

Konsekvenser af våde landbrugsjorder

Forfattere:

Ditte Olsen
Rikke Krogshave Laursen
Winnie Heltborg

Organisation:

SEGES Innovation P/S

Sammendrag

En foreløbig rapport der analyserer de forskellige konsekvenser ved vandlidende jorder indenfor Vandmiljø og miljømål, Natur, Klima og Produktion & Dyrkningsmæssige forhold. Der kigges på konsekvenserne på både højbundsjorder og kyst- og vandløbsnære landbrugsjorder. Derudover tages det generelt vådere vejr i betragtning.

Indholdsfortegnelse

Introduktion	3
1 Vandmiljø og miljømål	5
1.1 Hvilke konsekvenser har vandlidende højbundsjorder for vandmiljøet og miljømålene?	5
1.2 Hvilke konsekvenser har vandlidende kyst- og vandløbsnære landbrugsjorder for vandmiljøet og miljømålene?	5
1.3 Hvilke konsekvenser har det vådere vejr for vandmiljø og miljømål?	6
1.4 Opsamling	6
2 Natur	7
2.1 Hvilke konsekvenser har vandlidende højbundsjorder for naturen?	8
2.2 Hvilke konsekvenser har vandlidende kyst- og vandløbsnære landbrugsjorder for naturen?	9
2.3 Opsamling	9
3 Klima	10
3.1 Generel drivhusgasudvikling	10
Kuldioxid, CO ₂	10
Lattergas, N ₂ O	11

Metan, CH ₄	11
3.2 Hvilke konsekvenser har vandlidende højbundsjorder for klimaet?	12
3.3 Hvilke konsekvenser har vandlidende kyst- og vandløbsnære landbrugsjorder for klimaet?	13
3.4 Hvilke konsekvenser har det vådere vejr for klima?	14
3.5 Opsamling	15
4 Arealanvendelse	16
4.1 Hvilke konsekvenser har vandlidende højbundsjorder for arealanvendelsen?	16
4.2 Hvilke konsekvenser har vandlidende kyst- og vandløbsnære landbrugsjorder for arealanvendelsen?	16
4.3 Hvilke konsekvenser har det vådere vejr for arealanvendelsen?	16
4.4 Opsamling	16
5 Produktion og dyrkningsmæssige forhold	17
5.1 Hvilke konsekvenser har vandlidende højbundsjorder for produktionen og de dyrkningsmæssige forhold?	17
5.1.1 Plantefysiologiske parametre	17
5.1.2 Kvælstofdynamik	19
5.1.3 Ukrudt og skadegørere	21
5.1.4 De indirekte effekter	22
5.2 Hvilke konsekvenser har vandlidende kyst- og vandløbsnære landbrugsjorder for produktionen og de dyrkningsmæssige forhold?	23
5.3 Hvilke konsekvenser har det vådere vejr for produktionen og de dyrkningsmæssige forhold? ..	23
5.3.1 Ændringer i maskinbrug og -kapacitet	23
5.4 Opsamling	24
6 Konklusion (samlet for hele rapporten)	25
Referencer	26
7.1 Referencer til det indledende kapitel	26
7.1 Referencer til kapitel om vandmiljø og miljømål	26
7.2 Referencer til kapitel om natur	26
7.3 Referencer til kapitel om klima	27
7.4 Referencer til kapitel om arealanvendelse	27
7.5 Referencer til kapitel om produktion og dyrkningsmæssige forhold	28

Introduktion

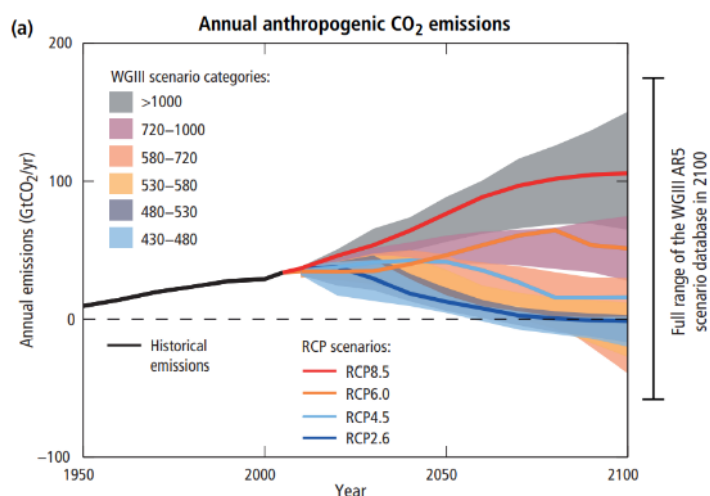
Det danske klima er i forandring med stigende nedbørsmængder og hyppigere nedbørshændelser. Der er variationer fra år til år og fra sted til sted, men på landsplan er årsnedbøren steget omkring 100 mm, viser systematiske målinger af nedbøren fra 1874 til 2017 (Cappelen, 2018). Stigningen i nedbør har været størst i vintermånederne, hvor fordampningen samtidig er lille. Dette betyder, at overskudsnedbøren bidrager til en øget nedsivning til grundvandet og afstrømning i vandløbene. Således viser observationer af afstrømningen i flere danske vandløb også en stigning i den årlige middelaftstrømning. Stigningen i vandløbsafstrømningen er ligesom for nedbør størst i vintermånederne, men afstrømningen er også steget i forårs- og sommermånederne, hvilket skyldes en større tilførsel af vand til vandløbene via grundvandet (Larsen et al., 2005). Klimaforandringerne og konsekvenserne heraf forventes at fortsætte som følge af den hidtidige og fortsatte udledning af drivhusgasser (Figur 4). Det er sandsynligt, at den globale gennemsnitlige temperatur ved jordoverfladen i slutningen af det 21. århundrede (2081-2100) vil stige med over 2 °C i forhold til perioden 1850 – 1900, alt efter hvilket emissionsscenario der vil forekomme i fremtiden (RCP2.6 – 4.5 – 6.0 – 8.5). Det kan så godt som konkluderes, at der globalt vil opstå flere ekstreme vejrhændelser over de fleste landarealer (IPCC, 2014).

Selvom beregninger af fremtidens klima er forbundet med stor usikkerhed, forventes det, at nedbøren i Danmark stiger yderligere i de kommende årtier, og flere ekstreme hændelser og længere tørkeperioder vil ramme landet (DMI, 2014). I forhold til perioden 1981-2010 kan danskerne forvente en temperaturstigning på ca. 3,4 °C ved udgangen af det 21. århundrede, hvis drivhusgasemissionen fortsætter med samme hastighed, som den vi ser i dag (RCP8.5). Følger udledningen et mellemscenarie (RCP4.5) estimeres det, at gennemsnitstemperaturen i Danmark vil stige med lidt under 2 °C (Pedersen, 2020).

Med udgangspunkt i RCP4.5 kan vi i Danmark ved udgangen af det 21. århundrede forvente:

- Kraftigere nedbørshændelser om sommeren vil forekomme hyppigere, trods sommeren sandsynligvis bliver tørrere, og trods den samlede nedbørsmængde i sommerperioden (juni-august) ikke ændres drastisk. I vinterhalvåret kan vi forvente, at nedbørsmængden stiger med ca. 25 % hvoraf en stor del vil falde som regn, grundet stigende temperaturer.
- Danmark vil opleve flere dag med hedebølge samt længere tørkeperioder, mens antallet af skybrudevents vil stige med 70 %. Vi kan derfor forvente langt flere ekstreme vejrhændelser.
- Havvandsstigninger på omkring 70 cm, og stormflod vil blive mere hyppigt. Sammen med stigende havvandstand kan længerevarende stormfloder få store konsekvenser i forhold til afvanding, oversvømmelser mv. (Grøndahl et al., 2014; Pedersen, 2020).

Den nuværende og forventede fremtidige stigning i nedbør, antal skybrud og havvandstand har store konsekvenser for den terrænnære grundvandsstand og vandføringen i vandløbene og dermed afvandingen af landarealer og oversvømmelser i Danmark. Denne rapport kigger på konsekvenserne indenfor landbrugsjorderne, som udgør ca. 60 % af Danmarks areal, og hvor der er mange forskellige perspektiver at tage i betragtning. Konkret vil følgende emner behandles:



Figur 4. CO₂ emission for de forskellige RCP-scenarier (IPCC, 2014).

- Vandmiljø og miljømål
- Natur
- Klima
- Arealanvendelse
- Produktion og dyrkningsmæssige forhold

Konsekvenser indenfor disse emner vurderes i forbindelse med tre indsatsområder: 1) Højbundsjorder, 2) kyst- og vandløbsnære landbrugsjorder, og 3) det vådere vejr.

Formålet med rapporten er at undersøge og afdække hvilke konsekvenser landmænd, kommuner og andre aktører står overfor i forbindelse med den øgede risiko for oversvømmede og vandlidende landbrugsjorder. Dette er med henblik på, at aktører i et vandlidende område kan tilrettelægge en handleplan, der er effektiv, rettidig og helhedsorienteret.

1 Vandmiljø og miljømål

Vandforekomster som grundvand, søer, vandløb, fjorde og hav samt deres fysiske og kemiske egenskaber og funktion som levested for levende organismer udgør vandmiljøet. Vandmiljøet er gennem tiden blevet påvirket af den menneskelige aktivitet. Vandløb er udrettet, søer er drænet, fjorde inddiget og drænet mm. Samtidigt er vandmiljøet over mange år blevet belastet af tilstrømmende næringsstoffer, organisk materiale og kemiske forbindelser, der påvirker vandkvaliteten.

Der er et samfundsmæssigt ønske om at ændre tilstanden for vandmiljøet i Danmark, og der er igangsat en lang række politiske initiativer og mål for at reducere de forringende effekter og forbedre tilstanden. Det danske vandmiljø er omfattet af vandområdeplanerne, der udgør en samlet plan for at forbedre det danske vandmiljø. De skal sikre renere vand i Danmarks søer, vandløb, kystvande og grundvand i overensstemmelse med EU's vandrammedirektiv ([Miljøstyrelsen, 2022a](#); [Miljøstyrelsen, 2022b](#))

Målet med planerne er overordnet set at opnå:

- Bedret tilstand i vandløb ved at forbedre de fysiske forhold
- Bedre tilstand i fjorde og ved kyster ved at reducere udledningen af kvælstof
- Bedre tilstand i søerne ved at reducere udledningen af fosfor
- Bedre tilstand i vandløb og søer ved at reducere forureningen fra f.eks. hjem uden kloak, renselanlæg og kloakoverløb. ([Miljøstyrelsen, 2022c](#))

Der er naturligvis en sammenhæng mellem vandmiljøet og naturen i de akvatiske- og ferskvandsafhængige naturtyper, hvorfor konsekvenser for vandmiljøet også vil have en afsmittende effekt på naturen. Nogle af de beskrevne konsekvenser i dette afsnit er således også beskrevet i afsnittet om natur nedenfor.

Formålet med dette afsnit er at opgøre, hvilke negative og positive konsekvenser oversvømmede og vandlidende landbrugsjorder har på vandmiljøet og miljømålene, sammenlignet med jorder der ikke er vandlidende.

1.1 Hvilke konsekvenser har vandlidende højbundsjorder for vandmiljøet og miljømålene?

Vandlidende højbundsjorder kan have negative konsekvenser for vandmiljøet i form af øget næringsstofudledning. Det kan ske som følge af øget udvaskning af jordens næringsstoffer, som derefter transporteres via dræn og/eller grundvand til de nærliggende vandmiljøer. Desuden har højbundsjorder ofte en bakket topografi. Ved kraftige nedbørshændelser kan dette i nogle områder føre til øget overfladisk afstrømning og dermed større risiko for erosion. Overfladestrømning transporterer både sediment, næringsstoffer og organisk materiale, som ved erosion af de øverste jordlag vil bidrage til yderligere suspenderet materiale og partikler i den overfladiske afstrømning. Føres disse partikler videre til vandmiljøerne er de en kilde til forurening og eutrofiering. Dette kan betyde, at vandmiljøernes tilstand ikke forbedres og i værste fald forværres. Samtidig kan det bidrage til at vandområdeplanernes miljømål ikke opnås inden for den givne tidsramme.

1.2 Hvilke konsekvenser har vandlidende kyst- og vandløbsnære landbrugsjorder for vandmiljøet og miljømålene?

Landbrugsjord beliggende langs vandløb, kan risikere at blive oversvømmet ved lange perioder med nedbør eller ved korte, ekstreme nedbørshændelser. Her kan vandløb og lignende gå over sine bredder og oversvømme marker i en periode.

I perioder med oversvømmelser vil risikoen for næringsstofftab fra marken være ekstra høj. Det skyldes, at nitrat og andre mobile næringsstoffer kan strømme fra jordopløsningen og ende i vandmiljøet. Det samme gælder organisk materiale samt miljøfremmede stoffer som pesticider.

Når jorden bliver vandmættet, bliver den hurtigt (timer til få dage) iltfattig og til sidst helt iltfri (Malik *et al.*, 2002). Under disse forhold er der risiko for, at der kan ske en stor udledning af fosfor (P) fra jorden. Det sker fordi P, der ellers er stærk bundet til jern under iltrige forhold, frigives når jordopløsningen opnår anoxiske, reducerede forhold. Fosfor skaber eutrofiering i alle vandmiljøer, men særlig søer er følsomme overfor øgede mængder P.

Det samme gør sig gældende under stormflod, hvor lavtliggende kystområder oversvømmes. Landbrugsjorder her kan blive en betydelig kilde til næringsstoffer, sediment, organisk materiale og miljøfremmede stoffer, når jorden vandmættes og vandstrømme transporterer partikler med tilbage i fjorde og kystvand. Algevækst og eutrofiering i fjorde og kystvande er som oftest kvælstofbegrænset, og disse vandmiljøer vil derfor være særligt følsomme overfor udledninger af N.

Udledninger af næringsstoffer, organisk materiale og miljøfremmede stoffer til vandmiljøerne vil gøre det svært at opfylde vandområdeplanernes miljømål.

1.3 Hvilke konsekvenser har det vådere vejr for vandmiljø og miljømål?

Med de forventede fremtidige klimaændringer beskrevet i indledningen forventes det, at vækstsæsonen bliver længere. En længere vækstsæson kan være positivt for vandmiljøet, da afgrøderne dermed har længere tid til at optage overskydende kvælstof i jorden, der ellers vil kunne udvaskes. Til gengæld kan tørke i en længerevarende periode have negative konsekvenser, da næringsoptaget reduceres pga. begrænset plantevæksten. Dette kan efterlade puljer af uudnyttet kvælstof i jorden, der potentielt kan udvaskes under kraftige nedbørshændelser og skybrud. Den tørre jord evt. med begrænset plantedække øger også risikoen for erosion, der som allerede beskrevet også kan påvirke vandmiljøet og miljømålene. Perioder med længerevarende tørke kan også lægge pres på vandmiljøet i form af øget grundvandsindvinding til markvandning. Dette vil påvirke grundvandsressourcen samt grundvandsafhængige vandhuller, søer, vandløb mv. negativt. Ligesom grundvandsafhængige naturtyper kan påvirkes af den øgede grundvandsindvinding. Sidstnævnte uddybes i næste afsnit.

De længerevarende nedbørshændelser samt skybrud kan også påvirke afvandingen af markerne. Falder de våde perioder sammen med vigtige markoperationer kan dette føre til en ændret arbejdsgang i marken. Det vil påvirkes af mange faktorer, men der er risiko for, at antallet af dage at udføre de forskellige opgaver i reduceres. Det kan blandt andet få en effekt på udledningen af forurenende stoffer til vandmiljøet. Er der færre dage at arbejde i om foråret, kan det tvinge landmanden til at udfører markarbejdet i en kort tidsramme eller udenfor det optimale tidsinterval. Tildeling af gødning kan komme til at blive til en enkelt gødskning i stedet for en todelt strategi, hvilket kan føre til at den spirende afgrøde ikke får udnyttet den samlede mængde næringsstoffer optimalt. På samme måde kan gødsningen pga. det vådere vejr komme til at blive udskudt til et tidspunkt, der ikke er optimalt for afgrødens vækststadiet og næringsstofbehov. Disse faktorer fører til, at der er større risiko for, at især kvælstof udvaskes fra marken og ender i vandmiljøerne.

1.4 Opsamling

2 Natur

I dette afsnit beskrives hvilke konsekvenser det vil have for naturen når landbrugsarealer bliver våde og vandlidende. Vil det påvirke naturen negativt? Eller kan det i stedet gavne naturen? Formålet med afsnittet er at opnå viden om fordele og ulemper for den danske natur, ved at der er landbrugsjorder, der er vandlidende og oversvømmes.

Der er ikke en entydig definition på natur. Kornmarken og de ukrudtsarter, svampe, nytte- og skadedyr der forekommer i marken, er også natur. Vi beskriver dog konsekvenserne for den mere upåvirkede natur, der både kan ligge på landbrugsarealet eller i tilknytning hertil. Det vil sige den natur, der udgøres af biotoper som enge, moser, skove, heder, søer, strandenge, samt småbiotoper som læhegn, krat, småvandhuller, diger og deres funktioner som levesteder for vilde arter. Yderligere fokuseres også på de vilde arter, som findes i naturen.

Da biodiversiteten er i tilbagegang, og denne udvikling ønskes vendt, værdisættes naturen efter, hvor godt den understøtter de mere sjældne og truede naturtyper og arter. God natur findes oftest på mere næringsfattige levesteder i store naturområder, hvor der er plads til en dynamik og variation, der understøtter mange forskellige arter.

Naturlig hydrologi er blevet en mangelvare i den danske natur (Ejrnæs, R. et al. 2021). Mange strandenge, skove, ferske enge og moser er blevet inddiget eller drænet/afvandet med henblik på mere eller mindre intensiv udnyttelse eller for at sikre mod forsumpning og oversvømmelser af den omkringliggende agerjord, byer og anden infrastruktur. Vandindvinding kan ligeledes have haft negativ betydning for udstrømning af rent grundvand til de grundvandsafhængige naturtyper (Ejrnæs, R. et al. 2021). Kyst- og vandløbsregulering, vandindvinding og afdræning ændrer naturen, så der mangler naturlig dynamik, mineraliseringen øges og arealet med våd natur udtørres og reduceres. Som konsekvens er arter, der er tilpasset disse levesteder forsvundet, og naturen er blevet mere artsfattig. Samtidigt er naturarealet blevet meget mindre, og naturen er fragmenteret i mere eller mindre isolerede forekomster, hvor den er meget påvirket af det omgivende miljø og oplandet samt meget sårbar overfor ydre påvirkninger og ekstremhændelser.

Når landbrugsarealerne bliver mere våde og vandlidende vil det påvirke naturen i og nær landbrugsarealet og ændre forholdene for arterne i naturen. Store forandringer på små arealer kan udslette eksisterende værdifulde plantesamfund og artspopulationer tilpasset de hidtidige forhold. Arter tilpasset de nye forhold, kan vanskeligt spredes til og kolonisere et lille isoleret naturareal.

Oversvømmelser og hævet grundvandsstand, eller tilstrømmende rent overfladevand og regnvand, som følge af ændret klima kan dog også give grundlag for en forbedring af eksisterende våd næringsfattig natur. En mere naturlig hydrologi og dynamik kan udvide arealet med optimale leve- og vækstforhold (Fløjgaard, C. et al. 2021).

Temporære/nye vandhuller kan have en umiddelbar positiv betydning for padder, insekter og fugle.

Vandlidende og våde landbrugsjorder kan dog også øge risikoen for forarmelse, dvs. tab af nøjsomme arter og ensretning af naturen, som følge af en øget udvaskning af næringsstoffer, sedimentaflejring og oversvømmelser med drænvand, næringsberiget dræn-/overfladevand fra det dyrkede areal (Ejrnæs, R. et al. 2021, Andersen & Baattrup-Pedersen 2016.). Der kan ske forsumpning af eksisterende natur som følge af historisk tørvesætning og manglende vandbevægelse (manglende naturlig afdræning) (Fløjgaard, C. et al. 2021).

Næringsberigelse og forsumpning kan være et problem for eksisterende natur og for skabelsen af ny værdifuld natur. Fragmenteret våd natur, men også tør natur og kystnaturen kan blive klemt, hvis den fra den ene side oversvømmes og fra den anden side presses af dyrkning, dræning og kystsikring (coastal squeeze) (Ejrnæs, R. et al. 2021).

Der kan nogle steder være en vanskelig balance mellem højere vandstand og afgræsning, der også kan have stor betydning for naturens tilstand (Fløjgaard, C. et al. 2021). Artsrige kær og naturenge (under landbrugsmæssig ekstensiv udnyttelse eller pleje ved afgræsning) kan forringes ved vandstandshævning, hvis det indebærer at eksisterende natur forsumper, og afgræsningen opgives.

Der må skønnes, at der lokalt eller regionalt kan komme et ønske om at opdyrke småbiotoper, brakarealer og anden natur, der ikke er omfattet af naturbeskyttelse, hvis dyrkning må opgives på landbrugsarealet i et område.



Billede 1. Opgivet/udtaget agerjord ved pumpelag ved Nørreåen. Foto: Winnie Heltborg

Opgives dyrkningen og dræningen helt på landbrugsjorden, vil det over en lang tidshorisont have en positiv indvirkning på eksisterende natur og udvide naturarealet i lokalområdet. I takt med at næringsstofferne udvaskes eller opbruges, og overfladevandet bliver mere rent, eller grundvandet stiger, vil effekten på naturen være stadig mere gavnlig. Selv mere ekstreme hændelser vil have mindre negativ eller ligefrem positiv virkning på naturen, i fald naturområdet er blevet stort nok til at rumme sådanne forstyrrelser, uden at det udsletter artspopulationerne i området helt.

2.1 Hvilke konsekvenser har vandlidende højbundsjorder for naturen?

På højbundsarealerne kan vandlidende og våde landbrugsjorder føre til dannelse af temporære vandhuller og pletter i marker, hvor afgrøden går ud. Nye vandhuller kan være gavnlige for visse padder, insekter og fugle, og de "bare" pletter i marken kan blive redesteder for lærker og viber.

Områder under vand eller uden vegetation i markerne vil dog også føre til øget udvaskning af de næringsstoffer, der er tilført markerne. Øget udvaskning vil have negative konsekvenser for naturen i vandløbssystemer, søer, fjord og hav.

2.2 Hvilke konsekvenser har vandlidende kyst- og vandløbsnære landbrugsjorder for naturen?

Når landbrugsjorder bliver vandmættede i kyst- og vandløbspåvirkede områder, kan det have konsekvenser for afvandingen af natur som enge, moser og strandenge. En reduceret afdræning af våd natur kan reducere mineraliseringen og genskabe en mere naturlig hydrologi/dynamik i naturen.

Vandlidende og våde kyst- og vandløbsnære landbrugsarealer, kan dog også medføre en øget risiko for oversvømmelser i naturen med næringsberiget vand, sedimenter og organisk materiale fra de tilstødende dyrkningsarealer, samt en forøget udvaskning af næringsstoffer og sedimenter til vandløb, søer og fjorde mv.

Nye og midlertidige vandhuller, der skabes i landbrugsarealerne som følge af højere vandstand, oversvømmelser eller digegennembrud kan være gavnlige for visse padde, insekter og fugle. Strandtudser yngler gerne i kystnære temporære vandhuller (Ejrnæs, R. et al. 2021).

Hvis den intensivt dyrkede landbrugsjord bliver så våd, at driften ekstensiveres eller ophører, vil det reducere risikoen for tab af næringsstoffer og skabe en buffer mellem intensivt dyrkede højereliggende arealer og naturen i, og ved, fjord, kyst og å.

2.3 Opsamling

De mulige påvirkninger af naturen, som følge af våde og vandlidende landbrugsarealer afhænger meget af lokale forhold som størrelse, kvalitet og karakter af den eksisterende natur, karakteren af oplandet, vandkvaliteten og vandstrømninger.

Påvirkningerne kan både gavne og skade naturen. Våde og vandlidende landbrugsarealer øger risikoen for udvaskning af næringsstoffer til naturen og oversvømmelser af natur med næringsrigt vand, organisk materiale og sedimenter. Der er ligeledes risiko for forsumpning, som kan vanskeliggøre forvaltning. Omvendt kan genskabelsen af en mere naturlig hydrologi og mere dynamiske hydrologiske forhold være gavnlige, særligt i den natur der i forvejen er tilpasset sådanne forhold. Mere vand kan skabe nye vandhuller og lavninger, der kan blive levesteder eller ynglesteder for arter af padde, insekter og fugle. Større sammenhængende naturarealer vil ofte være mere robuste og have et større potentiale for at rumme en høj naturkvalitet. Dyrkningsophør på våd og vandlidende landbrugsarealer vil udvide naturarealet og kan skabe en buffer mellem eksisterende natur og det dyrkede areal til gavn for naturen.

3 Klima

Markbruget er forbundet med udledning af især kuldioxid (CO₂) og lattergas (N₂O) samt en mindre udledning af metan (CH₄). Dette afsnit vil først belyse generel drivhusgasudvikling af de tre gasser i forhold til styrende faktorer i jorden, med særligt fokus på jordens vandindhold.

Efterfølgende vurderes konsekvenserne for klimagas-dannelse i vandlidende og oversvømmede landbrugsjorder i de tre indsatsområder:

- Vandlidende mineraljord (højbundsjord)
- Lavtliggende kulstofrig jord (vandløbspåvirkede)
- Kystnær landbrugsjord påvirket af havvand
- Det vådere vejr og perspektivering til fremtidige klimatiske forandringer i Danmark

Formålet med analysen er at afgøre om den samlede drivhusgasudledning øges i danske vandlidende og oversvømmede landbrugsjorder, sammenlignet med jorde, der ikke er vandlidende.

3.1 Generel drivhusgasudvikling

For di drivhusgasser varierer i blandt andet mængde, evne til at absorbere energi, og atmosfærisk levetid, tildeles hver gas et globalt opvarmningspotentiale (Global Warming Potential (GWP)). GWP beskriver effekten af 1 ton af en drivhusgas, sammenlignet med 1 ton CO₂, over en given periode, typisk 100 år. GWP₁₀₀ for CH₄ og N₂O er hhv. 25 og 298. I analysen betragtes den samlede emission fra vandlidende og oversvømmede marker som CO₂-ækvivalenter, der er baseret på gassernes globale opvarmningspotentiale samt mængden, der udledes. CO₂-ækv. giver en fælles måleenhed for klimagasserne, der gør at de kan sammenlignes, trods at der er store forskelle på klimaeffekten af hhv. CO₂, metan og lattergas.

For alle tre gasser gælder, at flere faktorer er styrende for emissionen. Derfor kan de enkelte faktorer ikke forklare variationer i udviklingen af gas alene. Det må også tages i betragtning, at de forskellige faktorer ikke blot har indflydelse på emissionen, men også på effekten af hinanden.

KULDIOXID, CO₂

I marken dannes CO₂, når organisk materiale (SOM) mineraliseres under iltholdige forhold.

Respiration: Glukose + ilt → CO₂ + vand + energi

Det er rødder og organismer i jorden, der omsætter det organisk materiale, og dette betegnes overordnet som jordrespiration. Respirationen er proportional med indholdet af organisk materiale i jordens iltfrie zone (Gyldenkerne & Greve, 2020). Aktiviteten af de organismer, der forårsager jordrespiration er desuden positivt korreleret med både temperatur og vandindhold, op til et vist niveau. Det ideelle vandindhold for organismene er omkring markkapacitet, eller når ca. 60 % af jordens porevolumen er vandfyldt. Overstiger vandindholdet 80 % af porevolumen, er dannelsen af CO₂ på et minimum, og mikroorganismene begynder at bruge nitrat (NO₃) i stedet for ilt, hvilket resulterer i en udledning af frit kvælstof og lattergas. Hvis jordens vandindhold stiger i en sådan en grad, at ilten i jorden forsvinder helt, kan jordens organismer ikke længere danne CO₂ og N₂O (USDA, 2014). Under iltfrie forhold kan jordrespirationen erstattes af metan-emission, som er 24 gange så kraftig end drivhusgas som CO₂.

Den største emission af CO₂ ses under iltholdige jordforhold, hvor der findes et højt indhold af letomsætteligt organisk materiale. Under danske temperaturforhold vil stigende temperaturer yderligere øge aktiviteten af jordens organismer og dermed CO₂-emissionen, idet den mikrobielle respiration mere end fordobles hvor hver 10 °C temperaturen stiger, indtil et maksimum på ca. 35 – 40 ° C (USDA, 2014).

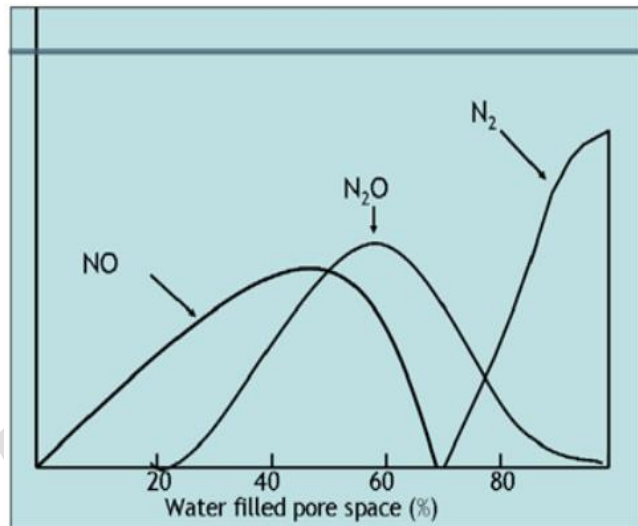
LATTERGAS, N₂O

I markbruget dannes lattergas som en del af kvælstofkredsløbet, når kvælstofholdig gødning og plantester mineraliseres. Lattergas dannes både under iltholdige og iltfattige forhold ved hhv. nitrifikation og denitrifikation, der forsimplet forløber som nedenstående:

Nitrifikation: Ammonium → Nitrit → Nitrat

Denitrifikation: Nitrat → Kvælstofdioxid → Nitrogenoxid (NO) → Lattergas (N₂O) → Frit kvælstof (N₂)

Denitrifikation foregår under iltfattige forhold, og er den dominerende proces for dannelsen af N₂O. Under denitrifikationen reduceres nitrat enten til N₂O eller N₂, og i nogle tilfælde kun til NO. Hvorvidt der sker en fuldstændig reduktion af kvælstof til N₂, eller en ufuldstændig reduktion til N₂O afhænger af en række faktorer, og særligt af jordens ilt- og vandindhold. Afhængigt af jordtype betragtes et vandfyldt porevolumen på 65 – 85 % som det mest gunstige jordvandsindhold for dannelse af lattergas under denitrifikation. Hvis jordvandsindholdet overstiger 65 – 85 % vil størstedelen af nitrat omdannes til frit kvælstof (N₂), hvorved den totale mængde lattergas reduceres (Flechar et al., 2007).



Figur 1. Sammenhængen mellem dannelsen af lattergas og vandfyldt porevolumen (Hauge et al., 2020)

Nitrat er er forudsætning for, at denitrifikation kan forløbe. Det er derfor forholdende under og efter gødskning, der er mest afgørende for lattergasudviklingen. Under sure jordbundsforhold hæmmes omdannelsen af N₂O til N₂, fordi enzymet der står for reduktionen, ikke fungerer ved lave pH-værdier. Man finder derfor den største emission af lattergas i vandlidende jorde (65 – 85 % af porevolumen) med lav pH-værdi umiddelbart efter gødskning med kvælstofholdig gødning (Hauge et al., 2020).

METAN, CH₄

Metan dannes i marken, når organisk materiale nedbrydes under iltfrie forhold. I stedet for ilt kan metandannende bakterier bruge acetat, brint eller kuldioxid i deres metabolisme, og metan kan dannes ved:

Acetat → CO₂ + metan

Brint + CO₂ → metan + vand

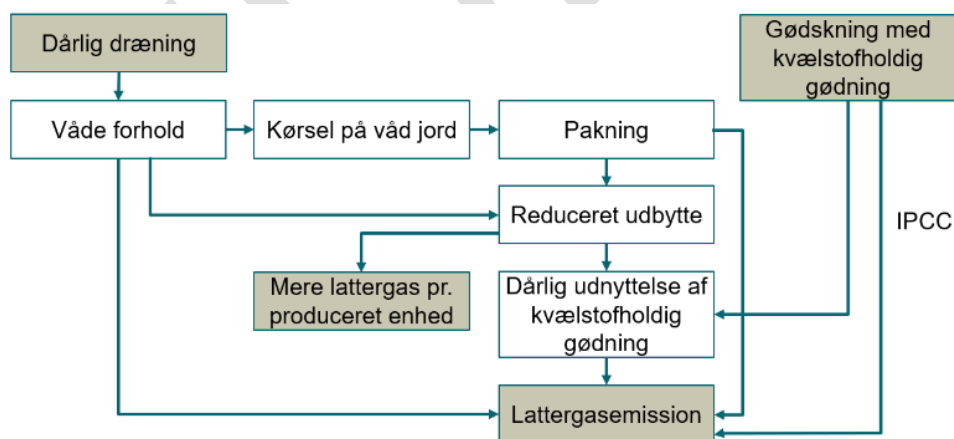
Hvis metanen kommer i kontakt med ilt, kan metanoxiderende bakterier omdanne metanen til vand og CO₂. Jordens indhold af vand er derfor den mest afgørende faktor for om metan udledes fra marken, og laboratorieforsøg har vist, at emissionen af metan er negativt log-korreleret med faldende vandspejlsdybde (La Mer & Roger, 2001). Derudover er det fundet, at aktiviteten af de metan dannende bakterier øges med stigende temperatur, og peaker omkring 30 – 40 ° C (Ibid), hvorfor vi med danske temperaturforhold kan forvente at stigende temperaturer kan øge metan-emissionen fra våde jorde.

3.2 Hvilke konsekvenser har vandlidende højbundsjordere for klimaet?

I mineraljorde (højbundsjordere) er der typisk en ligevægt mellem planternes optag af CO₂ fra atmosfæren og den mængde drivhusgasser, der frigives fra jorden når organisk materiale mineraliseres under iltholdige forhold. Ligevægten mellem optag og emission opstår ved et indhold af organisk kulstof på ca. 1 – 1,5 %. Jorde med et højere indhold af organisk kulstof vil afgive CO₂ under iltholdige forhold, fordi nedbrydningen er større end tilførslen (Gyldenkærne & Greve, 2020). I Danmark er emissionen af CO₂ fra mineraljorde overvejende mindre, end optaget (Inventory). I forbindelse med vandlidende og oversvømmede mineraljorde, vil der ikke forekomme yderligere emission af CO₂ fra disse jorde, da faldende iltmængde forårsager faldende udledning af CO₂ (USDA, 2014). Stigende jordvandsindhold vil derimod øge risikoen for udledning af metan fra jorden. Dog har det lave indhold af organisk materiale i mineraljorde en hæmmende virkning på metan-emissionen (Gyldenkærne & Greve, 2020).

Studier har fundet, at lattergasemissionen generelt er større i dårligt drænedede jorde, i forhold til i godt drænedede, såfremt der er N til stede i jorden. Dog er det afgørende til hvilket vandindhold jorden drænes, da et vandindhold på 65 – 85 % er ideelt for direkte lattergasemission. Ud over vandindholdets direkte effekt på lattergasemissionen, kan et højt vandindhold i jorden på samme tid øge lattergasemissionen, hvis jorden pakkes, når der køres på våd jord. Både dårlig dræning og jordpakning kan give en dårligere plantevækst, som i mindre effektiv grad optager tilgængeligt kvælstof i jorden. I forbindelse med regnfulde år bliver afgrøden mere ujævn mellem årene, med store negative udslag i våde år, hvor dårlig dræning typisk vil gøre, at udbyttet bliver lavere. Ved lav plantevækst bliver gødningen ikke optimalt udnyttet af planterne, og det giver mere tilgængeligt nitrogen i jorden, som både øger risiko for kvælstoftab ved nitratudvaskning og tab ved lattergasemission (Hauge et al., 2020).

Effektiv dræning kan potentielt øge nitratudvaskning til afløbsvandet, hvilket kan resultere i en øget lattergasemission fra drænvandet. Omvendt giver god dræning hurtigere optørring, hvorfor der er mindre risiko for pakning, når der køres på jorden. Bedre vækst, som følge af bedre dræning fører til en bedre udnyttelse af tilført gødning, hvilket reducerer lattergasemissionen i forhold til det producerede udbytte per. ha. Fordi god dræning kan føre til højere vækst og bedre udnyttelse af gødningen, kan effektiv dræning også potentielt føre til et reduceret gødningsbehov, og derved lavere potentiale for lattergasudslip. Samlet set vurderes det, at dræning af dårligt drænedede jorde reducerer risikoen for lattergasudslip på mineraljord, og derved den samlede udledning af drivhusgasser fra marken (Hauge et al., 2020).



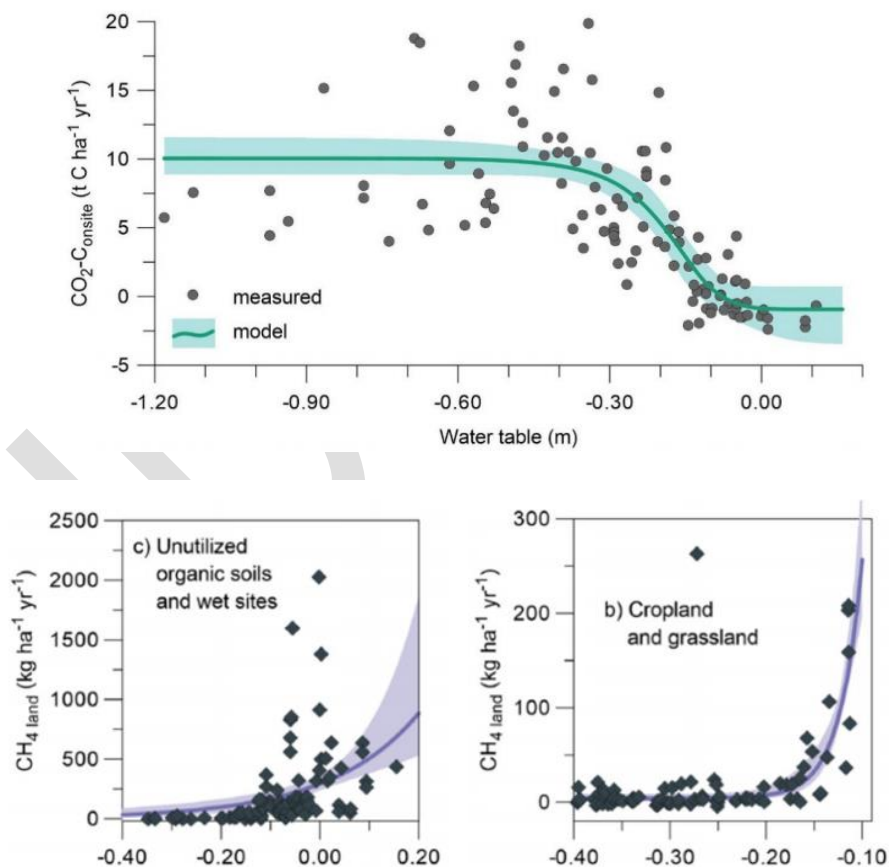
Figur 2. Sammenhænge mellem dårlig dræning og lattergasudslip. Sammenhængen mellem tilførsel af kvælstofholdig gødning er baseret på emissionsfaktoren fra IPCC (Efter Hauge et al., 2020).

3.3 Hvilke konsekvenser har vandlidende kyst- og vandløbsnære landbrugsjorde for klimaet?

Kulstofholdig jord

Kulstofrige jorde er ofte placeret i lavtliggende områder, hvor et vandspejl tæt på jordoverfladen har hæmmet omsætning af organisk materiale, hvorfor der kan være ophobet store mængder kulstof i jorden. Grundet den lavtliggende placering kan disse områder også være påvirket af vandløb og grundvand, hvis ikke jorden drænes optimalt.

I modsætning til forholdene på mineraljord, vil det høje indhold af organisk materiale i kulstofrige jorde resultere i, at der ved iltfulde forhold vil ske en nedbrydning af jordens organiske stof, der frigøres til atmosfæren som CO_2 , samt en mindre mængde CH_4 fra iltfrie lommer i jorden. Fordi det organiske stof indeholder 5 – 10% kvælstof, kan der forekomme en emission af N_2O , når det i første omgang omdannes til nitrat, og videre kan nedbrydes i til N_2O i jordens små lommer hvor iltmangel kan forekomme (Gyldenkerne & Greve, 2020). Hvis jorden oversvømmes totalt, kan der ikke fortsat ske en dannelse af N_2O , fordi processen kræver, at der ikke er helt iltfrie forhold. I forbindelse med, at kulstofrige jorde er vandlidende, vil også emissionen af CO_2 falde i takt med, at vandspejlet når jordens overflade. Jordvandet vil dog øget udledningen af metan, idet det organiske materiale da omsættes under iltfrie forhold.



Figur 3: **Top:** Årlig netto CO_2 -flux fra studier på tyske kulstofrige jorde i forhold til gennemsnitlig årlig vandstand. **Bund:** Udledningen af CH_4 fra hhv. arealer med højt indhold af organisk materiale (tv), samt landbrugsarealer, med mindre indhold af organisk materiale (th). Afstanden til terrænnært vand er angivet med negative værdier i forhold til jordoverfladen (Gyldenkerne & Greve, 2020).

Figur 3 illustrere, hvordan et stigende vandspejl i jorden vil resultere i, at der vil forekomme en betydelig forøgelse af metan fra jorden, afhængigt af jordens indhold af organisk materiale. Trods en stigende mængde metan, vil den samlede drivhusgasudledning i CO₂-ækv. dog falde, grundet nedgangen i udledningen af CO₂, der opstår i takt med at jordens vandindhold øges (Gyldenkerne & Greve, 2020). Kulstofrige jorde med mindst 12 % OC kan, hvis de er eksponeret for ilt, årligt udlede betydelige mængder af drivhusgasser, op til 40 - 50 ton CO₂-ækv. per. ha. afhængigt af dyrkning (Gyldenkerne & Greve, 2020). Derfor vil oversvømmelse af disse jorde som udgangspunkt reducere den samlede emission af drivhusgasser fra marken.

Kystnær landbrugsjord påvirket af havvand

Kystnære landbrugsarealer kan blive saltpåvirkede hvis jorden oversvømmes, og hvis grundvandet i området bliver påvirket af vandet fra havet. En del faktorer man stadig ikke kender omfanget af, er afgørende for havvands påvirkning på drivhusgasudledningen, og kompleksiteten gør, at der i litteraturen ikke er klar konsensus omkring saltvands påvirkning på drivhusgasudviklingen i jorden. Et metastudie viser, at havvandspåvirkning overvejende resulterer i en øget udledning af CO₂, og en reduceret udledning af CH₄, mens der findes ganske få studier af N₂O emissionen (Ardón et al., 2018).

Forhøjet saltindhold øger tilgængeligheden af elektronacceptere, der kan skabe en ændring i den mikrobielle metabolisme i jorden. Responsen i CO₂-emissionen er typisk, at den øges en smule idet dannelse af CO₂ kan øges når der er sulfat til stede i jorden. Dog er emissionen afhængigt af hvor længe og i hvilken grad jorden mættes med vand, og høje saltkoncentrationer er også set at hæmme udviklingen af CO₂, grundet saltstress af de CO₂-dannende bakterier. De fleste undersøgelser af udledningen af metan i jord, der er påvirket af havvand, viser at emissionen er hæmmet i forhold til metan-emissionen i jord påvirket af ferskvand. Det skyldes som nævnt, at havvand øger koncentrationen af sulfat, som skaber gunstige betingelser for de bakterier, der reducerer sulfat i deres metabolisme. De sulfat-reducerende bakterier udkonkurrerer de metan-dannende bakterier, om fælles ressourcer som acetat og hydrogen. Lattergasemissionen i havvandspåvirkede jorde er i mindre grad kendt end metan og CO₂ emissionen. Hypotetisk kunne man forvente, at emissionen af lattergas kan stige med øget salinitet, fordi saliniteten vil hæmme det sidste step i denitrifikationen, hvor N₂O omdannes til N₂, resulterende i en højere lattergasudledning. Dog er der både fundet studier der indikerer at havvand; hæmmer, øger og ikke påvirker lattergasemissionen.

Emissionen af både CO₂, CH₄ og N₂O kan variere markant, i studier der har undersøgt jorde, der oversvømmes af saltvand. Det skyldes, at saltvand kan have meget varierende respons i forskellige jorde, afhængigt af jordens fysiske og kemiske forhold. Noget kunne desuden tyde på, at responsen i den mikrobielle aktivitet hænger sammen med hyppigheden af saltvandspåvirkning. Hvis jorden gradvist eller tilbagevendende udsættes for øgede saltkoncentration, er det muligt, at jordens organismer tilpasser sig forhøjede saltkoncentrationer, hvilket kan gøre mikroorganismene mindre sårbare overfor havvand og osmotisk stress (Ardón et al., 2018).

3.4 Hvilke konsekvenser har det vådere vejr for klima?

Ændringer i nedbørsmængde og -mønstre kan betyde negative ændringer af drivhusgasemissioner fra landbruget. I sommerhalvåret, hvor vi i Danmark har udsigt til både tørke og flere kraftigt regnskyl, kan kombinationen af de to påvirke drivhusgasudledningen fra marken negativt, sådan at der i forbindelse med store regnskyl vil forekomme 'pulse' af drivhusgasser fra marken. Længere tørkeperioder kan forårsage død og dvale af jordens mikroorganismer. I forbindelse med nedbør kan overlevende mikroorganismer accelerere omsætningen af let omsætteligt organisk materiale fra døde mikroorganismer, indtil jorden igen indfinder sig på et stabilt stadie. 'Pulsen' kan øges af, af kraftige nedbørsevents, fysisk kan presse jordgas ud af jorden, når jordens porer fyldes med vand (Jones et al., 2019).

Den øgede vinternedbør og havspejlsstigning vil medføre oversvømmelser af visse landbrugsarealer og nogen steder umuliggøre opdyrkning af jorden. Øget vinternedbør kan føre til markante produktions-
tab samt til øget kvælstofudvaskning, og øget risiko for tab af kvælstof ved lattergasemission (Lohmann-
Jensen, 2010). Selv på godt dræede jorde kan grundvandsspejlet ved hyppig nedbør i perioder nå helt
op til overfladen af jorden. Dræning fjerner blot det frie vand i jorden, og særligt i jorde med fin struktur
kan fugtighedsforholdene, selv under dræning gøre, at der er gunstige forhold for lattergasudslip efter
at dræningstiltag er sat ind (Hauge et al., 2020). Det stigende havniveau kan øge nedsivningen af salt-
holdigt havvand til grundvandet, og øge tilsætning af landbrugsjorden. Hvordan den samlede emission
fra jorden vil blive ved havvandspåvirkning, ser ud til at kunne variere meget fra jord til jord, afhængigt
af de respektive jordforhold, men der er overvejende potentiale for øget CO₂ og lattergasemission
(Ardón et al., 2018).

3.5 Opsamling

4 Arealanvendelse

Dette afsnit behandles i 2023.

4.1 Hvilke konsekvenser har vandlidende højbundsjorder for arealanvendelsen?

4.2 Hvilke konsekvenser har vandlidende kyst- og vandløbsnære landbrugsjorder for arealanvendelsen?

4.3 Hvilke konsekvenser har det vådere vejr for arealanvendelsen?

4.4 Opsamling

5 Produktion og dyrkningsmæssige forhold

Vand i jorden har stor betydning for afgrødeproduktionen. De færreste afgrøder bryder sig om at mangle vand i længere perioder, men ligesom mangel på vand kan være et problem, kan for meget vand også have fatale konsekvenser for udbytte. Det kan være svært at adskille årsagerne til at afgrødeudbyttet påvirkes af den vandlidende jord; der vil være plantefysiologiske parametre der påvirkes, men også effekter indenfor jordens kvælstofdynamik og konkurrence fra ukrudt og skadegørere har betydning. Derudover findes der flere indirekte effekter, der hver især har betydning for jordens værdi som landbrugsjord. Og mange af disse faktorer kan påvirke hinanden på tværs og accelerere en negativ udvikling. Disse forskellige faktorer beskrives i dette afsnit, hvor der tages udgangspunkt i højbundsjorderne, da konsekvenserne ved de kyst- og vandløbsnære jorder er meget lignende. Det beskrives også hvordan det generelt vådere vejr påvirker produktionen.

Formålet med analysen er at vurdere hvordan afgrødeproduktionen påvirkes i danske vandlidende og oversvømmede landbrugsjorder, og opgøre hvad de negative konsekvenser er.

De forskellige afgrøder vil have forskellig tolerance overfor vandlidende forhold (tabel 1 og 2). I de følgende afsnit beskrives de faktorer der gør at vandlidende jorder kan resultere i udbyttetab.

Tabel 1: Forskellige plantearters tolerance overfor vandoverskud. Sukkerroer er her placeret under middeltolerante planter, men bør i mange tilfælde høre under følsomme planter. (Jensen, 2002). Kartoffler og vinterbyg er ikke indsat i den oprindelige kilde, men er tilføjet efterfølgende.

Tolerancegrad	Afgrøde
Meget modstandsdygtige	Ris, flerårige græsser
Middeltolerante planter	Kornarterne , frugttræer, sukkerroer
Følsomme planter	Ærter, bønner, majs, kartofler*

Tabel 2. Forskellige kornarters tolerance overfor vandoverskud. (Jensen, 2002).

Tolerancegrad	Kornart
Mest modstandsdygtige	Rug og vinterhvede
Middeltolerante	Vårhvede og havre
Meget sårbar	Vårbyg, vinterbyg*

5.1 Hvilke konsekvenser har vandlidende højbundsjorder for produktionen og de dyrkningsmæssige forhold?

I dette afsnit beskrives nogle af de mange parametre der påvirker dyrkningen af afgrøder og den generelle produktion på højbundsjorderne. Overordnet set er der nogle plantefysiologiske parametre, såsom fremspiring og rodvækst. Derudover vil kvælstofdynamikken i høj grad også påvirkes, og eftersom kvælstof (N) er et af de vigtigste plantenæringsstoffer, har dette stor betydning for afgrødeudbyttet. Ved ringe plantevækst vil konkurrence fra ukrudt, samt sårbarhed overfor skadegørere desuden øges. Endelig beskrives nogle af de mere indirekte konsekvenser ved vandlidende landbrugsjorder.

5.1.1 PLANTEFYSIOLOGISKE PARAMETRE

Vækststart

Tiden mellem såning og fremspiring af afgrøden er et af de tidspunkter i den vækstperiode der er mest kritiske ift. vandmætning. Her vil planten være meget sårbar overfor længerevarende vandmættede forhold, og det kan gå ud over mange forskellige fysiologiske parametre (tabel 2).

Tabel 2: Fysiologiske parametre hos vinterhvede og deres reduktion efter 17 dages vandmætning efter fremspiring (14 dage efter såning). Variationer skyldes forskellige sorter, samt forskellig tilgængelighed af næringsstoffer (jo mere næringsstofftilførsel, jo mindre tab). (Huang et al., 1994).

Parameter	Reduktion, %
Stomatal konduktans <small>Stomatal konduktans: hvor effektivt bladene lukker CO₂ ind og vand ud</small>	20-54
Fotosynteserate	13-24
Leaf water potential <small>Leaf water potential: hvor meget vand der er i bladene. Jo lavere potenti-ale, jo mindre vand</small>	27-48
Bladareal	38-67
Antal sideskud	37-50
Tørvægt, skud	29-70
Tørvægt, rod	50-77
Rod/skud-ratio	19-50
Længde, nodalrødder <small>Nodalrødder: Vokser ud ved basis af stænglen og er en del af det sekundære rodsystem. Udgør størstedelen af rodsystemet og vokser dybt og optager vand og næringsstoffer. Er vigtigt for forankringen.</small>	36-58
Længde, seminalrødder <small>Seminalrødder: Rødder der vokser ud af frøet og som derfor er en del af det primære rodsystem. Er vigtig for forankring under spiring.</small>	22-49
Antal nodalrødder	18-47
Diameter, xylem kar	26-32

Alle disse parametre påvirker hver især det endelige udbytte, men vil variere alt efter sorten, næringsstofftilgængelighed samt varigheden af vandmætningen (Huang et al., 1994). I en undersøgelse fra (Robert Q. Cannell et al., 1980) blev det fundet at 16 dages vandmætning på dette tidspunkt (perioden mellem såning og spirens brydning af jordoverfladen) slår 100 % af spirene ihjel. Er antallet af dage kun 6, reduceres andelen af døde spirer til 12-38 %. Og er den efterfølgende periode uden vandmætning, kommer planterne fint efter det og kan levere gode udbytter (hos de planter der nu er tilbage) – udbyttetabet hos de tilbageværende planter vil være omkring 18 %.

En våd jord vil være længere tid om at varme op, og en lav jordtemperatur ved etablering nedsætter fremspiringen hos de nye planter.

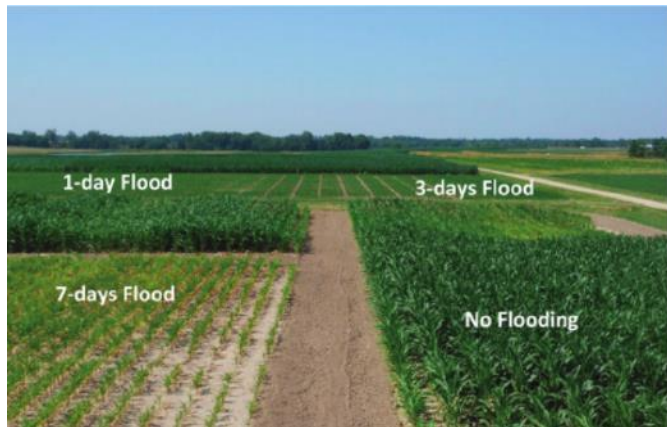
Senere vækst

Som beskrevet overfor, er vintersæd generelt meget følsom overfor vandmætning i den allerførste fase af væksten. Men får vintersæden en god fremspiring, vil den til gengæld være meget robust midt på vinteren, og kan klare vandmætning i 1-3 måneder. Der vil stadig ses et udbyttetab (15-24 %) ved så lang en periode med vandmætning, men der mistes ikke hele planter. Man skal dog være opmærksom på at frost/tø-hændelser under vandmætningen kan nedsætte udbyttet yderligere. Vintersæd skal bruge en grundvandsspejlsdybde på mindst 20-30 cm i vinterperioden, og mindst 80 under vækstperioden. ([Børgesen et al., 2012](#)).

Majs vil ligesom vintersæd være meget sårbar overfor vandlidende forhold i starten af vækstperioden, men lykkes fremspiringen (efter de først 2-3 blade), kan planten indhente udbyttet meget godt senere hen. Udbyttet i majs er meget afhængig af antallet af varmeanheder i vækstsæsonen: Der skal mindst 2400 majsvarmeanheder til for at få modne majsplanter til helsæd og cirka 2700 til koble- og kernemajs. Så en kort periode med meget varmt vejr kan være nok til at opnå tilstrækkeligt antal foderenheder. Det er dog vigtigt at påpege ifb. med majsdyrkning, at afgrøden stadig skal være til at høste i efteråret: Eftersom høsten ligger så sent (10-15. oktober), er der stor risiko for at jorden indeholder meget vand, og er markerne vandlidende på dette tidspunkt, kan dette i bedste fald give alvorlige strukturskader i

jorden og i værste fald umuliggøre bjærgningen. Mangel på afvanding kan altså resultere i et 100 % udbyttetab i majs pga. praktiske hindringer. Udover at sørge for ordentlig dræningen, skal man også gå efter at etablere majsen på højtliggende jorder og undgå svære jordtyper. (Mikkelsen, M., pers. kom., 2021; Mikkelsen, 2021).

Udbyttetab i majs ved vækststadiet V6 kan resultere i et udbyttetab på 0,42-0,72 t/ha (figur 1). Dette tab kan mindskes når majsen har tilstrækkelig næringsstofforsyning. Det er muligt at tilføre næringsstofferne efter vandmætningen, 'rescue N application', men det vil kun i mindre grad hente det tabte udbytte. (Kaur et al., 2017). I en anden undersøgelse er det dog også fundet at N-tilførsel efter vandmætning kan øge N-optaget med 33-40 % (Kaur et al., 2018).



Figur 1: Visuel effekt af vandmætning i majs. (Kaur et al., 2017)

Rodudvikling

Vandmætning af jorden fører til at ilt hurtigt forsvinder fra jordopløsningen. Dette skyldes at O_2 diffunderer 10.000 gange langsommere i vand end i luft, mens rødder og jordens andre organismer hurtigt respirerer og opbruger ilten. Mangel på ilt til planterødderne vil resultere i at der dannes færre ATP-molekyler, og denne mangel på energi fører til en ubalance i cellulære processer og dermed ubalance i vand- og næringsstoffoptaget. Derudover sker der også et skift fra respiration til fermentering når ilten opbruges, hvilket er mindre energieffektivt (dannelse af 2 ATP'er, fremfor 36). Under fermentering produceres der organiske syrer der nedsætter pH-værdien i cellerne, hvilket er med til at skade cellerne og processerne i dem. Der findes tre typer respons på vandstress, hvoraf nogle kun vil ses i visse arter: 1) Dannelse af barkporer, 2) dannelse af siderødder over vandoverfladen, og 3) dannelse af luftvæv i rødderne. (Parent et al., 2008).

I byg kan vandmætning føre til en reduktion af rodtørvægt på 50-70 % (Pang et al., 2004). Som beskrevet i afsnit 2.1 og tabel 1, fandt (Huang et al., 1994) følgende vækstreduktioner i rødderne: rod/skudratio (19-50 %), rodtørvægt (50-77 %), længde af nodalrødder (36-58 %), længde af seminalrødder (22-49 %), antal af nodalrødder (18-47 %) og diameter af vedkar (26-32 %).

Er etableringen vellykket, vil vandmætning senere hen ikke påvirke rodtybden meget hos planten, med mindre plantevæksten nedsættes kraftigt, eller hvis findes et rodstandsede lag i. I en undersøgelse af en vintersort af havre, fandt jorden (R. Q. Cannell et al., 1985) at ved høst var rodtybden 23 % mindre end ved veldrænede marker, mens rodvægten til gengæld var 44 % mindre. I dette forsøg blev udbyttet i mindre grad påvirket: tusindkornsvægten var i veldrænede felter 31,4 g, mens det for de vandlidende felter var 30,9 g, et tab på cirka 2 %.

5.1.2 KVÆLSTOFDYNAMIK

Kvælstoftab

Den primære kilde til kvælstoftab på vandlidende marker er denitrifikation. Denitrifikationen er generelt højst i foråret og efteråret, men potentialet stiger yderligere under vandmættede forhold. Ryden (1983) fandt et kvælstoftab på op til 2 kg N/ha lige efter tilførsel når jordvolumen indeholdt 30 % vand. Mængden af N i jorden vil have en stor effekt på denitrifikationsraten: over 50 % af det totale N-tab sker indenfor de første 8 uger efter tilførslen (Ryden, 1983). I en undersøgelse af Pedersen (1986), blev der fundet en årlig tabsrate via denitrifikation på 39 kg N/ha/år på en lerjord.

Jordtypen vil påvirke denitrifikationsraten; tabet vil generelt være højst på lerjorde på grund de bedre forhold (mere organisk materiale, mere kvælstof og større vandindhold). Således blev det fundet af

Kyllingsbæk & Simmelsgaard (1986) at 5 % og 10 % af den tilførte mængde kvælstof gik tabt ved denitrifikation på hhv. JB1 og JB2-4.

Kvælstofoptag og udbytte

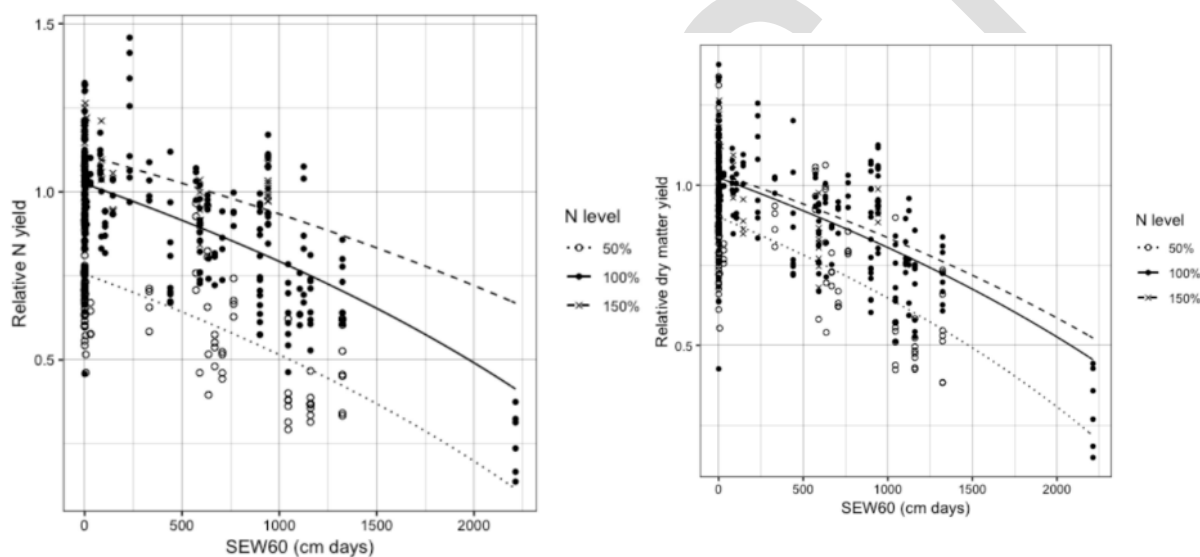
Eftersom rodudvikling nedsættes under vandlidende forhold, påvirkes plantens kvælstofoptag i høj grad og dette kan koste et udbyttetab. Eksempelvis er der hos vårbyg set et 18-24 % lavere N-optag ved en drændybde på 60-65 cm i stedet for 95-120 cm, og dette førte til et udbyttetab på 16-22 %. I samme forsøg resulterede den lavere drændybde i et 0-27 % lavere N-optag i vinterhvede, som medførte et udbyttetab på 10-32 % (Hattesen, 2017).

I undersøgelsen fra (Huang et al., 1994) blev N-indholdet i skuddene på unge vinterhvedeplanter reduceret med 20-32 % efter en vandmætning på 17 dage under fremspiring.

N-optaget falder, jo flere dage med vandmætning, planterne udsættes for (figur 2, venstre). På samme måde vil tørstududbyttet også falde under vandlidende forhold (figur 2, højre). Disse tendenser i vårbyg og vinterhvede kan beskrives med formlerne

$$\text{Relativ } N_{\text{udbytte}} = \log(-5,75 * 10^{-4} * SEW_{60} + 2,79)$$

$$\text{Relativ } DM_{\text{udbytte}} = \log(-5,45 * 10^{-4} * SEW_{60} + 2,78)$$



Figur 2: Kvælstof- og tørstofudbyttet hos vårbyg og vinterhvede i forhold til SEW60 under forskellige gødskningsstrategier. SEW60 er et indeks for dræningsforholdene og angiver summen af dage hvor der er overskydende vand (når dræningsdybden er mindre end 60 cm). (Jensen, 2019)

Hvor SEW₆₀ er antallet af dage hvor vandspejlet ligger over 60 cm. Disse forhold gælder under normal gødskning. Tilføres der mere end normen, vil SEW₆₀ have mindre betydning. (Jensen, 2019).

Det er ikke altid til at se symptomer på at planten er under vandstress; den kan tilsyneladende have en fin vækst uden klorose, men altså give 25 % lavere udbytte (Jensen, 2019).

At udbyttet generelt bliver lavere skyldes mange forskellige ting, hvor nogle faktorer vil betyde mere end andre, afhængig af afgrøde, jordtype og klima. Mange af tingene vil desuden påvirke hinanden indbyrdes og kan nogle gange ikke adskilles. Eksempelvis bliver kvælstofoptaget lavt pga. dårlig rodudvikling. Men der vil samtidig også generelt være mindre kvælstof tilgængeligt pga. øget denitrifikation. På samme måde påvirker problemer med trafik i marken ikke nødvendigvis planteproduktionen direkte, men eksempelvis sen såning på grund af vandproblemer vil føre til en kortere vækstsæson og dermed risiko for lavere udbytte. Andre indirekte påvirkninger vil også være valget af operationer og behandlinger i marken i løbet af sæsonen. Hele sædskifter kan også blive ændret pga. vandlidende forhold i marken.

Det er også derfor man skal tage mange ydre parametre i betragtning, som eksempelvis næringsstofftilgængelighed og vækststadiet, vejr- og jordforhold, samt generel markforvaltning

5.1.3 UKRUDT OG SKADEGØRER

Generelt gælder der at ukrudt, sygdomme og skadegørere vil have bedre betingelser hos en plante hvis konkurrenceevne og fysiologiske forsvar er forringet som følge af en dårlig udvikling i en vandlidende jord. Udover at dette kan nedsætte udbyttet og dermed reducere dækningsbidraget, vil det for konventionelle landmænd også betyde et øget behov for planteværnsmidler. Dette vil resultere i ekstra omkostninger. Hvis jorden er vandmættet og ufarbar på det tidspunkt der er vigtige for planteværnsstrategien, er der dog risiko for at sprøjtevinduet misses og at sprøjtningen helt udebliver. Dette kan nedsætte udbytte yderligere.

Ukrudt

Det vådere vejr kan føre til en senere såning af vintersæd, hvilket vil være fordelagtigt ift. ukrudtsbekæmpelse, idet man som tommelfingerregel siger at en udskydelse på 14 dage halverer fremspiringen af ukrudtet.

Men vil en sen såning overhovedet være muligt på vandlidende jorde? En sen etablering vil øge risikoen for at jorden er så våd at der sker svære strukturskader under etableringen. Derudover vil det også betyde at det kan være svært eller ligefrem umuligt at lave en effektiv mekanisk bekæmpelse af ukrudtet efter fremspiring. Det er på konventionelle bedrifter muligt at benytte sig af kemisk bekæmpelse, hvor ukrudtsvirkemidlet lægges som en film på jordoverfladen inden fremspiringen. Men det vådere og mildere vejr, kan betyde at de aktive stoffer når at nedbrydes inden det vil have en effekt på det fremspirende ukrudt.

Problemer med ukrudt ifm. dyrkning af vintersæd ses altså på to måder: et vådere og mildere vejr giver gode betingelser for visse ukrudsarter (eksempelvis rapgræs, skivekamille, pileurt), og vil samtidig resultere i en dårligere effekt af kemiske virkemidler. Det skal også tages i betragtning af færre virkemidler godkendes, samt at nogen måske ender med at trækkes tilbage fra markedet.

Store problemer med ukrudt i vintersæd kan give udbyttetab på op til 30-40 %. Det bliver vigtigt at have konkurrencestærke afgrøder – dette kan fremavles, men man vil også være en lang del af vejen med veldrænede marker der sikrer god etablering, fremspiring og vækst af afgrøderne. Det bliver også vigtigt at bryde de vintersædsprægede sædskifter med vårsæd, flerårige afgrøder og eventuelt nye afgrøder som sorghum. (Jensen, J. E., 2021, pers. kom.).

Sygdomme

Sygdomme, især svampesygdomme, drager fordel af fugtige forhold, og en jord der ofte er vandmættet, kan derfor fremme væksten og spredningen af sygdommene. Rødsygdomme som goldfodsyge, knækfodsyge, storknoldet knoldbægersvamp vil trives særdeles godt hvis jorden både om foråret og efteråret er vandmættet.

Der er dog en indirekte negativ effekt af den vandlidende jord på visse sygdomme, idet vandproblemer på marken kan udskyde såning til senere på foråret eller efteråret, hvilket er godt for sygdomsforebyggelsen. Eksempelvis, vil senere såning af vinterhvede vil give mindre goldfodsyge, havrerødsot, sne-skimmel, knækkfodsyge, septoria og rustsvampe (Hagelskær et al, 2018). Man skal dog være opmærksom på at andre sygdomme, som eksempelvis meldug kan fremmes af en sen såning.

Skadegørere

For konventionelle landmænd kan der ske udbyttetab, hvis markerne er for våde at køre ud og sprøjte i. Et ændret sædskifte som følge af vandproblemer på marken kan desuden føre til u hensigtsmæssig opformering af skadegørere. Dette gælder også for svampesygdommene.

Skadegørere vil derudover, ligesom for ukrudt og sygdomme, have bedre betingelser i en plante, der har haft en dårlig udvikling som følge af vandlidende forhold og som derfor ikke har udviklet et stærkt forsvarssystem.

Vandlidende jorder kan dog også have en negativ effekt for skadegørerne og altså nedbringe antallet af disse og omfanget af deres skader på afgrøderne. Organismer, der har livscyklusstadier der foregår i jorden, vil være sårbare overfor vandmætning af jorden. Ligesom planternes rødder, er skadegørere også afhængige af tilstedeværelsen af ilt

5.1.4 DE INDIREKTE EFFEKTER

Nogle effekter af vandlidende landbrugsjorder vil være meget direkte og umiddelbart observerbare. Andre vil føre til konsekvenser der ikke direkte skyldes den vandmættede jord, men kan relateres tilbage til den. Og disse konsekvenser kan være mindst lige så omfattende og omkostningstunge.

Sædskifteændringer

Marker der ofte er vandlidende vil være uegnede til sårbare afgrøder som eksempelvis ærter og majs, og dette kan føre til sædskifteændringer. Denne reduktion af muligheder på bedriftens marker vil resultere i økonomisk tab for landmanden, og derudover er der risiko for at de fører til u hensigtsmæssige sædskifter der opformerer skadegørere og ukrudt.

Forringet jordværdi

En jord der ikke er dyrkningssikker, vil have en lavere værdi. Dette koster ikke landmanden noget, mens han selv ejer jorden, men skulle han senere have brug for at sælge den, mister han en potentiel mængde penge her. På samme måde vil han ikke kunne forpagte arealer væk til deres potentielle værdi og ville også her miste profit.

Mistet foderværdi

Vandlidende jorder kan, udover at føre til reducerede udbytter, også give afgrøder af forringet kvalitet. Og for landmanden der skal bruge disse til fodring af husdyr, kan dette resultere i en fodersammensætning der ikke er optimal for produktionen. Eksempelvis kan en nyetableret kløvergræsmark, der rammes af længerevarende vandmættede forhold få en ændret andel af kløver og græsser, idet kløverplanterne i de fleste blandinger er de mest sårbare. Dette ville både føre til en omkostning i form af nyetablering eller indkøb af ekstra kvælstof for at kompensere for den tabte N-fiksering, men for kvægbonden ville det også betyde at han får en kløvergræsensilage med et lavere proteinindhold end forventet. Den indirekte effekt kan derfor være lavere mælkeydelse og dermed økonomiske tab.

Pakning af jorden

Jordpakning hører i høj grad også til de direkte effekter, da landmanden der kører i en våd jord, med det samme kan se hvordan jordens dårlige bæreevnen resulterer i dybe kørespor og efterfølgende samling af vand heri. Pakningens effekt på planteproduktionen ses omgående i vækstsæsonen; udsæd der er landet i områder med jordpakkende kørsel, vokser synligt dårligere. Dette skyldes en kombination af de førnævnte effekter: Ringe rodudvikling på grund af dårlig iltforsyning og den fysiske modstand rødderne møder i jorden, dårligt næringsstoffoptag, samt tab af næringsstofferne.

Men jordpakning kan også være mindre synlig, og effekterne ses muligvis først efter flere år. Dette skaber den indirekte effekt at jordens sundhed gradvist forringes, og det kan være en besværlig og langsommelig proces af få den sunde og frugtbare jord tilbage. Mikro- og makroorganismer i jorden trives dårligt under konstant våde og kolde forhold, og en vigtig konsekvens heraf er at omsætningen af organisk materiale nedsættes, hvilket betyder reduceret frigivelse af kvælstof og andre næringsstoffer fra organisk gødning.

En anden indirekte effekt af jordpakning er at den pakkede jord vandholdningsevne forringes. Det skyldes at jorden mikroporer presses sammen og derfor ikke kan indeholde lige så store mængder vand. En dårligere vandholdningsevne resulterer i at jorden er hurtigere tørrer ud, og øger risikoen for at afgrøderne rammes af tørkestress i varme og tørre perioder i vækstsæsonen. En anden konsekvens af en pakket jord med forringet vandholdningsevne er at der er større risiko for vanderosion, især hvis

landskabet hælder. Vandet kan have tendens til at løbe ad overfladen i stedet for at infiltrere jorden, og danner der sig vandstrømme, kan disse tage fosfor og andre fine partikler, som ler og silt med sig, som kan sedimentere udenfor marken. På den måde kan jordkvaliteten forringes over en årrække.

Pakning af jorden kan føre til ekstraomkostninger. At bearbejde en pakket jord kræver flere kræfter og dermed mere diesel. På samme måde vil det også kræve ressourcer at lave forbedrende tiltag efter pakningen er sket; eksempelvis grubning ved en maskinstation koster mellem 500 og 700 kr./ha, og er desuden sjældent en god langvarig løsning, da jorden bagefter kan blive mere pakningsdisponeret (Chamen et al., 2015). Andre løsningsmuligheder er brug af bredere dæk, øget tilførsel af organisk materiale, overgang til CTF (controlled traffic farming, faste kørespor), samt sædskifteændringer der involverer flere afgrøder med dybe, jordløsnende rødder. Disse muligheder varierer omkostningseffektivitet, men generelt gælder der, at har man først fået pakningsskader i jorden, tager det i hvert fald 3-5 år med forbedrende tiltag, før man får genoprettet jordstrukturen igen (Chamen et al., 2015). I de år kan der være udbyttereduktioner, og samtidig vil der være stor risiko for at starte en ond cirkel, da pakningen fører til dårlig dræning som fører til mere pakning, osv., så længe der fortsat køres på marken.

5.2 Hvilke konsekvenser har vandlidende kyst- og vandløbsnære landbrugsjorder for produktionen og de dyrkningsmæssige forhold?

Mekanismerne der påvirker produktionen og de dyrkningsmæssige forhold er de samme som på højbundsjorderne, men der kan være forskel i graden og varigheden af de vandlidende forhold. Begge typer jorder er påvirket af nedbørsmængde og -intensitet, samt jordtype og topografi, men de kyst- og vandløbsnære områder vil desuden være påvirket af input fra overfladevand. Når et vandløb går over sine bredder, kan de tilstødende landbrugsjorder modtage store mængder vand, og hvis marken afdræner til det pågældende vandløb, vil afvandingen være sat ude af spil. Her vil altså være tale om en 100 % vandmættet jord, som kun få planter kan overleve i i en længere periode og som ikke kan køres i med traditionelle maskiner. Disse forhold varer dog sjældent en hel vækstsæson, hvorimod vandlidende forhold på højbundsjorder kan være længerevarende på grund af mere permanente faktorer såsom pakning og dårlig jordstruktur.

Landbrugsjorder, der er placeret kystnært, har også risiko for at være påvirket af forsaltning. Dette opstår, når der sker et input af saltvand ved oversvømmelser, samt når vind og regn bærer salt med ind på land. Forsaltning af jorden kan nå et punkt der er toksisk for afgrøderne, hvor udbytterne begynder at falde, og salttolerante ukrudtsarter tager over. Der vil desuden opstå en indirekte effekt, når Na^+ ionerne bytter andre ioner, som Ca^{2+} og Mg^{2+} , hvilket gør jordpartiklerne ustabile og øge risikoen for jordpakning og dårlig vandinfiltration (Duan, 2016)

5.3 Hvilke konsekvenser har det vådere vejr for produktionen og de dyrkningsmæssige forhold?

Fremtidens vådere vejr vil ændre flere aspekter af afgrødeproduktionen. Der vil være risiko for at antallet af arbejdsdage i marken reduceres, når markerne bliver ufarbare pga. vandmætning oftere eller i længere perioder.

5.3.1 ÆNDRINGER I MASKINBRUG OG -KAPACITET

Udover udbyttetab og de indirekte effekter beskrevet ovenfor, vil de vandlidende forhold også have konsekvenser for bedriftens maskinelle og produktionsmæssige situation. Jorder, der ofte er vandlidende i lang tid ad gangen, kan kræve ændringer i maskinbruget, såsom alternative metoder til gylleudbringning, og brug af gummibælter i stedet for dæk på maskinerne.

Det er også værd at medregne at kørsel i og bearbejdning af våde jorder slider på både maskiner og redskaber i højere grad end på tørre jorder. Som en langsigtet konsekvens, vil der altså være flere omkostninger til slitage og afskrivninger på vandlidende jorder.



Figur 3: Eksempel på en konsekvens af et vådere vejr og dårlige dræningsforhold: Maskinelle ændringer som brug af gummibælter i stedet for dæk. Foto: Henning Sjørsløv Lyngvig.

Som følge af generelt vådere vejr vil der også ses et behov for udvide kapaciteten under høst og tørring af afgrøderne. Det skyldes at det tidsmæssige vindue, hvor forholdene er optimale til høst, er blevet mindre pga. generelt mere regn i sensommeren. Det kræver altså større maskinkapacitet at få høstet alt til rette tid, og større tørringskapacitet at få tørret de afgrøder, der ikke nås indenfor vinduet.

5.4 Opsamling

6 Konklusion (samlet for hele rapporten)

UDKAST

Referencer

7.1 Referencer til det indledende kapitel

Cappelen, J. (2018). Nedbør og sol i Danmark. <http://www.dmi.dk/klima/klimaet-frem-til-i-dag/danmark/nedboer-og-sol/#>, læst november 2018.

DMI (2014). Fremtidige klimaforandringer i Danmark. Danmarks Klimacenter rapport nr. 6 2014.

Grøndahl, L., Poulsen, N., Christensen, J. H., Arnbjerg-Nielsen, K., Grindsted, A., Halsnæs, K., Jeppesen, E., Madsen, H., Olesen, J. E., & Porter, J. R. 2014. Analyse af IPCC-delrapport 2: Effekter, klimatilpasning og sårbarhed – med særligt fokus på Danmark. Naturstyrelsen.

IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Larsen, S. E., Kronvang, B., Ovesen, N. B. og Christensen, O. B. (2005). Afstrømningens udvikling i Danmark. Vand & Jord. 12. årgang nr. 1, s. 8 – 13

Pedersen, R. A., Langen, P. L., Boberg, F., Christensen, O. B., Sørensen, A., Madsen, M. S., Olesen, M., Su, J. & Darholt, M. (2020). KlimaAtlas-rapport Danmark. Danmarks Meteorologiske Institut. Tilgængelig: [DMI KlimaAtlas Danmark rapport v2020b.pdf](https://www.dmi.dk/klima/klimaet-frem-til-i-dag/danmark/nedboer-og-sol/#)

7.1 Referencer til kapitel om vandmiljø og miljømål

<https://mst.dk/natur-vand/natur/international-naturbeskyttelse/eu-direktiver/eus-vandrammedirektiv/>

<https://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/>

<https://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/vandomraadeplaner/om-vandplanlaegning/>

Malik, A. I., Colmer T. D., Lambers, H., Setter, T. L., & Schortemeyer, M. 2002. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. *New Phytologist* 153 (2); 225-236.

7.2 Referencer til kapitel om natur

Andersen, D. K. & A. Baattrup-Pedersen (2016). "Hvad gør oversvømmelse og sedimentaflejring ved vegetationen i ådalene?" *Vand & Jord* 23(4).

Ejrnæs, R., Nygaard, B., Kjær, C., Baattrup-Pedersen, A., Brunbjerg, A. K., Clausen, K., Fløjgaard, C., Hansen, J.L.S., Hansen, M.D.D., Holm, T.E., Johnsen, T.J., Johansson, L.S., Moeslund, J.E., Sterup, J., Hansen R.R., Strandberg, B., Søndergaard, M. & Wiberg-Larsen, P. 2021. Danmarks biodiversitet 2020 – Tilstand og udvikling. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 270 s. - Videnskabelig rapport nr. 465. <http://dce2.au.dk/pub/SR465.pdf>

Fløjgaard, C., Andersen, D.K., Baattrup-Pedersen, A., Ebbensgaard, T., Eriksen, P.N., Nygaard, B., Ejrnæs, R. (2021): Guide til bedre biodiversitet i ådale. 2022. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. <https://ecos.au.dk/aadale>

7.3 Referencer til kapitel om klima

- Ardón, M., Helton, A. M., & Bernhardt, E. S. (2018). Salinity effects on greenhouse gas emissions from wetland soils are contingent upon hydrologic setting: a microcosm experiment. *Biogeochemistry*, 140(2), 217-232.
- Buragienė, S., Šarauskis, E., Romaneckas, K., Adamavičienė, A., Kriaučiūnienė, Z., Avižienytė, D., ... & Naujokienė, V. (2019). Relationship between CO₂ emissions and soil properties of differently tilled soils. *Science of the Total Environment*, 662, 786-795.
- Flechard, C. R., Ambus, P., Skiba, U., Rees, R. M., Hensen, A., Van Amstel, A., ... & Grosz, B. (2007). Effects of climate and management intensity on nitrous oxide emissions in grassland systems across Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121 (1-2), 135-152.
- Gyldenkærne, S. & Greve, M.H. (2020). Bestemmelse af drivhusgasemissionen fra lavbundsjord. Version 3.0. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 46 s. - Videnskabelig rapport nr. 384 Tilgængelig: <http://dce2.au.dk/pub/SR384.pdf>
- Hauge, A., Haukås, T., Rivedal, S., & Deelstra, J. (2020). Drenering og klimagassutslipp. Virkning av drenering på klimagassutslipp, arealomfang og tiltaksanalyse. *NIBIO Rapport*.
- Hursh, A., Ballantyne, A., Cooper, L., Maneta, M., Kimball, J., & Watts, J. (2017). The sensitivity of soil respiration to soil temperature, moisture, and carbon supply at the global scale. *Global Change Biology*, 23(5), 2090-2103.
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Jones, A. R., Gupta, V. V., Buckley, S., Brackin, R., Schmidt, S., & Dalal, R. C. (2019). Drying and rewetting effects on organic matter mineralization of contrasting soils after 36 years of storage. *Geoderma*, 342, 12-19.
- Le Mer, J., & Roger, P. (2001). Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. *European journal of soil biology*, 37(1), 25-50.
- Lohmann-Jensen, (2010). Klimaforandringernes påvirkning af landbruget. Experimentarium. Tilgængelig: [De globale klimaforandringers påvirkning af landbruget \(experimentarium.dk\)](http://www.experimentarium.dk)
- Pedersen, R, A., Langen, P, L., Boberg, F., Christensen, O, B., Sørensen, A., Madsen, M, S., Olesen, M., Su, J. & Darholt, M. (2020). Klimaatlas-rapport Danmark. Danmarks Meteorologiske Institut. Tilgængelig: [DMI Klimaatlas Danmark rapport v2020b.pdf](https://www.dmi.dk/klimaatlas-danmark-rapport-v2020b.pdf)
- USDA (2014). Soil Respiration. Soil Health – Guides for Education. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Tilgængelig: [nrcs142p2_051573.pdf \(usda.gov\)](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs142p2_051573.pdf)

7.4 Referencer til kapitel om arealanvendelse

7.5 Referencer til kapitel om produktion og dyrkningsmæssige forhold

Cannell, R. Q., Belford, R. K., Blackwell, P. S., Govi, G., & Thomson, R. J. (1985). Effects of waterlogging on soil aeration and on root and shoot growth and yield of winter oats (*Avena sativa* L.). *Plant and Soil*, 85(3), 361–373. <https://doi.org/10.1007/BF02220191>

Cannell, Robert Q., Belford, R. K., Gales, K., Dennis, C. W., & Prew, R. D. (1980). Effects of waterlogging at different stages of development on the growth and yield of winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 31(2), 117–132. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740310203>

Chamen, W. C. T., Moxey, A. P., Towers, W., Balana, B., & Hallett, P. D. 2015. Mitigating arable soil compaction: A review of available cost and benefit data. *Soil & Tillage Research* 146; 10-25.

Duan, Y. 2016. Saltwater intrusion and agriculture: A comparative study between the Netherlands and China. Degree Project in Environmental Engineering and Sustainable Infrastructure. Royal Institute of Technology, Sweden.

Hagelskær, L., Knudsen, L., Petersen, P. H., Nielsen, G. C., Højholdt, M., Lyngholm, S., Fabricius, C., & Thorsted, M., D. 2018. Fordele og ulemper ved tidlig såning af vinterhvede. *Landbrugsinfo*, artikel, d. 27/08/2018, opdateret d. 06/07/2021. SEGES Innovation.

Hattesen, M. 2017. Lav drændybde koster udbytte. Artikel, d. 25/01/2017, *Landbrugsavisen Mark*. <https://landbrugsavisen.dk/avis/mark/lav-dr%C3%A6ndybde-koster-udbytte>. Besøgt d. 21/01/2022, kl. 13:15.

Huang, B., Johnson, J. W., Nesmith, S., & Bridges, D. C. (1994). Growth, physiological and anatomical responses of two wheat genotypes to waterlogging and nutrient supply. *Journal of Experimental Botany*, 45(2), 193–202. <https://doi.org/10.1093/jxb/45.2.193>

Jensen, C. R. 2002. Dræning i jordbruget. Den Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole.

Jensen, K. J. S. (2019). *Drainage and Plant Production*. University of Copenhagen.

Jensen, K. J. S. 2019. *Drainage and Plant Production: Growth, resource utilization and yields of cereal crops, under different and fluctuating depths*. PhD thesis, University of Copenhagen.

Kaur, G., Nelson, K. A., & Motavalli, P. P. (2018). Early-Season Soil Waterlogging and N Fertilizer Sources Impacts on Corn N Uptake and Apparent N Recovery Efficiency. *Agronomy*, 8(7), 1–22. <https://doi.org/10.3390/agronomy8070102>

Kaur, G., Zurweller, B. A., Nelson, K. A., Motavalli, P. P., & Dudenhoeffer, C. J. (2017). Soil waterlogging and nitrogen fertilizer management effects on corn and soybean yields. *Agronomy Journal*, 109(1), 97–106. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.07.0411>

Kyllingsbæk, A., & Simmelsgaard, S., E. 1986. Kvælstofudnyttelse og kvælstoftab på sandjord. Kvælstofgødsningens og dyrkningssystemets indflydelse på kvælstofudnyttelsen og kvælstoftabet ved planteproduktion på sandjord. *Tidsskrift for Planteavl's Specialserie, Beretning nr. S 1853*. Statens Planteavlsvforsøg.

Mikkelsen, M. 2021. Sen såning og evt. omsåning af majs. *Landbrugsinfo*, artikel, d. 19/05/2021. SEGES Innovation.

Pang, J., Zhou, M., Mendham, N., & Shabala, S. (2004). Growth and physiological responses of six barley genotypes to waterlogging and subsequent recovery. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55(8), 895–906. <https://doi.org/10.1071/AR03097>

Parent, C., Capelli, N., Berger, A., Crèvecoeur, M., & Dat, J. (2008). An overview of plant responses to soil waterlogging. *Plant Stress*, 2(1), 20–27.

Pedersen, O., J. 1986. Dyrkningsmetoders indflydelse på udbytte, plantekvalitet, jord og miljø. V. Vandning, slam, industrispildevand og afvanding. *Tidsskrift for Planteavl's Specialserie, Beretning nr. S 1829*. Statens Planteavlsforsøg.

Ryden, J., C. 1983. Denitrification loss from a grassland soil in the field receiving different rates of nitrogen as ammonium nitrate. *Journal of Soil Science*, 34(2); 355-365.