

Til Landbrugsstyrelsen

Levering på bestillingen "CAP2020 analyse vedr. tørvejorder"

Landbrugsstyrelsen har i en bestilling sendt d. 7. februar 2019 bedt DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug – om belyse, hvad potentielle niveauer for beskyttelse af tørvejorder kan være, samt hvad effekterne af disse niveauer af beskyttelse vil være.

Besvarelsen "CAP2020 analyse om muligheder for beskyttelse af tørvejorde" er udarbejdet af professor Jørgen E. Olesen, sektionsleder Mogens H. Greve, lektor Lars Elsgaard, seniorforsker Poul Erik Lærke og professor Tommy Dalgaard fra Institut for Agroøkologi ved Aarhus Universitet. Seniorforsker Steen Gyldenkerne og forsker Joachim Audet fra institut for Bioscience ved Aarhus Universitet har været fagfællebedømmere, og notatet er revideret i lyset af deres kommentarer.

Besvarelsen er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening mellem Miljø- og Fødevareministeriet og Aarhus Universitet" under ID 8.10 i "Ydelsesaftale Planteproduktion 2019-2022".

Venlig hilsen

Lene Hegelund
Specialkonsulent, DCA-centerenheden



CAP2020 analyse om muligheder for beskyttelse af tørvejorde

Af Jørgen E. Olesen, Mogens H. Greve, Lars Elsgaard, Poul Erik Lærke, Tommy Dalgaard

Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

Baggrund

Landbrugsstyrelsen har i en bestilling af 7 februar 2019 ønsket udarbejdet en analyse (rapport), der belyser, hvad potentielle niveauer for beskyttelse af tørvejorde kan være (f.eks. afbrydning af dræn (aktiv udlægning), stop for vedligeholdelse af dræn, forbud mod pløjning (passiv udlægning) mv.), samt hvad effekterne af disse niveauer af beskyttelse vil være (klima ift. LULUC, emissionsopgørelser, kvælstof, natur, klimatilpasning mv.), herunder ift. hvilke konsekvenser for dyrkningen, de forskellige tiltag har. Der ønskes en differentiering mellem permanente græsarealer med højt kulstofindhold, hvor der er forbud imod pløjning i national lovgivning, og omdriftsarealer, hvor der ikke er.

I effektvurderingen skal indgå en vurdering af effekterne over tid af de forskellige niveauer af tiltag, herunder til brug for effektvurderingen i programperioden 2021-27. Effektvurderingen skal samtidig tage stilling til den samlede klimabelastning, dvs. på tværs af alle klimagasser og tiltag. Det ønskes desuden vurderet, hvilke økonomiske, klimamæssige og miljømæssige omkostninger og fordele, der vurderes forbundet med de fremstillede forslag (niveauer af beskyttelse) til brug ved en efterfølgende cost-benefit-analyse.

Analyserne bør omfatte hensyn til jordbundstype, beliggenhed, afvanding/vandopland, jordværdi og nuværende anvendelse mm. samt estimeret CO₂-ækv.-effekt jf. resultaterne af ovenstående analyse. Analysedelen vedr. omkostninger bør omfatte hensyn til det nuværende Tørv2010-kort.

Bestillingen er i flere omgange drøftet med Landbrugsstyrelsen, og specifikt har styrelsen ønsket effekter af mulige virkemidler opgjort både med hensyn til emissioner, dyrkningsværdi, sideeffekter og tidsperspektiv for virkemidlet.

Besvarelse

1. Indledning

Tørvejorde defineres internationalt som jorder med mere end 12% kulstof (C) i overjorden. En del af de oprindelige tørvejorde vil gennem dyrkning over tid være blevet reduceret i kulstofindhold, men på trods af dette kan disse jorder stadig indeholde betydelige mængder kulstof og derfor

være store kilder til udledning af CO₂, uanset at disse ikke opfylder det internationale kriterium på over 12% kulstof. Der kan derfor være grund til også at inddrage jorder med et lavere kulstofindhold end 12% i betragtningerne over hvilke jorder, der bør beskyttes med henblik på at begrænse CO₂ udledningerne. Der er især grund til at se på intervallerne 3-6% C og 6-12% C i topjorden.

I forhold til udledninger af drivhusgasser fra dyrkede tørvejorder er det især dybden til grundvand, der er af interesse, og her spiller jordernes dræningstilstand en stor rolle. Dette er bestemt af dræningsdybde samt af grøftning og vandstand i nærliggende vandløb. Grundlæggende betragtes kun drænedede jorder med grundvandsdybde dybere end ca. 10-25 cm som netto kilde til drivhusgasser, når effekter af alle klimagasser (CO₂, metan (CH₄) og lattergas (N₂O)) vægtes. Med stigende drændybde øges udledninger af CO₂ og lattergas, mens udledninger af metan især er høje ved vandstand, der ligger mindre end 10 cm under overfladen. Dette notat fokuserer på kulstofbalancen for tørvejorder, især i forhold til kulstofindholdet i disse jorder. Det skal dog understreges at dræning af tørvejorder også medfører udledninger af lattergas, og at vådlægning af tidligere drænedede lavbundsjord kan øge udledningerne af metan.

2. Tørvejordernes udbredelse, kategorier og arealomfang

Kulstofrige jorder kan operationelt opdeles i kategorier, der afspejler jordens organiske kulstof (OC) indhold. I Danmarks nationale emissionsopgørelse (Nielsen et al., 2018) opdeles dyrkede organisk jorder i arealer med mere end 12% OC og arealer med 6-12% OC. Arealmæssigt ligger der dog tilsvarende grupper jorder med 3-6% OC, som også er kulstofrige, sammenlignet med mineralske jorder.

Arealanvendelsen af de dyrkede organisk jorder adskilles typisk i to grupper, betinget af om arealerne er i omdrift (med pløjning) eller etableret som permanent græs. Dræningstilstand og grundvandsstand (og sæsonmæssig fluktuation af grundvandsstanden) er ikke systematisk belyst, men generelt er jorder i omdrift dybt drænedede, mens jorder i permanent græs kan have varierende dræningstilstand.

I forbindelse med korrigeringsaktiviteterne i SINKS projektet i 2009 og 2010 blev tørvejordernes udbredelse kvantificeret og kortlagt. Tørvejordenes (>12% OC) historiske udbredelse har været ca. 250.000 ha, men var i 2010 reduceret til ca. 70.000 ha (tabel 1). Denne udvikling skyldtes intensiv afvanding med henblik på opdyrkning og i mindre grad tørvegravning.

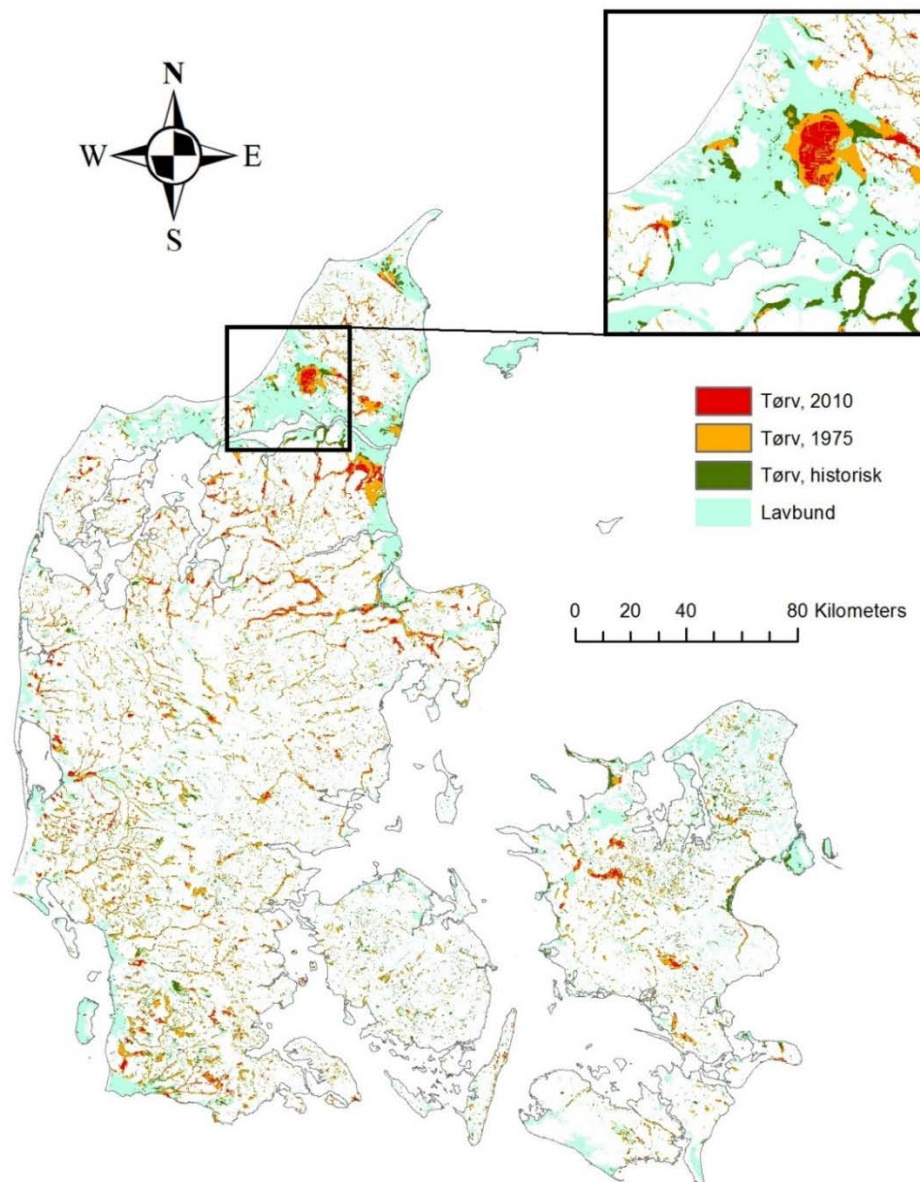
Tabel 1. Areal (ha) med tørvejord opgjort i 2010 med forskellig kulstofindhold (0-30 cm) på den del af landbrugsarealet der ligger på det historiske lavbundsareal.

Kulstof (%C)	Areal (ha)
< 3	ca. 65.000
3-6	62.960
6-12	43.789
>12	70.481

Lavbundsjord som ikke længere kan klassificeres som tørv (>12% OC) har stadig højt kulstof indhold, og arealet af jord med forhøjet kulstof indhold (3-12% OC) på landbrugsarealet udgør ca. 106.000 ha og der vil sandsynligvis være store emissioner af CO₂ fra disse arealer, idet de er vel afvandede (tabel 2) og i omdrift. Figur 1 viser den aktuelle (2010) og historiske udbredelse af tørv.

Tabel 2. Gennemsnitlig dybde til grundvand i SINKS lavbundsprofiler målt i 2010.

Kulstof (%C)	Antal observationer	Grundvands dybde (cm)
<3	2668	91
3-6	2532	80
6-12	1806	74
12-24	1361	68
>24	1587	57



Figur 1. Tørvejordernes udbredelse både historisk og aktuelt i 2010.

Ud fra de ca. 10.000 borer foretaget i forbindelse med SINKS kortlægningen er det muligt at beregne kulstofmængderne over grundvandsstand som er under mineralisering og dermed bidrager til CO₂ emissionerne fra lavbundsarealerne. For at lave dette estimat er det nødvendigt at beregne jordens volumenvægt. Tabel 3 viser den gennemsnitlige beregnede volumenvægt. Volumenvægtene er generelt højere i de øverste jordlag og højere for lave kulstofindhold. Den høje volumenvægt skyldtes, at jorderne er mere mineraliseret og har mistet det meste af sin oprindelige plantestruktur.

Tabel 3. Gennemsnitlig volumenvægte (g/cm³) i 4 dybdelag, for lavbundsjord karakteriseret efter C indhold i topjord (0-30 cm).

Kulstof (%C)	0-31 cm	32-64 cm	64-96 cm	96-128 cm
3-6	1,10	0,83	0,63	0,67
6-12	0,74	0,57	0,40	0,42
>12	0,35	0,23	0,17	0,17

Da jordprøverne blev udtaget blev dybden til grundvand målt. Kulstofmængderne over grundvandsstanden er beregnet på grundlag af kulstofindhold og volumenvægt (tabel 4). Som ventet stiger kulstofmængderne med stigende kulstofprocent, men samtidig viser tabellen at der er meget store kulstofmængder i jorder, som har mellem 3 og 12% OC. Det skyldes at disse jorder er afvandet til større dybde samt at deres volumenvægt er relativt højt. Den høje volumenvægt øger mængden af kulstof i en given dybde og med stigende drænybde øges mængden af kulstof, der er udsat for mineralisering.

Tabel 4. Lavbundsjordernes gennemsnitlige kulstofmængde over grundvandsstand (ton C/ha) efter kulstofindhold i topjord (0-30 cm).

Kulstof (%C)	Antal observationer	Kulstofmængde (ton C/ha)
0-3	121	112
3-6	259	216
6-12	385	305
12-24	494	353
>24	777	415

Anvendelsen af landbrugsarealet for tre klasser af kulstof i topjorden på lavbundsarealet er vist i tabel 5. Kun afgrøder med væsentlig udbredelse er medtaget. Der er en meget klar sammenhæng mellem arealanvendelse og jordernes kulstofindhold. Afgrøder i omdrift som vårbyg og vinterhvede er langt hyppigere for lavbundsjorderne med lavt kulstofindhold, hvorimod permanent græs er den vigtigste arealanvendelse på deciderede tørvejorde.

Tabel 5. Areal (ha) med de væsentligste afgrøder på landbrugsarealet i 2018 på lavbundsarealet for tre klasser af kulstof i topjorden (0-30 cm).

Afgrøde	<6 %C	6-12 %C	>12 %C
Vårbyg	12.969	11.998	8.700
Vinterhvede	41.476	3.443	2.157
Havre	2.176	2.525	2.047
Vinterraps	1.500	1.125	459
Silomajs	3.459	2.826	1.218
Kløvergræs i omdrift	5.290	5.755	5.401
Rent græs i omdrift	1.818	2.578	2.382
Permanent græs, normalt udbytte	6.898	8.406	11.798
Permanent græs (MVJ), ugødet	3.068	3.550	5.527
Permanent græs og kløvergræs, ugødet	1.943	2.529	3.768
MFO-brak, sommerslåning	1.476	2.103	3.058

Tabel 6 viser en opgørelse over sammenhængen mellem afgrøde og kulstofmængderne i topjorden. Opgørelsen er lavet over tre af de mest almindelige afgrøder på lavbundsjordene. Overraskende nok viser data at der er større kulstofmængder i jorderne med vårbyg. Dette skyldes, at disse jorder er i mere intensiv omdrift og derved får en højere volumenvægt.

Tabel 6. Gennemsnitlig volumenvægt, kulstofindhold og kulstofmængde i topjorden (0-30 cm) for forskellige klasser af kulstof i topjorden og tre afgrøder.

Kulstof (%C)	Afgrøde	Volumenvægt (g/cm ³)	Kulstofindhold (%C)	C mængde (ton C/ha)
0-3	Vårbyg	1,31	1,99	86
	Permanent græs, norm udb.	1,24	2,00	83
	Permanent græs (MVJ)	1,20	1,78	71
3-6	Vårbyg	1,09	4,34	159
	Permanent græs, norm udb.	0,98	4,32	141
	Permanent græs (MVJ)	0,93	4,34	134
6-12	Vårbyg	0,83	8,70	242
	Permanent græs, norm udb.	0,69	8,72	201
	Permanent græs (MVJ)	0,60	8,66	174
>12	Vårbyg	0,48	24,05	342
	Permanent græs, norm udb.	0,33	28,05	277
	Permanent græs (MVJ)	0,28	30,97	249

3. Emissioner fra tørvejorder

3.1.1 Baggrund for gasformige tab af kulstof fra organiske jorder

Gasformige tab af C fra organiske jorder skyldes primært mikrobiel mineralisering af OC ved aerob respiration under iltrige (O₂) forhold, hvorved der frigives CO₂. Under iltfrie forhold nedbrydes OC ligeledes til CO₂, men processen sker langsommere end under iltrige forhold, og skyldes mikrobielle fermenteringsprocesser. Under iltfrie forhold kan CO₂ (og fermenterings-produktet

acetat) videre reduceres af metanogene mikroorganismer til metan, der kan tabes gasformigt til atmosfæren, hvor det har en effekt som drivhusgas, der er 25 gange stærkere en CO₂. Metan, der dannes i jorddybder under grundvandsspejlet, kan (inden det tabes til atmosfæren) også blive mikrobielt oxideret til CO₂ under transporten i de øvre iltrige jordlag. Dette påvirker ikke det totale C-tab, men har betydning for den resulterende klimaeffekt i atmosfæren. Balancen mellem de skitserede processer er i store træk bestemmende for omfanget af gasformige tab af C fra organiske jorder. Det er vores forståelse, at især tilgængeligheden af O₂ er styrende for C tabet. Og tilgængeligheden af O₂ er i sig selv stærkt koblet til grundvandsstanden, idet diffusionen af O₂ er omkring 10.000 gange langsommere i vandfyldte hulrum i jorden end i luftfyldte hulrum. Der er utilstrækkelig viden om, hvilken rolle jordens indhold af OC spiller for det resulterende tab af C fra organiske jorder.

3.1.2 Danske målinger af gasformige C-tab fra dyrkede organiske jorder

Tabet af C fra dyrkede organiske jorder knytter sig til balancen mellem netto-fotosyntese (CO₂ optag), fjernelse af C via afgrøder (høst) og mikrobielle C tab som beskrevet ovenfor. Målinger af sådan C balance på danske organiske jorder er udført i enkelte år og primært for dybt drænedes arealer med >12% OC. Der foreligger ikke danske målinger eller specifikke IPCC emissionsfaktorer, der knytter sig til organiske jorder med 6-12% OC eller mindre (3-6% OC). Som et pragmatisk (omend usikkert) estimat, antages det i Danmarks nationale emissionsopgørelse, at emissionerne fra jorder med 6-12% OC kan sættes til 50% af emissionerne fra jorder med >12% SOC. Mens der ikke foreligger danske undersøgelser, tyder publicerede tyske resultater på, at emissionen af drivhusgasser fra jorder med 6-12% OC kan være ligeså stor som fra jorder med højere OC koncentration. Dette er beskrevet i nyligt notat til LBST (Elsgaard et al., 2019).

I 2008-2009 blev der gennemført et måleprogram for drivhusgas emission fra dyrkede organiske jorder (>12% OC) i Danmark, hvor der indgik fem lokaliteter i omdrift og tre lokaliteter med permanent græs (Elsgaard et al., 2012). Resultaterne af dette helårsstudie viste et C tab på 8.4 ± 1.0 Mg C/ha for arealer med permanent græs ($n = 3$) og et C tab på 11.5 ± 2.0 Mg C/ha ($n = 5$) for arealer i omdrift (data angivet som gennemsnit \pm standardfejl) omend der ikke var statistisk signifikant forskel på de to kategorier (Elsgaard et al., 2012). Senere målinger er primært baseret på studier fra dyrkede arealer i Store Vildmose og lavbunds-jorder i Nørreådal. En foreløbig sammenstilling af disse resultater er foretaget i Gyldenkerne et al. (2017) og viser, at resultaterne fra måle-året 2008-2009 ligger i den øvre ende af skalaen. Det er velkendt at år-til-år variationen i drivhusgas emission fra dyrkede organiske jorder ofte er betydelig, selvom omfanget af denne variation ikke er veldokumenteret under danske forhold. Sammenfattende er der begrænsede danske data med henblik på at konsolidere gennemsnitlige emissionsfaktorer for drænedes organiske jorder i permanent græs og omdrift. De tilgængelige data knytter sig til arealer med >12% OC, mens der ikke er danske data for organiske jorder i klasserne med lavere OC indhold.

3.1.3 Internationale målinger af gasformige C-tab fra dyrkede organiske jorder

Et bredere datagrundlag for C emissioner fra organiske jorder er sammenstillet af Wilson et al. (2016) på baggrund af forarbejde i IPCCs Wetlands Supplement (IPCC, 2014) (tabel 7). Disse data inkluderer studier under forhold der rækker ud over danske jordbunds- og klimaforhold, men er sammenfattet over forhold i den tempererede klimazone og opdelt efter næringsstofstatus og

dræningstilstand (Wilson et al., 2016). Det skal bemærkes at især CH₄ emissionerne for kategorien 'rewetted' er behæftet med stor usikkerhed (fx et 95% usikkerhedsinterval fra 0 til ~850 kg C/ha/år) for 'Græs, næringsrig' (Wilson et al., 2016). Dette har begrænset konsekvens i relation til det samlede tab af C fra jorden, men betydelig konsekvens for det samlede klimaaftryk i atmosfæren, hvor CH₄ har en drivhusgas effekt der 25 gange kraftigere end CO₂.

Tabel 7. Gasformige tab af C fra organiske jorder i den tempererede klimazone (Wilson et al., 2016). Tabet af CH₄-C inkluderer emissioner fra drængrøfter.

Kategori	Gasformigt C tab fra organiske jorder (Mg C/ha/år)					
	Drænet			Rewetted		
	CO ₂	CH ₄	C sum	CO ₂	CH ₄	C sum
Omdrift	7,9	0,02	7,9	0,3	0,09	0,3
Græs, næringsfattig	5,3	0,02	5,3	-0,3	0,03	-0,3
Græs, næringsrig, dybt drænet	6,1	0,02	6,1	0,3	0,09	0,3
Græs, næringsrig, svagt drænet	3,6	0,02	3,6	0,3	0,09	0,3

4. Potentielle niveauer for beskyttelse af tørvejorde

I forhold til beskyttelse af kulstofindholdet i tørvejord kan der skelnes mellem aktive og passive foranstaltninger. Ved aktive foranstaltninger (ofte udtagning fra intensiv dyrkning) øges grundvandsstanden gennem stop af dræn, grøfter og/eller afvandingskanaler. Den aktive udtagning kan evt. kombineres med biomasseproduktion (paludikultur) på det vandfyldte areal. Ved passive foranstaltninger sker der en ekstensivering uden at grundvandsstanden aktivt hæves. I praksis vil passive foranstaltninger kun være effektive til at beskytte jordens kulstoflager, hvis grundvandsstanden øges fx gennem manglende vedligehold af dræn og afvandingskanaler.

Da ikke alle tørvejorde er i landbrugsmæssig udnyttelse vil en af de væsentligste beskyttelser være et forbud mod at inddrage udyrkede tørvejorde i dyrkningen, herunder et forbud mod at dræne eller på anden måde afvande disse. En meget stor del af disse arealer må dog i forvejen forventes at være omfattet af Naturbeskyttelseslovens §3 om beskyttede naturtyper.

4.1 Passive foranstaltninger

Ved passive foranstaltninger til beskyttelse af tørvejord forstås udtagning/ekstensivering af landbrugsjord, herunder ophør med dyrkning, jordbearbejdning, gødskning og sprøjtning. Ved passiv beskyttelse af tørvejord bibeholdes eksisterende drænrør og drængrøfter. Dette kan omfatte forskellige tiltag, hvoraf følgende behandles nedenfor: 1) Ophør med jordbearbejdning, 2) Omlægning til vedvarende græs, 3) Undlade vedligeholdelse af dræn, 4) Undlade vedligeholdelse af grøfter, 5) Undlade nydræning. Generelt vil passive foranstaltninger hovedsageligt være effektive, hvis det medfører en øget vandstand. Dokumenterbar klimaeffekt af passive foranstaltninger vil i praksis kræve vandstandsmålninger i arealet efter passiv udtagning.

Det har ikke været muligt i nyere danske forsøg på drænede tørvejorde at påvise forskel på den samlede nettoudledning af drivhusgasser mellem dyrkningssystemer med henholdsvis enårig afgrøder, der inkluderer årlig jordbearbejdning, og flerårig græs uden årlig jordbearbejdning

(Kandel et al., 2013; Karki et al., 2015; Kandel et al., 2018), og det er derfor vores vurdering at passive foranstaltninger kun i ringe grad kan medvirke til at bevare tørvejordene. Der kræves en samtidig ændring i grundvandsstanden. I grøftedrænede arealer i ådale, hvor der ikke længere foretages grødeskæring, som en direkte konsekvens af passive foranstaltninger, kan der som sideeffekt forventes en vandstandsstigning. Det samme kan ikke umiddelbart forventes at være tilfældet hvis arealerne er etableret med drænrør, der afvander direkte til åbne vandløb, som fortsat vedligeholdes med grødeskæring.

4.1.1 Ophør med jordbearbejdning

Jordbearbejdning forventes kun i meget beskednen omfang at have betydning for omsætning af kulstof på mineraljord (Powlson et al., 2014). Tilsvarende forventes at gælde for organisk jord, hvor det organiske stof i jorden ikke vil være beskyttet i aggregater. Det må således forventes at undladelse af jordbearbejdning for jord i omdrift ikke giver nogen beskyttelse af jordens kulstof mod mineralisering.

4.1.2 Omlægning til vedvarende græs

Ved omlægning af tørvejord i omdrift til permanent græs mindskes faldet i kulstofindhold i jorden. Dette er hovedsageligt en konsekvens af et større kulstofinput med planterester (især rødder) i græsmarker sammenlignet med enårige afgrøder i omdrift (tabel 8). Værdierne i tabel 8 og 9 er baseret på danske målinger og er højere end værdierne i de internationale analyser (tabel 7). Som det fremgår af afsnit 3 er der senere målt lavere værdier i danske undersøgelser, som i højere grad er i overensstemmelse med de internationale undersøgelser. Der vil også være mindre kvælstofudvaskning sammenlignet med afgrøder i omdrift, som konsekvens af lav kvælstofudvaskning fra græsmarker. Arealet vil fortsat have en produktionsværdi til kvægfoder, som dog kan være betydeligt lavere end for afgrøder i omdrift, afhængig af produktionsgren.

Tabel 8 viser standardeffekter af udtagning af tørvejord i omdrift til permanent græs med fortsat dræning som disse er beregnet i virkemiddelkataloget for klima på landbrugsområdet (Olesen et al., 2018). Der skelnes her mellem om arealet overgår fra omdrift til græs med eller uden gødning. Det ses, at den største effekt er mindre CO₂ fra nedbrydning af jordens organiske materiale.

Tabel 8. Effekter af udtagning af organogen jord i omdrift til permanent græs med fortsat dræning på reduktion af udledninger af drivhusgasser (ton CO₂-ækv/ha/år). Effekterne er opgjort enten med eller uden fortsat gødskning af arealerne (Olesen et al., 2018).

	Med gødning		Uden gødning	
	> 12 % OC	6-12 % OC	> 12 % OC	6-12 % OC
Mindre CO ₂ fra nedbrydning	11,37	5,68	11,37	5,68
Øget metan	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40
Mindre lattergas fra nedbrydning	1,43	0,00	1,43	0,00
Sparet N-gødning	0,00	0,00	0,78	0,78
Sparet ammoniakfordampning	0,00	0,00	0,01	0,01
Reduceret N-udvaskning	0,05	0,05	0,12	0,12
Reduceret brændstofforbrug	0,20	0,20	0,40	0,40

4.1.3 Unklade vedligeholdelse af dræn

Dræn skal spules med jævne mellemrum (få års mellemrum) for at sikre deres funktion. Hvis denne vedligeholdelse ikke gennemføres vil dræne over tid miste meget af deres funktion. Der foreligger ikke konkrete data for hvilke konsekvenser manglende vedligeholdelse af dræn vil have på forskellig tidshorisont. Det må dog forventes, at det vil på sigt vil føre til øget vandstand og dermed til mindsket nedbrydning af jordens kulstof.

4.1.4 Unklade vedligeholdelse af grøfter

En del dræn vil afvande til grøfter inden for markarealet, og i nogle tilfælde vil disse grøfter også direkte medvirke til arealets afvanding. Disse grøfter skal jævnligt (ofte årligt) vedligeholdes med hensyn til fjernelse af vegetation og evt. sediment. Unkladelse af denne vedligeholdelse vil mindske effektiviteten i afdræning af markfladen, og dette vil kunne øge vandstanden og dermed mindske nedbrydningen af jordens kulstof. Effekten må dog forventes at afhænge helt af lokale forhold og af dræningens og grøftningens udformning, og der kan derfor ikke gives generelle vurderinger af effekter.

4.1.5 Unklade nydræning

En del drænede arealer vil over tid sætte sig, efterhånden som jordens kulstof nedbrydes og jordens massefylde øges som følge af dræning og tung trafik. Dette vil i praksis mindske den effektive drændybde og på sigt kan det være nødvendigt at gendræne arealet, hvis det skal holdes i dyrkning. Et forbud mod gendræning af tørvejorder vil på sigt øge vandstanden af arealerne og dermed beskytte den del af tørvejorden, der ligger under drændybde mod nedbrydning. Der foreligger ingen dokumenterede information om tidshorisont og arealstørrelse for omfang af tørvejorder, som kan være påvirket af et sådant tiltag.

4.2 Aktive foranstaltninger

Ved aktive foranstaltninger forstås udtagning af landbrugsarealer i omdrift/permanent græs eller vedvarende græsarealer/naturarealer, hvorved grundvandsstanden hæves og arealerne derved gøres mere fugtige/vådere. Ved udtagningen lukkes alle områdets dræn, og afvandingskanaler/grøfter dækkes til for at fremme områdets naturlige hydrologi, så området kan klassificeres som vådområde.

Efter vådlægning af tidligere drænede tørvejorde vurderes disse af IPCC til at have samme udledning af drivhusgasser som naturlige tørvejorde (Wilson et al., 2016). Der er dog stadig begrænsede undersøgelser af hvorledes fortsat gødsning og hyppige slæt efter vådlægning påvirker kulstofbalancen (tørveopbygning/-nedbrydning) og drivhusgasudledningen (Günther et al., 2015).

Effekten af vådlægning på netto drivhusgasbalancen afhænger i betydelig grad af om der vil være øgede metanudledninger ved denne vådlægning. Målinger fra vådlagte tidligere dyrkede tørvejorde i Californien viser at der kan være betydelige metanudledninger over en længere

årrække efter vådlægning (Hemes et al., 2019). Nyere danske undersøgelser har også vist, at der er risiko for udledning af store mængder metan, hvis biomassen klippes uden at blive fjernet fra arealet (Kandel et al., 2019). Metoder til at reducere disse metanudledninger er meget dårligt belyst og kræver yderligere forskning.

4.2.1 Udtagning til vådområde og naturareal

Ved udtagning til vådområder mindskes CO₂-udledningerne som følge af mindsket mikrobiel nedbrydning af det organiske stof. Olesen et al. (2018) angav værdier (tabel 9) for effekter af aktiv udtagning af dyrket tørvejord som pt. er i enten omdrift eller permanent græs. Ved aktiv udtagning forstås her ophør af dræning og tilbageførsel til vandstand på 0-20 cm under jordoverfladen, samtidig gødes arealet ikke.

Selvom vådlægning af drænedes tørvejorde reducerer udledningen af CO₂ er der risiko for udledning af store mængder metan i flere år efter vådlægning (Audet et al., 2013). Metan har et globalt opvarmningspotentiale der er 25 gange større end CO₂, så derfor kan der gå mange år inden drivhusgasregnskabet balancerer (Hemes et al., 2018, 2019). Der er som nævnt ovenfor behov for mere viden om hvordan risici for udledning af metan minimeres.

Ved udtagning til vådområder fjernes den tidligere kvælstofudvaskning fra arealet. Der kan også være tale om at vådområdet yderligere kan fjerne kvælstof, men dette afhænger af om arealet tilføres nitratholdigt vand fra omliggende arealer. Udtagning vil også kunne bidrage til øget biodiversitet. Når tørvejorde vådlægges kan de ikke længere anvendes til traditionel afgrødeproduktion.

Tabel 9. Effekter af udtagning tørvejord med ophør af dræning på reduktion af udledninger af drivhusgasser (ton CO₂-ækv/ha/år) (Olesen et al., 2018).

	> 12 % OC		6-12 % OC	
	Omdrift	Perm. græs	Omdrift	Perm. græs
Mindre CO ₂ fra nedbrydning	42.17	30.80	21.08	15.40
Øget metan	-7.20	-6.80	-7.20	-6.80
Mindre lattergas fra nedbrydning	3.87	2.44	0.00	0.00
Sparet N-gødning	0.78	0.78	0.78	0.78
Sparet ammoniakfordampning	0.01	0.01	0.01	0.01
Reduceret N-udvaskning	0.15	0.10	0.15	0.10
Reduceret brændstofforbrug	0.40	0.40	0.40	0.40

4.2.2 Paludikultur

Paludikultur er godkendt af FAO og IPCC som en driftsform, der bevarer tørvejordene (Biancalani and Avagyan, 2014; Hiraishi et al., 2014). Paludikultur er målrettet produktion af biomasse fra afgrøder dyrket ved høj vandstand og dermed skal dræning af arealerne ophøre (Wichtmann et al., 2016). Nogle af de afgrøder der egner sig til paludikultur kan være særdeles produktive under de rette betingelser, men der er behov for mere viden om egnede afgrøder, etablering, produktionspotentiale og høstomkostninger. Nogle potentielle paludi-afgrøder betragtes som

vilde sumpplanter (f.eks. tagrør og dunhammer), og de er derfor ikke støtteberettiget som traditionelle landbrugsafgrøder.

Typer af paludikultur bør defineres bedre i forhold til deres effekter på kulstofbalance og drivhusgasser. Mængden af tilført gødning og hyppigheden af høst af biomasse kan muligvis påvirke opbygningen og nedbrydningen af tørv, men her findes der ingen understøttende forskningsresultater. Forskellen på paludikultur og vådområder er at biomassen fjernes fra paludikultur-arealeret hvilket ikke er tilfældet for vådområder, og derfor er det vigtigt at indregne den mængde kulstof der fjernes fra arealet ved høst i lighed med udregningerne for traditionelle landbrugsarealer.

Sidegevinsten ved fortsat høst af biomasse efter vådlægning af tørrjorden er, at der sammen med biomassen kan fjernes store mængder næringsstoffer fra lavbundsområdet (Kandel et al., 2017), hvilket vil være relevant for områder med høj naturværdi og områder med risiko for mobilisering/udledning af fosfor ved vådlægning af arealet.

Høst af biomasse på vådlagte lavbundslande vil give særlige udfordringer pga. jordens nedsatte bæreevne. I Holland findes imidlertid allerede firmaer med maskiner der kan udføre opgaven, men løsningen er relativt dyr, så der er behov for danske aktører på området (Hyttel, 2015).

Eksisterende aftagermarked for paludi-afgrøder er stråttækning af bæredygtigt byggeri (tagrør) mens de mere 'bløde' enggræsser som strandsvingel og rørgræs kan anvendes til biogasproduktion. På længere sigt forventes, at biomassens værdi kan øges ved at kombinere eksisterende aftagermarkeder med bioraffinering (f.eks. udvinding af bladprotein eller produktion af bioolie) og dermed øge provenuet i primærproduktionen. Udbytte og kvalitet af paludi-afgrøder vil afhænge af niveauet for næringsstofftilførsel.

Referencer

- Audet, J., Elsgaard, L., Kjaergaard, C., Larsen, S.E., Hoffmann, C.C., 2013. Greenhouse gas emissions from a Danish riparian wetland before and after restoration. *Ecological Engineering* 57, 170-182.
- Biancalani, R., Avagyan, A., 2014. Towards climate-responsible peatlands management. *Mitigation of Climate Change in Agriculture Series (MICCA)*.
- Elsgaard L, Görres, CM, Hoffman, CC, Blicher-Mathiesen, G, Schelde K, Petersen SO, 2012. Net ecosystem exchange of CO₂ and carbon balance for eight temperate organic soils under agricultural management. *Agriculture Ecosystems and Environment* 162, 52-67.
- Elsgaard, L., Lærke, P.E., Greve, M.H. (2019). Oplysning om kortgrundlag for jorde med 6 til 12% organisk kulstof samt klimaeffekt ved justering af tilskudsordning til udtagning af organogene jorder. Notat fra DCA– Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 4 pp. Projekt Nr. 2019-760-001231, 27. februar, 2019.

- Günther, A., Huth, V., Jurasinski, G., Glatzel, S., 2015. The effect of biomass harvesting on greenhouse gas emissions from a rewetted temperate fen. *Gcb Bioenergy* 7, 1092-1106.
- Gyldenkerne, S., Levin, G., Lærke, P.E., Elsgaard, L., Olesen, J.E., Taghizadeh-Toosi, A. (2017). Afdækning af usikkerheder ved brug af LULUCF-kreditter. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi og DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 29 pp.
- Hemes, K.S., Chamberlain, S.D., Eichelmann, E., Knox, S.H., Baldocchi, D.D., 2018. A biogeochemical compromise: The high methane cost of sequestering carbon in restored wetlands. *Geophysical Research Letters* 45, 6081-6091.
- Hemes, K.S., Chamberlain, S.D., Eichelmann, E., Anthony, T., Valach, A., Kasak, K., Szsutu, D., Verfaillie, J., Silver, W.L., Baldocchi, 2019. Assessing the carbon and climate benefits of restoring agricultural peat soils to managed wetlands. *Agricultural and Forest Meteorology* 268, 202-214.
- Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., Troxler, T., 2014. 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland.
- Hyttel, O., 2015. Biomassehøsten omkring biogasanlægget Krogenskær ved Brønderslev. Notat fra Naturstyrelsen J.nr. NST-4104-00144.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014) 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National greenhouse gas inventories: Wetlands.
- Kandel, T.P., Elsgaard, L., Lærke, P.E., 2013. Measurement and modelling of CO₂ flux from a drained fen peatland cultivated with reed canary grass and spring barley. *Global Change Biology Bioenergy* 5, 548-561.
- Kandel, T.P., Elsgaard, L., Lærke, P.E., 2017. Influence of harvest managements of festulolium and tall fescue on biomass nutrient concentrations and export from a nutrient-rich peatland. *Ecological Engineering* 109, 1-9.
- Kandel, T.P., Lærke, P.E., Elsgaard, L., 2018. Annual emissions of CO₂, CH₄ and N₂O from a temperate peat bog: Comparison of an undrained and four drained sites under permanent grass and arable crop rotations with cereals and potato. *Agricultural and Forest Meteorology* 256, 470-481.
- Kandel, T.P., Lærke, P.E., Hoffmann, C.C., Elsgaard, L., 2019. Complete annual CO₂, CH₄, and N₂O balance of a temperate riparian wetland 12 years after rewetting. *Ecological Engineering* 127, 527-535.
- Karki, S., Elsgaard, L., Kandel, T.P., Lærke, P.E., 2015. Full GHG balance of a drained fen peatland cropped to spring barley and reed canary grass using comparative assessment of CO₂ fluxes. *Environmental Monitoring and Assessment* 187.
- Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkerne, S., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Callesen, I., Caspersen, O.H., Rasmussen, E., Petersen, S.B.,

Baunbæk, L., Hansen, M.G. (2018). Denmark's National Inventory Report 2018. Emission Inventories 1990-2016 - Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy 851 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 272. <http://dce2.au.dk/pub/SR272.pdf>

Olesen, J.E., Petersen, S.O., Lund, P., Jørgensen, U., Kristensen, T., Elsgaard, L., Sørensen, P. & Lassen, J. (2018). Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. DCA rapport, nr. 130.

Powlson, D.S., Stirling, C.M., Jat, M.L., Gerard, B.G., Palm, C.A., Sanchez, P.A., Cassman, K.G., 2014. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change* 4, 678-683.

Wilson, D., Blain, D., Couwenberg, J., Evans, C.D., Murdiyarso, D., Page, S.E., Renou-Wilson, F., Rieley, J.O., Sirin, A., Strack, M., Tuittila E.S. (2016). Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils. *Mires and Peat* 14, Article 04, 1-28.

Wichtmann, W., Schröder, C., Joosten, H., 2016. Paludiculture-productive use of wet peatlands. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, Germany.

Wilson, D., Blain, D., Couwenberg, J., Evans, C., Murdiyarso, D., Page, S., Renou-Wilson, F., Rieley, J., Sirin, A., Strack, M., 2016. Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils. *Mires and Peat* 17, 1-28.