

Til Landbrugsstyrelsen

**Følgebrev**

Dato 18. januar 2020

Journal 2020-0168957

— **Levering på bestillingen ”Analyse af effekter og mulig udførelse af biomasseslæt på kulstofrige omdriftsjorde”.**

— Landbrugsstyrelsen har i en bestilling sendt den 13. november 2020, bedt DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug – om at udarbejde et kort notat baseret på et sammendrag af relevante oplysninger i N- og P-virkemiddelkatalogerne suppleret med anden relevant viden med fokus på P og organogene jorder. I relation til effekter ønskes klart forklaret, hvordan effekter fra virkemiddelkatalogerne kan ses ift. hinanden (fx N-effekter af brak og biomasseslæt). De relevante arealer er i høj grad, men ikke udelukkende, drænedede omdriftsjorde og/eller permanent græs.

Dette er en revideret besvarelse som erstatter tidligere levering den 15. januar 2020. Revideringen består i at der er fjernet fortrolige oplysninger fra baggrunden. Besvarelsen i form af vedlagte notat er udarbejdet af Lektor Goswin Heckrath og seniorforsker Poul Erik Lærke fra Institut for Agrøkologi ved Aarhus Universitet. Seniorforsker Hans Estrup Andersen fra Institut for Bioscience ved Aarhus Universitet, har været fagfællebedømmer, og notatet er revideret i lyset af hans kommentarer.

Landbrugsstyrelsen har kommenteret på et udkast til dette notat. Kommentararket kan findes via dette [LINK](#).

— Besvarelsen er udarbejdet som led i ”Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening mellem Miljø- og Fødevarerministeriet og Aarhus Universitet” under ID 8.05 i ”Ydelsesaftale Planteproduktion 2020-2023”.

Venlig hilsen

Stine Mangaard Sarraf  
Specialkonsulent, kvalitetssikrer for DCA-centerenheden



# Analyse af effekter og mulig udførelse af biomasseslæt på kulstofrige omdriftsjorde

---

Af Lektor Goswin Heckrath og Seniorforsker Poul Erik Lærke, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet

Fagfællebedømt af Seniorforsker Hans Estrup Andersen, Institut for Bioscience, AU

## Baggrund

Landbrugsstyrelsen har bedt DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug – om at udarbejde et kort notat baseret på et sammendrag af relevante oplysninger i N- og P-virkemiddelkatalogerne suppleret med anden relevant viden med fokus på P og organogene jorde. I relation til effekter ønskes klart forklaret, hvordan effekter fra virkemiddelkatalogerne kan ses ift. hinanden (fx N-effekter af brak og biomasseslæt). De relevante arealer er i høj grad, men ikke udelukkende, drænede omdriftsjorde og/eller permanent græs.

Nærværende notat er en kort redegørelse over effekter af slæt og fjernelse af overjordisk biomasse på udpining af og ændring i tabspotential for næringsstoffer, primært fosfor, samt kulstoflagring, drivhusgasemission og biodiversitet på organiske lavbundslande, der typisk er kunstigt drænede og er underlagt et gødskningsforbud. Ved anvendelsen af udtrykket slæt forstås i det følgende en bortførelse af den høstede biomasse og dermed næringsstofferne. I bestillingen bedes effekterne belyst for arealer i omdrift eller i permanent græs. Tidshorisonten for effekterne samt muligheder for drift og pleje af arealerne belyses. Enkelte punkter, bl.a. klimagasser, kvælstofudvaskning og biodiversitet, bliver mere udførligt behandlet i *Vidensyntese om kulstofrige lavbundslande*, som er under udarbejdelse.

I 2018 blev der registreret 171.000 ha organisk lavbund (>6% organisk kulstof) i landbrugsmæssig drift og dermed antaget som værende mere eller mindre intensivt drænede. Dette omfattede 106.000 ha (62 %) i omdrift, 42.000 ha (25 %) med permanent græs og 23.000 ha (13 %) med andre dels permanente afgrøder såsom frugtplantager og træskov, dels arealer under miljøordninger og miljøtiltag (18.000 ha). Arealer i omdrift har som regel afgrøder, der af bedriftsøkonomiske hensyn kræver gødningstilførelse, især kvælstof. Det gælder dog i mindre omfang for kløvergræs og bælgplanter. Imidlertid vil en mærkbar udpining af jordens fosforpulje kræve adskillige år (Hoffmann m.fl., 2020). Derfor vil biomassefjernelse som tiltag for udpiningen af jordens fosforpulje i kombination med et gødskningsforbud være mest egnet på arealer med permanent græs eller andre, fortrinsvis flerårige afgrøder, der i vist omfang tåler ophør af gødskning. I nærværende notat fokuseres derfor på permanent vegetationsdække af græs eller lignende, der ikke omlægges i en årrække. I forbindelse med enkelte sammenligninger henvises specifikt til afgrøder i omdrift.

## 1. Effektvurderinger

## Fosfor

### Fosforfjernelse med høstet biomasse

Andelen af fosfor (P) i biomassen af græs, urteagtig vegetation og mange afgrøder er rimelig stabil og i mindre grad afhængig af gødningstilførsel (Marschner, 1995). Generelt kan det forventes, at fosforindholdet på tørstofbasis ligger mellem 0,2 og 0,4 % i gennemsnit for hele den overjordiske biomasse (Vinther, 2011). Frø og kerner indeholder dog typisk fire gange så meget fosfor som halm. Fosforindholdet i tørstof ligger på omtrent 0,3 % for permanent græs og mellem 0,33 og 0,38 % for kløvergræs (Vinther, 2011; Thøgersen & Kjeldsen, 2018; Sørensen m.fl., 2019). Bortførslen af fosfor ved høst vil derfor i høj grad afhænge af biomasseproduktionen. Der findes ikke udbyttedata fra forsøg med næringsstofudpining på organisk lavbundsjord. Udbyttene afhænger af jord- og klimaforhold samt pleje af arealerne. Olesen m.fl. (2016) skønner i et gennemsnitsscenario, at tørstofudbytte af kløvergræs vil falde fra ca. 9 t/ha til 7 t/ha efter ottende brugsår uden kvælstofgødskning. For ugødet, permanent græs kan der antages tørstofudbytter mellem 2 og 9 t/ha (Sørensen m.fl., 2019; Hoffmann m.fl., 2020; Nielsen m.fl. 2013) afhængig af arealernes næringsstofstatus. Således er biomasseproduktionen på udtagne, men tidligere gødede, arealer større end på naturarealer, der aldrig har fået tilført næringsstoffer ved gødskning. Hille m.fl. (2018) rapporterede udbytter for høst af græs og urteagtig vegetation på mellem 2,6 og 4,7 t/ha/år tørstof ved et til tre slæt i sommerperioden i ugødede vandløbsnære randzoner fra to lokaliteter i Vest- og Østjylland. Til sammenligning blev der efter 90 år med permanent græs uden gødskning høstet i gennemsnit 2,7 t/ha/år ved to slæt i et langvarigt forsøg i England (Jenkinson m.fl., 1994). I Danmark lå udbyttet på 3,0 t tørstof/ha i ugødet strandsvingel på en våd sandjord (Larsen m.fl., 2016).

En lang række afgrøder tilført gødning fjerner mellem 15 og 30 kg P/ha årligt i høstet materiale under en bred vifte af jord- og klimaforhold i Danmark (Sørensen m.fl., 2019). Gennemsnitligt kan der antages en fosforfjernelse i høstet biomasse på 20 kg P/ha/år. Intensivt dyrket og gødsket græs i omdrift kan nå en årlig fosforbortførsel på 40 kg P/ha ved flere slæt. Ved høst af permanent græs med lave udbytter estimeres en fosforfjernelse på ca. 9 kg P/ha årligt. Der vil stadig kunne opnås en årlig fosforfjernelse på op til ca. 20 kg P/ha efter flere brugsår i ugødet kløvergræs (Olesen m.fl., 2016). En række studier rapporterede om fosforbortførsel i biomasse ved høst af græs- og urteagtig vegetation på ugødede og udyrkede arealer. Hoffmann m.fl. (2020) giver en oversigt over fosforfjernelse ved høst af biomasse i forskellige våde og tørre randzoner, enge og vådområder, som spænder mellem ca. 6 og 20 kg P/ha årligt med et gennemsnit på 12 kg P/ha/år for de mere tørre arealer. Dette anses for repræsentativt for drænede organiske lavbundsjorde med ekstensivt græs, der ikke tilføres mineralisk gødning. I en undersøgelse over tiltag i naturplejen er høstet estimeret til at kunne fjerne 11 – 13 kg P/ha årligt på ekstensive engarealer (Buttenschøn, 2007). Tilsvarende græsudbytter rapporteres fra mere våde, omend drænede lavbundsjorde (Nielsen m.fl., 2013). Længerevarende udpinningsforsøg for fosfor på drænede men ugødede organiske lavbundsjorde er ikke gennemført.

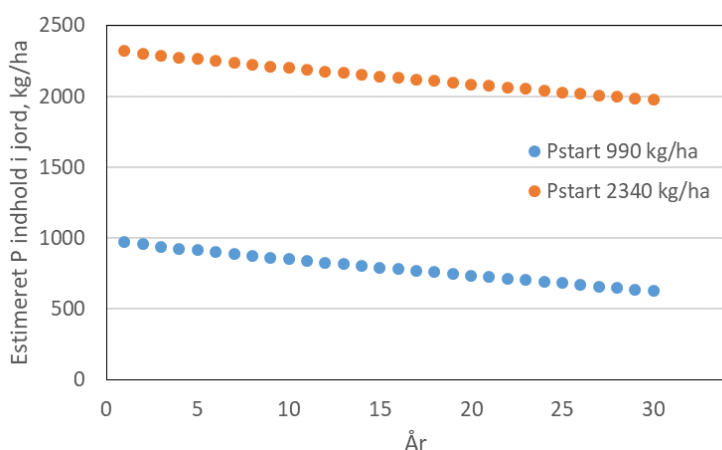
### Fosforpuljer i jord

Der findes kun få data over indholdet af totalfosfor i dyrket organisk lavbundsjord i Danmark. Imidlertid antyder disse, at fosforindholdet kan være højt og at en stor del af fosforpuljen er bundet til aluminium- og især jernoxider, ligesom i højbundsjord (Kjærgaard m.fl., 2010). Fosfor bundet til disse oxider kan bestemmes ved hjælp af en oxalatekstraktion og skønnes at udgøre, i gennemsnit, omtrent 70 % af totalfosfor i organiske lavbundsjorde (Heckrath m.fl., 2020). Resten af fosforpuljen består overvejende af organisk bundet fosfor, som vil frigøres ved mineralisering af tørv. Fosfor i organisk lavbundsjord indgår i komplekse og stærkt dynamiske kemiske og biologiske processer, der flytter fosfor mellem forskellige puljer og bestemmer balancen mellem fosfor i jordvandet og bundet fosfor. Denne balance kontrolleres i højbundsjord overvejende af sorptions- og desorptionsprocesser, hvor uorganisk fosfor bindes på eller frigives fra jern- og aluminiumoxider (Schoumans og Chardon, 2015; Andersen m.fl., 2016). Det samme gælder også for drænede organiske lavbundsjorde under iltede

forhold. Desuden bindes også det fosfor, der frigives ved mikrobiel mineralisering af tørv som uorganisk fosfor, typisk igen på oxiderne. Dette er en væsentlig årsag til den hyppigt observerede relative fosforberigelse i de øvre jordlag på drænet organisk lavbund (Zak m.fl., 2010). Organisk fosfor bliver derved til uorganisk fosfor. I nærværende notat betegnes fosforfrigivelsen til jordvandet også som mobilisering. Karakteristisk for organisk lavbund er, at den periodisk kan være vandmættet, selvom den er drænet, og der opstår iltfrie zoner, hvor jernoxider kan opløses i større grad i forbindelse med anaerobe mikrobielle omsætningsprocesser (Heckrath m.fl., 2020). Dette betegnes som jernreduktion. Derved vil fosfor bundet til jernoxider umiddelbart frigives til jordvandet, dog kan det bindes igen af aluminium- og resterende jernoxider. Den reductive fosformobilisering adskiller lavbundsjord tydeligt fra højbundsjord og bidrager ofte til høje fosfortab fra drænedede organiske lavbundsjord, når de bliver periodisk vandmættede (Andersen og Petersen, 2020). Imidlertid er jernreduktionen reversibel. Når iltniveauet stiger, udfælder opløst jern umiddelbart som jernoxid og kan igen binde fosfor. Planter optager fosfor udelukkende fra vandfasen, hvilket forudsætter en tilpas stor frigivelse af bundet fosfor til jordvandet under vækstsæsonen. Ved meget høje indhold af jern- og aluminiumoxider på drænet organisk lavbund vil fosforbindingen i jorden øges med reduceret fosfortilgængelighed til følge, som vil kunne begrænse plantevæksten. Det er dog ikke systematisk undersøgt.

### Fosforudpiningsscenario

Indholdet af oxalatekstraherbart fosfor er kortlagt for de øverste 30 cm i dyrket organisk lavbund i Danmark (Beucher m.fl., 2020). Disse data kan anvendes til at skønne effekten af slæt og biomassefjernelse på udpining af jordens fosforpulje. Her antages, at planterne optager fosfor primært fra de øverste 50 cm af rodzonen, og at indholdet af oxalatekstraherbart fosfor fra 0-30 cm laget er repræsentativt for de øverste 50 cm. I modsætning til højbundsjord findes der ikke en generel og tydeligt nedadgående trend i fosforindholdet i de øverste 50 cm af rodzonen (Heckrath m.fl., 2020). Forklaringen ligger delvist i nedbrydningen af den drænedede tørv, som medfører en opkoncentrering af fosfor i det iltede jordlag (Zak m.fl., 2010). Ved ovennævnte antagelser og på basis af kortlægningen af Beucher m.fl. (2020) estimeres puljen af oxalatekstraherbart fosfor i de øverste 50 cm af dyrket organisk lavbund til at udgøre, i gennemsnit, 776 kg P/ha med 20 % og 80 % fraktiler på henholdsvis 695 og 1638 kg P/ha. Det tilsvarende indhold af totalfosfor estimeres til 1109, 993 og 2340 kg P/ha. Det bemærkes, at disse tal repræsenterer grove skøn, og at jordens fosforindhold inden for marker af dyrket organisk lavbund kan være meget varierende. Sammenholdes disse fosforpuljer med potentiel fosforfjernelse ved slæt og bortførsel af græsagtig vegetation efter ophør af gødskning, er det tydeligt, at det vil tage årtier før jordens fosforindhold sænkes markant. Lignende er blevet konkluderet af Hoffmann m.fl. (2020). Figur 1 illustrer potentialet for fosforudpining over tid for to jorde med et startindhold af fosfor svarende til 20 % og 80 %-fraktilen af estimeret fosforindhold i de øverste 50 cm af lavbundsjord. I eksemplet antages, at årlig fosforfjernelse falder asymptotisk fra 20 kg P/ha det første år til 12 kg P/ha efter 10 år og 10 kg P/ha på lang sigt svarende til dyrkning af velvarende græs. Udgangssituationen er en forholdsvis næringsstofrig jord bl.a. på grund af tidligere gødnings-tilførsler, der udpines med tiden. Typiske afgrøder, i omdrift, vil respondere med en meget tydeligere nedgang i udbytter og fosforfjernelse end græs og især græs i kløverblanding.



**Figur 1.** Skønnet effekt af slæt og fjernelse af græsagtig vegetation på fosforudpining i to ugødede, drænedede organiske lavbundslande med forskelligt startindhold af fosfor i de øverste 50 cm. Startindholdene er estimeret på basis af 20 % og 80 %-fraktilen af kortlagt indhold af oxalatekstraherbart fosfor i dyrket organisk lavbundjord (Beucher m.fl., 2020). Det antages, at årlig fosforfjernelse ved høst af biomassen falder fra 20 kg P/ha i starten til 10 kg P/ha på lang sigt.

#### Fosfortab på drænet organisk lavbundsjord

Der findes kun få undersøgelser over fosfortab fra drænet organisk lavbundsjord i Danmark. I forhold til højbundsjord er tabet forholdsvis højt. Andersen og Petersen (2020) har i forbindelse med kortlægningen af risiko for fosfortab fra landbrugsarealer antaget, at der sker et gennemsnitligt fosfortab fra dyrket organisk lavbund på 1,9 kg P/ha/år. Variationen i tabsniveauerne er høj og skyldes det komplekse samspil mellem fosformobilisering og vandafstrømning i drænedede landbundsjorde (Petersen m.fl., 2018; Heckrath m.fl., 2020). I modsætning til højbundsjorde er puljen af mobiliserbart fosfor, der potentielt vil kunne tabes, stærkt afhængig af den tidlige og rumlige variation af biogeokemisk drevet jernreduktion og -udfældning som følge af skiftende anaerobe og aerobe forhold i drænedede organiske lavbundsjorde (Forsmann og Kjærgaard, 2014). Puljen af mobiliserbart fosfor kan være stor (Kjærgaard m.fl., 2010; Heckrath m.fl., 2020). Desuden frigives fosfor fra den organiske pulje, når tørv omsættes i drænedede lavbundsjorde (Zak m.fl., 2010). Nogle studier antyder, at fosformobiliseringen falder eksponentielt med stigende jern-fosfor-forhold i organisk lavbund (Zak m.fl., 2010; Forsmann og Kjærgaard, 2014). Imidlertid ser det ikke ud til, at dette kan generaliseres til at gælde for alle organiske lavbundsjorde, ligesom andre sorbenter (f.eks. aluminiumoxider) vil kunne binde det frigivne fosfor ved lave jern-fosfor-forhold (Heckrath m.fl., 2020). En entydig sammenhæng mellem størrelsen af en bestemt fosforpulje i drænet organisk lavbundsjord og fosfortabet, er ikke påvist.

Generelt kan det antages, at forholdet mellem mængden af potentielt mobiliserbart uorganisk samt organisk fosfor og jern- og aluminiumoxider som de vigtigste fosforsorbenter i organisk lavbundsjord har betydning for fosformobilitet ved vådlægning (Geurts m.fl., 2008; Zak m.fl., 2010; van de Riet m.fl., 2013; Forsmann og Kjærgaard, 2014). Disse studier antyder, at tabsrisikoen falder betydeligt, når molforholdet mellem reducerbart jern og fosfor i jord er større end 10 i det lag, hvor fosfortabet opstår. Ofte anses det øverste jordlag som potentiel kilde til fosfortabet ved vådlægning (Zak m.fl., 2010). En målsætning om fosforudpining vil derfor kunne være at øge jern-fosforforholdet i overjorden til dette niveau som forberedelse til vådlægning. Imidlertid kan der ske en intern omlejring mellem fosforpuljer, der modvirker ændringen i jern-fosforforholdet. En vurdering af hvor meget fosfor der bør fjernes på hvilke arealer vil kræve videregående undersøgelser af samspillet mellem udpining og fosforpuljer i organisk lavbund. Uanset hvad der påvirker fosformobiliseringen, er det i sidste ende afstrømningsmønstrene, der har afgørende betydning for tabsniveauet i organiske lavbundsjorde (Petersen m.fl., 2018). Derfor er det på nuværende tidspunkt ikke muligt at kvantificere effekten af fosforudpining på fosfortabet fra drænedede organiske lavbundsjorde generelt. I betragtning af den

relativt lille reduktion i jordens fosforpulje ved udpining over en årrække og den potentielle dynamiske omfordeling mellem fosforpuljerne forventes effekten at være beskedne mange steder. En 1-årig intervention estimeres til at have ingen effekt.

Imidlertid kan planternes fosforoptagelse modvirke en høj fosforfrigivelse i ikke-drænede, våde og stærkt nedbrudte lavbundslande og dermed reducere tabsrisikoen (Hoffmann m.fl., 2020). Denne effekt på tabspotentialer er indtil videre kun dokumenteret efter permanent vådlægning af lavbundsland og etablering af en tæt og produktiv vådbundsvegetation. Forsøg i bl.a. Tyskland har vist, at vådbundsvegetation vil kunne optage en mængde fosfor svarende til fosformobiliseringen i 0 – 30 cm laget i vegetationsperioden (Zak m.fl., 2014). I vådlagte organiske lavbundslande med frit vand spejl observeres der desuden en fosfortilbageholdelse på den iltede grænseflade mellem jorden og overfladevandet. Her bindes fosfor af frisk-udfældede jernoxider, efter det er diffunderet sammen med opløst jern opad fra det øverste, vandmættede og anaerobe jordlag (Zak m.fl., 2004; Geurts m.fl., 2008). Diffusionsgradienten for fosfor og jern skyldes jernreduktionen og tilsvarende fosformobiliseringen i den anaerobe zone, med forholdsvis høje fosfor- og jernkoncentrationer i jordvandet til følge. Fosfortilbageholdelsen på grænsefladen vil reducere tabsrisikoen i det overfladisk strømmende vand. Der findes dog kun forholdsvis få studier fra vådlagte organiske lavbundslande, der har målt det samlede fosfortab langs alle tabsveje og opstillet massebalancer (Walton m.fl., 2020). Disse studier viser en stor spredning i fosfortabsniveauer, hvor vådlagte organiske lavbundslande var en fortsat kilde til fosfortab. Zak m.fl. (2014) påpeger desuden, at fjernelse af biomassen vil være nødvendig for at undgå øget fosforfrigivelse ved nedbrydning af vegetationen om vinteren og dermed en øget tabsrisiko på længere sigt.

## Kvælstof

Ligesom for fosfor findes der ikke målrettede undersøgelser over kvælstoftabet på ugødet, drænet organisk lavbundsland, hvor biomassen borthøstes. I en række nordjyske drænoplande på organisk lavbund i omdrift er der målt kvælstoftab i drænvand på mellem 12 og 37 kg N/ha/år (Kjærgaard m.fl., upublicerede data). Der findes dog ingen specifikke oplysninger om sædskifter eller kvælstofgødsning i forbindelse med denne undersøgelse. På græsarealer på mineraljord er et ophør af kvælstoftilførslen generelt forbundet med et kraftigt fald i kvælstofudvaskning allerede det første år (Blicher-Mathiessen m.fl., 2020). På landsbasis antages der at være en årlig kvælstofudvaskning på 12 kg N/ha for græsarealer udtaget af landbrugsproduktionen, hvor biomassen ikke borthøstes, men hvor der kan forekomme ekstensiv afgræsning (Børgesen m.fl., 2013). En fortid med høj tilførsel af husdyrgødning kan medføre et højere indhold af labilt, organisk bundet kvælstof på mineraljorde, som kan forårsage større kvælstofudvaskning end på næringsfattige arealer (Blicher-Mathiessen m.fl., 2020).

I den kommende vidensyntese om kulstofrig lavbundsland redegøres for kvælstofeffekter i forbindelse med forskellige driftsformer (beskyttelsesniveauer) af organisk lavbundsland. Effekterne er opgjort baseret på gennemsnitsbetragtninger på nitratudvaskning for omdriftsarealer på sandjorde (70 kg N/ha) og N-gødet vedvarende græs for sandjorde (30 kg N/ha) og er afrundede gennemsnitstal for landbrugsarealerne efter Børgesen et al., 2019. Der er en betydelig usikkerhed og variation på disse tal, både pga. jordtype og forskelle i nedbørsoverskud mellem forskellige dele af landet, der har stor betydning for nitratudvasknings-niveauer. Desuden er lavbundsarealer ikke hydrologisk eller mht. jordbundsforhold sammenlignelige med gennemsnitlige højbundsarealer, som udvasknings-estimerne baseres på. Dette medfører også store usikkerheder på effektopgørelsen i rodzoneudvaskningen på organisk lavbund. Da udvaskningen, i høj grad, er bestemt af potentialer for N-mineraliseringen af organisk bundet N, vil næringsstatus også have betydning for udvaskningsniveauer. På den anden side kan drænede organiske lavbundslande være vandmættede under det øverste jordlag i perioder pga. dårlig vandledningsevne (Petersen m.fl., 2020). Dette vil fremme denitrifikationen og reducere kvælstofudvaskningen. Balancen mellem processerne vil afhænge af lokale forhold og kan ikke kvantificeres på nuværende tidspunkt. Høst af biomasse fra ugødede organiske

lavbundslande forventes ikke at have en betydelig effekt på kvælstofudvaskning sammenlignet med betydningen af de hydrologiske forhold. Imidlertid mangler det empiriske grundlag for en kvalificeret vurdering.

På ugødet drænet organisk lavbund i græs antages i førnævnte videnssynthese, alene en effekt af ændret arealanvendelse på kvælstofudvaskningen, svarende til en reduktion på 45 kg N/ha/år i forhold til gødet jord i omdrift. Dette er et overordnet estimat behæftet med stor usikkerhed. Derudover antages mindre ammoniakfordampning på 10 N/ha/år i forbindelse med tiltaget.

**Table 1.** Gasformige tab af kulstof (C) fra organiske jorde i den tempererede klimazone for forskellige driftsformer af drænet jord før og efter vådlægningen (Wilson m.fl., 2016). Tabet af CH<sub>4</sub>-C inkluderer emissioner fra drængrøfter. Tabellen er gengivet fra Olesen m.fl. (2019).

Kategori	Gasformigt C tab fra organiske jorde (ton C/ha/år)					
	Drænet			Vådlagt		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C sum	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	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

### Kulstoflagring og klimagasser

I den nationale opgørelse af emissioner fra dybt drænet tørvejord antages, at der udledes 11,5 t C/ha/år fra jorde i omdrift, mens der udledes 8,4 t C/ha/år fra permanent græs. Disse tal hviler på et gennemsnit af et års danske studier udført i 2008-2009, der viste at nettoemissionen af CO<sub>2</sub> var mellem 7,0-16,7 t C/ha/år på arealer i omdrift (n = 5) og 6,9-10,4 ton C /ha/år på arealer med permanent græs (n = 3), dog uden signifikant statistisk forskel mellem de to driftsformer (Elsgaard m.fl., 2012). For dybt drænedede organiske jorde gælder endvidere, at der beregnes en fast emission af N<sub>2</sub>O (som relaterer sig til N frigivet ved mineralisering af organisk stof) på 6,1 og 3,8 ton CO<sub>2</sub>-eq/ha/år for jorde i henholdsvis omdrift og permanent græs (IPCC, 2014). Derudover angiver IPCC en standard emissionsfaktor på 1 % for tildelt N, således at der fx for tilførsel af 100 kg N/ha beregnes en lattergas emission på 1 kg N<sub>2</sub>O-N/ha. Herved kan betydningen af ændret N tilførsel estimeres. Emissionen af metan for begge driftsformer vil være begrænset på grund af den dybe grundvandstand.

Kulstoflagring i jord afhænger generelt af balancen mellem mineraliseringen af organisk kulstof i jord og kulstofforforslen med biomassen. I lavbundslande er dræningsgraden den centrale faktor, der kontrollerer mineraliseringen af organisk kulstof ved aerob respiration, da den er koblet til tilgængeligheden af ilt, som er styrende for tabet af organisk kulstof (Olesen m.fl., 2019). Så længe organiske lavbundslande drænes, tabes store mængder kulstof ved oxidation af tørv til CO<sub>2</sub>, uanset om de er i omdrift eller permanent græs (Wilson m.fl., 2016), omend der er en tendens til højere tab på dyrket jord (tabel 1, venstre side 'Drænet'). Jordbearbejdning i sig selv vurderes til kun at have en lille betydning for kulstoffabet fra organisk lavbund, og den angivne forskel på CO<sub>2</sub>-udledning fra omdrift og græs skyldes sandsynligvis, at vandstanden har været lidt højere på græsarealerne, selvom begge er angivet som drænet (Olesen m.fl., 2019). Derimod reducerer en vådlægning af organisk lavbund i høj grad gasformigt tab af kulstof uanset hvilken arealanvendelse, der har været før (tabel 1, højre side 'Vådlagt'). Tilbageførslen af kulstof til jord igennem afgrøder og planterester kan ikke kompensere for tabet ved mineraliseringen på drænedede organiske lavbundslande. Ved højt produktionsniveau i gødet flerårigt kløvergræs kan der antages en kulstoflagring på op til 1 t C/ha/år på

mineraljord (Olesen m.fl., 2013; Taghizadeh m.fl., 2014). Lignende antagelse er gældende for drænet organisk lavbund. På arealer med græs i omdrift er kulstoflagringen dog midlertidig og udgør kun få hundrede kg C/ha for et 5-årigt sædskifte, da jordbearbejdningen fremmer kulstoffrigivelse (Olesen m.fl., 2013). Denne potentielle ekstra kulstoflagring skal sammenholdes med et gasformigt kulstofftab, som ligger mellem 6 og 8 t C/ha/ha/år i permanent græs på intensivt drænet organisk lavbund (tabel 1; Elsgaard m.fl., 2012; Wilson m.fl., 2016; Kandel m.fl., 2018).

Olesen m.fl. (2019) konkluderede, at de danske undersøgelser på drænede organiske lavbunds-jorde ikke har påvist en klar forskel på den samlede nettoudledning af drivhusgasser mellem dyrkningssystemer med henholdsvis et-årige afgrøder og flerårig græs uden årlig jordbearbejdning. Lignende resultater rapporteres fra Sydsverige (Nordberg m.fl., 2016). Derfor forventes det, at slæt og biomassehøst på ugødede, drænede lavbundsarealer ikke påvirker drivhusgasemissionerne væsentligt, så længe dræningsstatus på arealerne ikke ændres.

Standardværdier for klimagasudledninger er endvidere opgjort for gennemsnitlig dyrkningspraksis i Danmark af Huchtings (2020). Her summeres gennemsnitlige lattergasemissioner i forbindelse med kvælstofgødskning og -tab til 1,2 ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter per hektar landbrugsareal og år. Dette antages som reduktionspotentialet for lattergasemissioner ved ophør af kvælstofgødskning på organisk lavbund i forbindelse med det påtænkte tiltag. Reduktionspotentialet er lavere end gennemsnittet for målte lattergasemissioner på græsarealerne på drænet organisk lavbund, der ikke fik tilført kvælstofgødning i måleperioden (Petersen m.fl., 2012; Kandel m.fl., 2018). Imidlertid fremmes lattergasemissionen af fluktuerende vandstand i jordprofilen, som er udbredt på drænet lavbundsjord.

Ophør af kvælstofgødskning reducerer emissionen af lattergas og dermed den samlede klimagasudledning, dog er den underordnet i forhold til det store kulstofftab ved fortsat dræning. Kun når tidligere drænede organiske lavbunds-jorde vådlægges, vil der kunne ske en netto-kulstoflagring og en markant reduktion i klimagasudledningen.

### **Biodiversitet**

På kort sigt forventes ingen effekt på biodiversitet (Blicher-Mathiesen m.fl., 2020). På længere sigt er forøget biodiversitet, som regel, forbundet med ophør af jordbearbejdning (Briones og Schmidt, 2017) og gødningstilførsel i kombination med næringsstofudpining af jorden ved fjernelse af biomasse (Ejrnæs m.f., 2014). Imidlertid har berigelsen af floraen og afledte effekter på andre organismer, typisk en lang tidshorizont, op til årtier. Positive effekter for rådyr, nogle fugle, samt honningbier og vilde bier opnås bedst ved slåning af brakarealer sidst i vækstsæsonen (Hoffmann m.fl., 2020). Desuden kan høstmetoden generelt medføre forstyrrelser og påvirke artsrigdommen negativt.

## **2. Betydning af antal og tidspunkt for slæt**

Biomassehøsten og dermed fosforfjernelsen vil kunne øges på organisk lavbund ved flere slæt om året, dog kræver det tilstrækkelig forsyning med næringsstoffer, især kvælstof (Nielsen m.fl., 2013; Lærke m.fl., 2020). Dette vil kunne opnås med kløvergræs. Hvis der ikke tilføres næringsstoffer efter første slæt, vil der kun være en ringe grad af genvækst, og den samlede biomassehøst samt fosforfjernelse vil næppe øges (Hille et al., 2018). Generelt vil fosforfjernelsen med biomassehøst være mest effektiv kort efter blomstringen, ultimo juni, når biomassen og fosforindholdet er på sit højeste på græsarealer.



### 3. Effekt af plantedække på fosforfjernelse og kulstoflagring

Ved et gødskningsforbud må det forventes, at regulær dyrkning af arealet opgives, hvis tiltaget anvendes over flere år. Som beskrevet under 1) kan der generelt opnås større biomassehøst og fosforfjernelse med permanent græs, især kløvergræsblandinger, end med almindelige markafgrøder i omdrift. Ved anvendelse af kløvergræsblandinger under drænedede forhold forventes kun lille merudvaskning af N (10 kg N/ha) fra rodzonen, i forhold til ugødet græs i renbestand, så længe der ikke forekommer jordbearbejdning ifm. omlægning (Olesen m.fl., 2016). Der kan dog muligvis forekomme forøget udledning af N<sub>2</sub>O, når organiske lavbundsjordene senere vådlægges, men størrelsen vil afhænge af de præcise hydrologiske forhold (jf. førnævnte vidensyntese). Pløjning har i sig selv en meget lille effekt på næringsstofudpining. Plantedække har kun relativt lille betydning for netto-kulstoflagring på drænet organisk lavbundsjord (Wilson m.fl., 2016).

### 4. Tiltag, der kan øge fosforfjernelse

I forsøg på moderat til dårligt drænedede organiske lavbundsjordene med græs eller vådbundsvegetation fandt Nielsen m.fl. (2013) en lille gennemsnitlig stigning i fosforfjernelse fra 12 til 14 kg P/ha/år i høstet materiale efter tildeling af mellem 58 til 109 kg kalium/ha årligt. Imidlertid var der stor forskel på effekten af kaliumtildeling på biomasseudbyttet for de forskellige arealer. Ligeledes steg behovet for kaliumgødsning til opretholdelse af høje biomasseudbytter med antallet af udpiningsår.

### 5. Sammenfatning

Årlig fosforfjernelse ved tiltaget høst af biomasse på ugødet, drænet organisk lavbundsjord, reducerer jordens fosforpulje i relativt ringe omfang over en kortere årrække. Derfor og i betragtning af en dynamisk omfordeling mellem fosforpuljerne, forventes effekten af tiltaget på fosfortabet at være beskednen mange steder. Der mangler det nødvendige datagrundlag for mere kvalificerede bud. Effekter af tiltaget er sammenfattet i nedenstående tabel 3.

**Table 3.** Sammenfattende effektvurdering for tiltaget slæt og fjernelse af biomassen på drænedede organiske lavbundslande, der ikke længere tilføres gødning. Det antages, at tiltaget er flerårigt og involverer en velvarende afgrøde, såsom græs. Effekterne vurderes for de tidligere arealanvendelser, omdrift og permanent græs, som er kendetegnet ved at være henholdsvis næringsrig og næringsfattig.

Effekt på:	Effektvurdering iht. førtilstand	
	Omdrift	Permanent græs
Fosforpulje i jord <sup>#</sup>	2340 kg Udpining 1. år: 20 kg P/ha/år Udpining 10. år: 12 kg P/ha/år P fjernelse 10 år: 140 kg P/ha (6%)	990 kg Udpining 1. år: 12 kg P/ha/år Udpining 10. år: 10 kg P/ha/år P fjernelse 10 år: 116 kg P/ha (12%)
Fosfortab	Kan på nuværende tidspunkt ikke kvantificeres; anses i gennemsnittet for beskeden over 10-årig periode; afhænger imidlertid dels af aktuel ændring af Fe:P forholdet i strømningslaget; lokalt vil udpiningen derfor kunne bidrage til tabsreduktion; potentiel ændring i Fe:P indhold kan indgå som vurderingskriterie.	Kan på nuværende tidspunkt ikke kvantificeres; anses i gennemsnittet for beskeden over 10-årig periode; afhænger imidlertid dels af aktuel ændring af Fe:P forholdet i strømningslaget; lokalt vil udpiningen derfor kunne bidrage til tabsreduktion; potentiel ændring i Fe:P indhold kan indgå som vurderingskriterie.
Kvælstoftab	Ophør af kvælstofgødsning forventes at have en mærkbar effekt, da N udvaskning under ugødet græs er lav; tørve-mineralisering kan muligvis bidrage til N udvaskning i mindre omfang; estimeret reduktion på N udvaskning på 45 kg N/ha/år; reduktionen varierer meget med tidligere sædskifte, jordbund og region af landet og er derfor usikker. ( <i>Vidensyntese om kulstofrig lavbundsland</i> )	Der forventes forholdsvis lav N udvaskning både før og efter udtagning og derfor ikke stor effekt af tiltaget på N udvaskning; estimeret reduktion i N udvaskning på 5 kg N/ha/år; reduktionen varierer meget med tidligere N gødningsniveau, jordbund og region af landet og er derfor usikker. ( <i>Vidensyntese om kulstofrig lavbundsland</i> )
Klimagasudledning	Fortsat store netto-kulstofstab, dog sandsynligvis lidt lavere end på omdriftsland; kulstoflagring i jord kan ikke kompensere for fortsat tørve-mineralisering; meget lav metanudledning; moderat lattergasemission med lavt bidrag til total klimagasemission. Med gældende danske emissionsfaktorer reduceres udledningen med 13,7 ton CO <sub>2</sub> -ækv./ha på tørvejord (>12 % kulstof) og ca. det halve for lande med 6-12% kulstof. Nyere forsøgsresultater indikerer dog, at denne effekt er overvurderet, hvis ikke vandstanden samtidig hæves. For kvantitative estimater henvises til kommende <i>Vidensyntese om kulstofrige lavbundslande</i>	Fortsat store netto-kulstofstab, dog sandsynligvis lidt lavere sammenholdt med omdriftsland; kulstoflagring i jord kan ikke kompensere for fortsat tørve-mineralisering; meget lav metanudledning; moderat lattergasemission med lavt bidrag til total klimagasemission. Sparet N gødning giver blot en reduktion på 0,5 ton CO <sub>2</sub> -ækv./ha når gødningsniveauet reduceres med 100 kg N. Der forventes ikke andre reduktioner, hvis ikke vandstanden samtidig hæves. For kvantitative estimater henvises til kommende <i>Vidensyntese om kulstofrige lavbundslande</i>
Biodiversitet	Svagt stigende.	Uændret eller svagt stigende.

<sup>#</sup>Totalfosfor 0-50 cm laget

## Referencer

- Andersen, H.E., Baatrup-Pedersen, A., Blicher-Mathiesen, G., Christensen, J.P., Heckrath, G., Nordemann Jensen, P. (red.), Vinther, F.P., Rolighed, J., Rubæk, G. & Søndergaard, M. 2016. Redegørelse for udvikling i landbrugets fosforforbrug, tab og påvirkning af Vandmiljøet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 86 s. - Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 77.
- Andersen, H.E., Petersen, R.J. 2020. Oversigt over målinger af fosfortab fra dyrket organisk lavbundsjord. s. 152-153. H.E. Andersen & G. Heckrath (red.) Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 340 s. - Videnskabelig rapport nr. 397.
- Beucher, A., Greve, M.H. 2020. Kortlægning af relevante jordparametre for fosformobilisering i dyrkede, organiske lavbundsjord. s. 75-86. H.E. Andersen & G. Heckrath (red.) Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 340 s. - Videnskabelig rapport nr. 397.
- Blicher-Mathiesen, G., Olesen, J.E., Strandberg, B., Bruus, M., Rubæk, G.H., Hutchings, N.J., Hasler, B., Martinsen, L. 2020. Permanent udtagning og kortvarig brak i omdrift. s. 115-126. Eriksen, J., Thomsen, I. K., Hoffmann, C. C., Hasler, B., Jacobsen, B. H. 2020. Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. 452 s. – DCA rapport nr. 174.
- Briones, M.J.I., Schmidt, O. 2017. Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global Change Biology* 1-24. DOI: 10.1111/gcb.13744
- Børgesen, C.D., Jensen, P.N., Blicher-Mathiesen, G., Schelde, K. (redaktører) 2013. Udviklingen i kvælstofudvaskning og næringsstof-overskud fra dansk landbrug for perioden 2007-2011. Evaluering af implementerede virkemidler til reduktion af kvælstofudvaskning samt en fremskrivning af planlagte virkemidlers effekt frem til 2015. DCA rapport nr. 31.
- Børgesen, C.D., Sørensen, P., Blicher-Mathiesen, G., Kristensen, K.M., Pullens, J.W.M., Zhao, J., Olesen, J.E. 2019. NLES5 – An empirical model for predicting nitrate leaching from the root zone of agricultural land in Denmark. DCA Report No. 163.
- Buttenschøn, R.M. (2007): Græsning og høslæt i naturplejen. Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen og Center for Skov, Landskab og Planlægning, Københavns Universitet, Hørsholm, 2007. 250 s.
- Ejrnæs, R., Nygaard, B., Strandberg, M. 2014. Forbedring af naturtilstand og biodiversitet efter ophør af gødskning og sprøjtning af 53-arealer. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. 27. november 2014.
- Elsgaard L, Görres, CM, Hoffman, CC, Blicher-Mathiesen, G, Schelde K, Petersen SO, 2012. Net ecosystem exchange of CO<sub>2</sub> and carbon balance for eight temperate organic soils under agricultural management. *Agriculture Ecosystems and Environment* 162, 52-67.
- Forsmann, D.M., Kjærgaard, C. 2014. Phosphorus release from anaerobic peat soils during convective discharge — Effect of soil Fe:P molar ratio and preferential flow. *Geoderma* 223-225, 21-32.

- Geurts, J.J.M., Smolders, A.J.P., Verhoeven, J.T.A., Roelofs, J.G.M., Lamers, L.P.M., 2008. Sediment Fe:PO<sub>4</sub> ratio as a diagnostic and prognostic tool for the restoration of macrophyte biodiversity in fen waters. *Freshwater Biol.* 53, 2101–2116.
- Heckrath, G., Florea, A.F., Zak, D., Hansen, H.C.B. 2020. Fosfor i organisk lavbundsjord. s. 62-74. H.E. Andersen & G. Heckrath (red.) Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 340 s. - Videnskabelig rapport nr. 397.
- Hille, S., Graeber, D., Kronvang, B., Rubæk, G.H., Onnen, N., Molina-Navarro, E., Baattrup-Pedersen, A., Heckrath, G.J., Stutter, M.I., 2018. Management options to reduce phosphorus leaching from vegetated buffer strips. *Journal of Environmental Quality* 48, 322-329.
- Hoffmann, C.C., Zak, D., Strandberg, B., Bruus, M., Hutchings, N. 2020. s. 161-168. Andersen, H.E., Rubæk, G.H., Hasler, B. & Jacobsen, B.H. (redaktører). 2020. Virkemidler til reduktion af fosforbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 284 s. - Videnskabelig rapport nr. 379.
- Hutchings, N.J. 2020. Klimagasser. S. 440-445. Eriksen, J., Thomsen, I. K., Hoffmann, C. C., Hasler, B., Jacobsen, B. H. (redaktører) 2020. Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. DCA rapport nr. 174.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National greenhouse gas inventories: Wetlands.
- Jenkinson, D.S., Potts, J.M., Perry, J.N., Barnett, V., Coleman, K., Johnston, A.E. 1994. Trends in herbage yields over the past century on the Rothamsted Long-term Continuous Hay Experiment. *J. Agricultural Science, Cambridge* 122, 365-374.
- Kandel, T., Lærke, P.E., Elsgaard, L. 2018. Annual emissions of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O 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* 256–257, 470–481.
- Kasimir-Klemedtsson, Å., Klemedtsson, L., Berglund, K., Martikainen, P., Silvola, J., and Oenema, O. 1997. Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: A review. *Soil Use Management* 13, 245–250.
- Kjærsgaard, C., Hoffmann, C.C., Heiberg, L., Hansen, H.C.B., Jensen, H., Greve, M. 2010. Risiko for fosfortab ved reetablering af vådområder? *Vand & Jord* 17(2), 58-62.
- Larsen, S., Jørgensen, U., Lærke, P. 2016. Biomass Yield and N Uptake in Tall Fescue and Reed Canary Grass Depending on N and PK Fertilization on Two Marginal Sites in Denmark. *Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World*, Springer, s. 233-242.
- Lærke, P.E., Strandberg, B., Bruus, M. 2020. Paludikultur. s. 156-160. Andersen, H.E., Rubæk, G.H., Hasler, B. & Jacobsen, B.H. (redaktører). 2020. Virkemidler til reduktion af fosforbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 284 s. - Videnskabelig rapport nr. 379.
- Maljanen, M., Sigurdsson, B. D., Guðmundsson, J., Óskarsson, H., Huttunen, J. T., and Martikainen, P. J. 2010. Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps. *Biogeosciences*, 7, 2711–2738.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of higher Plants. Academic Press, London.

- Nielsen, A.L., Hald, A.B., Larsen, S.U., Lærke, P.E. and Møller, H.B., 2013. Potassium as a means to increase production and NP-capture from permanent grassland on organic soil, The role of grasslands in a green future: threats and perspectives in less favoured areas. Proceedings of the 17th Symposium of the European Grassland Federation, Akureyri, Iceland, 23-26 June 2013. Agricultural University of Iceland, pp. 569-571.
- Norberg, L., Berglund, Ö., Berglund, K. 2016. Seasonal nitrous oxide and methane fluxes during the growing season from cultivated peat soils, peaty marl and gyttja clay under different cropping systems. *Acta Agric. Scand. Sect. B: Plant Soil* 66, 602-612.
- Olesen J.E., Jørgensen U., Hermansen J.E., Petersen S.O., Eriksen J., Søegaard K., Vinther F.P., Elsgaard L., Lund P., Nørgaard J. V. & Møller H.B. 2013. Effekter af tiltag til reduktion af landbrugets udledninger af drivhusgasser. DCA Rapport 27.
- Olesen, J.E., Jørgensen, U., Hermansen, J.E., Petersen, S.O., Søegaard, K., Eriksen, J., Schjøning, P., Greve, M.H., Greve, M.B., Thomsen, I.K., Børgesen, C.D., Vinther, F.P. 2016. Græsdyrknings klima- og miljøeffekter. DCA notat. Aarhus Universitet.
- Olesen, J.E., Greve, M.H., Elsgaard, L., Lærke, P.E., Dalgaard, T. 2019. CAP2020 analyse om muligheder for beskyttelse af tørvejorde. DCA notat. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.
- Petersen, R.J., Prinds, C., Iversen, B.V., Kjærgaard, C. 2018. Fosfortab fra våde lavbundslande. *Vand & Jord* 25(3), 131-134.
- Petersen, R.J., Prinds, C., Iversen, B.V., Engesgaard, P., Jessen, S., Kjærgaard, C. 2020a. Riparian lowlands in clay till landscapes, Part I: Heterogeneity of flow paths and water balances. *Water Resources Research* 56(4) doi.org/10.1029/2019WR025808.
- Schoumans, O.F., Chardon, W. 2015. Phosphate saturation degree and accumulation of phosphate in various soil types in The Netherlands. *Geoderma* 237-238, 325-335.
- Sørensen, P., Poulsen, H.D., Rubæk, G.H., Vinther, F.P. 2019. Udredning om anvendelse af gødning i dansk landbrug i relation til indførslen af fosforlofter. DCA Rapport nr. 160.
- Taghizadeh-Toosi, A., Olesen, J. E., Kristensen, K., Elsgaard, L., Ystergaard, H. S., Lægdsmand, M., Greve, M. H. & Christensen, B. T. (2014). Changes in carbon stocks of Danish agricultural mineral soils between 1986 and 2009. *European Journal of Soil Science* 65, 730-740.
- Thøgersen, R. og Kjeldsen, A.M. 2018. Grovfoder 2018.
- Van de Riet, B., Hefting, M., 2013. Rewetting drained peat meadows: risks and benefits in terms of nutrient release and greenhouse gas exchange. *Water Air Soil Pollut.* 224, 1440.
- Vinther, F.P. 2011. Fosforbortførsel med afgrøder i Standardsædskifter. Internt notat, Institut for Jordbrugsproduktion og Miljø, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet.
- Walton, C.R., Zak, D., Audet, J., Petersen, R.J., Lange, J., Oehmke, C., Wichtmann, W., Kreyling, J., Grygoruk, M., Jabłońska, E., Kotowski, W., Wiśniewska, M.M., Ziegler, R., & Hoffmann, C.C. 2020. Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention: Impacts of soil type, hydrology and vegetation. *Science of Total Environment*: 138709.
- 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.

Zak, D., Gelbrecht, J., Wagner, C., Steinberg, C.E.W., 2008. Evaluation of phosphorus mobilisation potential in rewetted fens by an improved sequential chemical extraction procedure. *European Journal of Soil Science* 59, 1191–1201.

Zak, D., Wagner, C., Payer, B., Augustin, J., & Gelbrecht, J. 2010. Phosphorus mobilization in rewetted fens: The effects of altered peat properties and implications for their restoration. *Ecological Applications* 20, 1336–1349.

Zak, D., Gelbrecht, J., Zerbe, S., Shatwell, T., Barth, M., Cabezas, A., Steffenhagen, P. 2014. How helophytes influence the phosphorus cycle in degraded/inundated peat soils – Implications for fen restoration. *Ecological Engin*