningsselskab.