

UDREDNING OM ANVENDELSE AF GØDNING I DANSK LANDBRUG I RELATION TIL INDFØRSLEN AF FOSFORLOFTER

PETER SØRENSEN, HANNE DAMGAARD POULSEN, GITTE HOLTON RUBÆK, FINN PILGAARD
VINTHER, BIRGER FAURHOLT PEDERSEN OG IB SILLEBAK KRISTENSEN

DCA RAPPORT NR. 160 • AUGUST 2019



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



UDREDNING OM ANVENDELSE AF GØDNING I DANSK LANDBRUG I RELATION TIL INDFØRSLEN AF FOSFORLOFTER

DCA RAPPORT NR. 160 • AUGUST 2019



Seniorforsker Peter Sørensen¹⁾, professor Hanne Damgaard Poulsen²⁾, lektor Gitte Holton Rubæk¹⁾, akademisk medarbejder Finn Pilgaard Vinther¹⁾, akademisk medarbejder Birger Faurholt Pedersen¹⁾ og seniorforsker Ib Sillebak Kristensen¹⁾

Aarhus Universitet

Institut for Agroøkologi¹⁾

Blichers Allé 20

Postboks 50

8830 Tjele

Institut for Husdyrvidenskab²⁾

Blichers Allé 20

Postboks 50

8830 Tjele

UDREDNING OM ANVENDELSE AF GØDNING I DANSK LANDBRUG I RELATION TIL INDFØRSLEN AF FOSFORLOFTER

Serietitel og nummer:	DCA rapport nr. 160
Udgivelsesår:	2019
Forfatter(e):	Seniorforsker Peter Sørensen, professor Hanne Damgaard Poulsen, lektor Gitte Holton Rubæk, akademisk medarbejder Finn Pilgaard Vinther, akademisk medarbejder Birger Faurholt Pedersen og seniorforsker Ib Sillebak Kristensen
Rekvirent:	Miljø- og Fødevareministeriet. Myndighedsbesvarelse
Finansiering:	Rapporten er udarbejdet som led i "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening af Miljø- og Fødevareministeriet med underliggende styrelser 2019-2022
Fagfællebedømmelse:	Professor Bent Tolstrup Christensen, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet
Ekstern kommentering:	Et udkast af rapporten fra 2018 har været kommenteret af Miljø- og Fødevareministeriet.
Udgiver:	DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Blichers Allé 20, postboks 50, 8830 Tjele. Tlf. 8715 1248, e-mail: dca@au.dk , hjemmeside: www.dca.au.dk
Layout:	Jette Illkjær, DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet
Fotos omslag:	For- og bagsidefoto: Anker K. Vestergaard, Varde Maskinstation
Tryk:	Digisource.dk
Udgivelsesår:	2019
ISBN:	Trykt version 978-87-93787-14-8, elektronisk version 978-87-93787-15-5
ISSN:	2245-1684
Emneord:	Fosforlofter, fosforoverskud, fosfor i husdyrgødning, fosfor i afgrøder, normtal, plantetilgængelighed

DCA rapporter er frit tilgængelige i pdf-format på dca.au.dk

Forord

Husdyrloven blev ændret i 2017, og det medførte ændringer i reguleringen af kvælstof og fosfor i Danmark, og der blev indført såkaldte fosforlofter. Denne udredning er udarbejdet på foranledning af en bestilling fra Miljø- og Fødevareministeriet som opfølgning på bemærkninger til ændringen af husdyrbrugsloven i 2017. Overordnet set skal reguleringen af fosfor sikre, at der ikke sker en uhensigtsmæssig ophobning af fosfor i landbrugsjorden.

Formålet med denne udredning er dels at præsentere aktuel viden og baggrundsmateriale, der kan indgå som grundlag til fremtidig fastsættelse af fosforlofter efter 2021, dels at identificere behovet for ny viden.

Rapporten indeholder således opdateret viden om udskillelsen af fosfor fra forskellige husdyr- og staldtyper. Der er lavet en vurdering af, hvad de nye fosforlofter betyder for forskellige husdyrkatégorier. Endvidere samler rapporten opdateret viden om bortførsel af fosfor med forskellige afgrødetyper og i forskellige sædskifter. Tilgængeligheden af fosfor i forskellige typer organisk gødning er beskrevet, og den langsigtede effekt af fosfor i husdyrgødning er vurderet. Muligheder for at erstatte mineralsk fosfor i startgødning er endvidere behandlet.

Rapporten har været fagligt kommenteret af professor Bent Tolstrup Christensen, Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.

Rapporten er udarbejdet som en del af "Aftale mellem Aarhus Universitet og Miljø- og Fødevareministeriet om udførelse af forskningsbaseret myndighedsbetjening m.v. ved Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, 2018-2021."

Niels Halberg

Direktør DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug

Indhold

Forord	3
Resume	7
English summary	9
1. Introduktion	11
2. Evaluering af fosforlofterne.....	13
2.1. Beregning af normtal for indhold af kvælstof og fosfor i husdyrgødning	13
2.2. Kvælstof og fosfor i forskellige typer husdyrgødning.....	14
2.3. Betydning af forskelle i forholdet mellem kvælstof og fosfor i husdyrgødning	16
2.4. Det samlede indhold af fosfor i husdyrgødning i Danmark.....	17
2.5. Vurdering af brug og effekt af korrektionsformler for 'type 2' på den enkelte bedrift.....	17
2.6. Evaluering af fosforlofter på landsplan	19
2.7. Hvordan har landbruget ageret i praksis i forhold til nye fosforlofter	21
2.8. Udfordringer med fosforlofter på biogasanlæg	22
3. Fjernelse af fosfor med afgrøder	24
3.1. Datagrundlag.....	24
3.2. Bortførelse af fosfor på afgrødeniveau.....	25
3.3. Afgrødernes fosforbehov og retningsgivende normer for fosfor.....	28
3.4. Fosfor bortførelse på sædskifteniveau.....	29
3.5. Markbalancer	33
3.6. Fosfor i afgrøder dyrket ved forskellig tilførelse af fosforgødning i mere end 15 år	35
4. Alternative muligheder for anvendelse af startgødning i majs	41
5. Fosfor tilgængelighed i forskellige husdyrgødningstyper	43
5.1. Tilgængelighed af fosfor på kort sigt	43
5.2. Tilgængelighed af fosfor på længere sigt	45
Referencer.....	48
Appendiks 1	52
Appendiks 2	54
Appendiks 3	55

Resume

Fra 1. august 2017 er der i Danmark indført lofter for, hvor meget fosfor (P) der må tilføres på landbrugsbedrifter med mineralske og organiske gødninger. Disse lofter er indført i forbindelse med fjernelsen af de skærpede harmonikrav (1,4 DE/ha svarende til 140 kg N/ha), der før 1. august 2017 udgjorde en indirekte begrænsning af tildelingen med fosfor fra organisk gødning. Fosforlofterne erstatter også de tidligere krav til fosforoverskuddet i forbindelse med miljøgodkendelsen af husdyrbrug. Fosforlofterne begrænser lokal ophobning af fosfor i landbrugsjorden, der på længere sigt kan medføre øget risiko for tab af fosfor til vandmiljøet.

Denne rapport giver en opdateret opgørelse af, hvor meget fosfor husdyrarterne udskiller i husdyrgødningen samt af forholdet mellem fosfor og kvælstof (N) i husdyrgødningen. Med de nye fosforlofter har forholdet mellem kvælstof og fosfor (N/P-forholdet) i gødningen fået afgørende betydning for, hvilket af næringsstofferne der er begrænsende for, hvor meget husdyrgødning der kan udbringes på harmoniarealet. N/P-forholdet i forskellige typer husdyrgødning varierer ganske betydeligt fra 2,7 til 9,3 (beregnete værdier). En evaluering af fosforlofterne på landsplan viser, at især fjerkræ- og pelsdyrbedrifter får brug for et øget harmoniareal med stigninger i arealkravet på 40-50%, hvis mængden af udbragt gødning fra bedrifterne skal fastholdes.

De nye fosforlofter giver problemer for kvægbedrifter, der får gyllen afgasset på biogasanlæg, idet den afgassede biomasse ofte har et lavere N/P-forhold end ubehandlet kvæggylle. Det medfører, at kvægbedrifter ikke kan anvende så meget kvælstof, når de bruger afgasset gylle, som når de anvender ubehandlet gylle. Omvendt kan biogasanlæg potentielt have en vigtig rolle ved omfordeling af næringsstoffer i husdyrgødning.

Undtagelsesbrug (kvægbedrifter der kan udbringe op til 230 kg N/ha i husdyrgødning) vil med de nye fosforlofter ikke kunne anvende mineralsk fosforgødning til startgødning af majs uden at skulle afsætte en større del af husdyrgødningen til andre bedrifter. Nye forsøgsresultater fra markforsøg har dog vist, at den mineralske startgødning til majs kan udelades, hvis gyllen placeres umiddelbart før såning. Endvidere har forsøgene vist, at gødningsvirkningen af placeret gylle på nogle jordtyper kan øges ved forsuring eller tilsætning af nitrifikationshæmmer. Det forventes, at en sådan praksis forholdsvis nemt kan implementeres med anvendelsen af GPS og nyudviklet udstyr til nedfældning og placering af gylle i majs.

Der er lavet en opgørelse af, hvor meget fosfor der fjernes med afgrøder på forskellige bedriftstyper. På kvægbedrifter er beregnet en gennemsnitlig bortførsel på 19-26 kg P/ha, afhængig af jordtype og sædskifte. På planteavl- og svinebedrifter er der beregnet en bortførsel varierende fra 15-28 kg P/ha. Med fosforlofter på 30-35 kg P/ha opstår der derfor betydelige forskelle i fosforoverskud på de enkelte bedrifter, hvis der tildeles fosfor helt op til loftet.

Fosforkoncentrationen i afgrøder varierer fra år til år, men for kornafgrøderne påvirkes fosforkoncentrationen i kernen ikke nævneværdigt af fosforgødningsniveau. Bortførslen af fosfor med kerne vil derfor først og fremmest afhænge af udbyttet. Udbyttene på bedrifterne er derfor meget afgørende for overskuddets størrelse. Koncentrationen af fosfor i halm er betydeligt lavere end i kerne og er lidt mere påvirket af fosforgødsning og af fosforstatus i jorden. Fosforkoncentrationen i græs og kløvergræs til slæt, i roer og i kartofler påvirkes moderat af fosforgødsning og bortførslen af fosfor med disse afgrøder vil både afhænge af udbyttets størrelse og af fosforgødsning.

Plantetilgængeligheden af fosfor i husdyrgødning kan umiddelbart efter tilførslen være lavere end tilgængeligheden af mineralsk fosforgødning. Dette har dog oftest ingen betydning, idet langt størstedelen af afgrødens fosforbehov dækkes af jordens fosforpuljer. Forskelle i tilgængelighed af fosfor i henholdsvis kvæg-, svine-, fjerkræ- og minkgødning er beskedne. Målinger af opløseligt fosfor i jorden og af majsudbytter i et langvarigt forsøg, hvor der over en meget lang periode er tilført fosfor med enten husdyr- eller handelsgødning, viser, at tilgængeligheden af fosfor i husdyr- og handelsgødning er ens.

Summary

From the fertilizer year 2017-18, Denmark has implemented restrictions on the annual amount of phosphorus (P) applicable to agricultural land in mineral and organic fertilizers. These restrictions are termed P ceilings and introduced to prevent accumulation of phosphorus in agricultural soils as excessive soil P levels increase the potential for loss of P to the aquatic environment.

This report provides updated estimates of P quantities excreted in manure from different livestock species as well as the P to nitrogen (N) ratio in the manures. The general ceiling already introduced for N applied with animal manure is 170 kg N/ha. The ceilings introduced for P may limit the amount of N applied in manure as the manure N/P ratio now defines the quantity of manure allowed per hectare. The N/P ratio in livestock manure varies considerably (from 2.7 to 9.3). An evaluation of the P ceilings at national level reveals that, in particular, poultry and fur farms will need an increased area for manure application (the so-called harmony area). Manure produced on these farms may require a 43-51% increase in application area.

For biogas plants, the P ceilings can cause problems especially for cattle farms as the digested slurry returned to the farm often has a lower N/P ratio than cattle slurry. This means that dairy farms can apply less N in digested manure than could be applied in the untreated slurry. However, biogas plants may potentially play an important role in a wider redistribution of nutrients in livestock manure.

Dairy farms under the current derogation rules may apply up to 230 kg N/ha in manure. The P ceilings imply that these farms will no longer be able to use mineral P as starter fertilizer for maize without having to allocate a larger proportion of their manure to other farms. However, recent results from field experiments have shown that direct injection of slurry close to maize rows immediately before sowing may replace mineral P in starter fertilizer. A relatively smooth implementation of this practice is expected when applying GPS and newly developed equipment for placement of slurry in maize crops.

An inventory has been made of potential crop removal of P on different types of farms in Denmark. For cattle farms, an average removal of 19-26 kg P/ha is calculated, depending on soil type and crop rotation. For plant and pig farms, crop removal varies 15-28 kg P/ha. Even with P ceilings, there are significant differences in P surplus among individual farms, the yield level being decisive for the size of the surplus.

The concentration of P in cereal grain is almost unaffected by the level of P fertilization and plant-available soil P (soil P test value). In contrast, greater availability of soil P increases the P concentration in straw and grass/forage crops increasing the removal of P in harvested products.

Generally, plant availability of P in livestock manure is lower than that of P added with mineral fertilizer when determined shortly after application. However, this is usually of minor significance as the majority of the P needed by the crop derives from the soil P pool. Differences in the availability of P in manure from

cattle, swine, poultry, and mink are modest. Measurements in a long-term field experiment with long continued addition of P in either manure or mineral fertilizer show similar P availability in the long-term regardless of source.

1. Introduktion

Denne udredning er udarbejdet på foranledning af en bestilling fra Miljø- og Fødevarerministeriet (Appendiks 1) som opfølgning på bemærkninger til ændringen af husdyrbrugsloven i 2017. Der skal gennemføres en faglig udredning og evaluering af fosforlofter for husdyrgødning fra de forskellige husdyrkategorier. Evalueringen skal ske på baggrund af bl.a. nyeste viden og teknologiske muligheder, herunder viden om brug af startgødning, tilgængelighed af fosfor i forskellige typer af husdyrgødning og bortførelse af fosfor med forskellige sædskifter. Formålet med udredningen er at samle viden og baggrundsmateriale, der både kan indgå som grundlag til fremtidig fastsættelse af fosforlofter efter 2021 og kan bidrage til at identificere behovet for ny viden og udvikling af nye projekter.

Med ændringen af husdyrloven (L 114, Forslag til lov om ændring af lov om miljøgodkendelse m.v. af husdyrbrug, lov om miljøbeskyttelse, lov om jordbrugets anvendelse af gødning og om plantedække og forskellige andre love) er harmonikravene ændret, idet der nu er samme grænse for tilførelse af kvælstof (170 kg N/ha) for alle husdyrkategorier. Samtidigt er indført såkaldte fosforlofter for forskellige gødningstyper, som begrænser den maksimale tilførelse af fosfor til harmoniarealet. Der er samtidigt indført skærpede fosforlofter i særlige områder med større risiko for skader i vandmiljøet ved tab af fosfor (Tabel 1.1). Etablering af fosforlofter skal forhindre, at der ophobes meget store fosforoverskud på nogle arealer. Samtidigt skal der sikres en omfordeling af husdyrgødning mellem bedrifter, hvor der tages højde for gødningens fosforindhold. Med den ændrede husdyrbrugslov forventes det derfor, at tilførelsen af fosfor på længere sigt bliver mere jævnt fordelt på det samlede dyrkningsareal. Bedrifter med husdyrkategorier, hvor husdyrgødningen har et højt indhold af fosfor i forhold til kvælstof, får krav om at nedbringe tilførelsen af fosfor i forhold til de tidligere tilladte mængder. Tilførelsen af fosfor har hidtil indirekte været reguleret via den maksimale tilladte tilførelse af kvælstof med husdyrgødningen, dvs. særligt de skærpede harmonikrav på 1,4 DE/ha svarende til 140 kg N/ha. Ændringen af husdyrbrugsloven betyder, at der midlertidigt frem til 2020 er mulighed for at udbringe mere husdyrgødning fra slagtesvin i nogle områder.

Hensigten med fosforlofterne er at reducere fosforoverskuddet på de landbrugsarealer, hvor der er sket og stadig sker en betydelig ophobning af fosfor. På længere sigt vil en fortsat ophobning af fosfor i jorden betyde, at jordens kapacitet for binding af fosfor falder, og risikoen for udvaskning af fosfor til vandmiljøet stiger (Heckrath et al., 1995; Kronvang et al., 2009). En forhøjet koncentration af fosfor i det øverste lag af landbrugsjorden øger også de fosfortab, der kan ske i forbindelse med vand- og vinderosion. På kort sigt forventes indførelsen af fosforlofter dog ikke at have direkte betydning for tab af fosfor til vandmiljøet, da langt størstedelen af fosfortabet sker fra jordens fosforpulje, som samlet set ikke umiddelbart ændres med fosforlofterne. Der kan også ske mindre, direkte tab fra tilført gødning. Her kan timing og udbringningsmetode for gødningen have en betydning lokalt for direkte tab af gødningsfosfor, idet risikoen for sådanne tab reduceres betydeligt ved direkte nedfældning eller hurtig indarbejdning af husdyrgødning i jorden (Glaesner et al., 2011; Sørensen og Jensen, 2013). I voksende afgrøder med overfladeudbringning har det

betydning, om udbringning sker i perioder med kraftigt nedbør og overfladisk afstrømning (Hahn et al., 2012; Uusi-Kamppa and Heinonen-Tanski, 2008).

En bedre fordeling af fosfor forventes på landsplan at medføre en bedre udnyttelse af fosfor. Set fra en ressourcevinkel er det hensigtsmæssigt for at skabe en større, samlet udnyttelse af fosfor i jord og gødning.

En ulempe ved fosforlofterne er, at nogle bedrifter får større omkostninger og energiforbrug til transport af husdyrgødning over større afstande. For disse bedrifter betyder det endvidere en merudgift til indkøb af kvælstof i handelsgødning til erstatning af den reducerede mængde kvælstof, der kan udbringes med husdyrgødning på grund af fosforlofterne og husdyrgødningens N/P-forhold. Til gengæld kan bedrifter, der modtager husgødningen, spare tilsvarende på indkøb af handelsgødning (kvælstof og fosfor).

Tabel 1.1. Oversigt over vedtagne generelle (Gen) og skærpede (Sk) fosforlofter for forskellige kategorier af gødning frem til 2022, samt det gennemsnitlige beskyttelsesniveau beregnet for fosfor, angivet som kg P/ha (Folketingstidende, 2017).

Gødningstype	Før 1. august 2017 Harmonikrav og skærpet harmonikrav*	Fosforlofter fra 1. august 2017 (skærpet fra 1. august 2018)		Fosforlofter fra 1. august 2019		Fosforlofter fra 1. august 2020		Fosforlofter fra 1. august 2022		Fosforlofter fra 1. august 2025	
		Gen	Sk	Gen	Sk	Gen	Sk	Gen	Sk	Gen	Sk
Fjerkræ og pelsdyr	45-55 og 43	43	30	35	30	35	30				
Slagtesvin	33,5	39	30	39	30	35	30				
Søer og smågrise	34 og 37	35	30	35	30	35	30				
Kvæg, får og geder	27 for kvæg	30	30	30	30	30	30				
Kvæg omfattet af kvægundtagelsen (230 kg N/ha)	36	35	35	35	35	35	35				
Organisk affald og handelsgødning	30	30	30	30	30	30	30				
Gennemsnitligt beskyttelsesniveau (kun for husdyrgødning)	32,2**	34,7 ***		34,1		33,2		32-33		30-31	

*) Indirekte reguleret via grænser for kg N/ha i husdyrgødning

***) inklusiv P-klasser

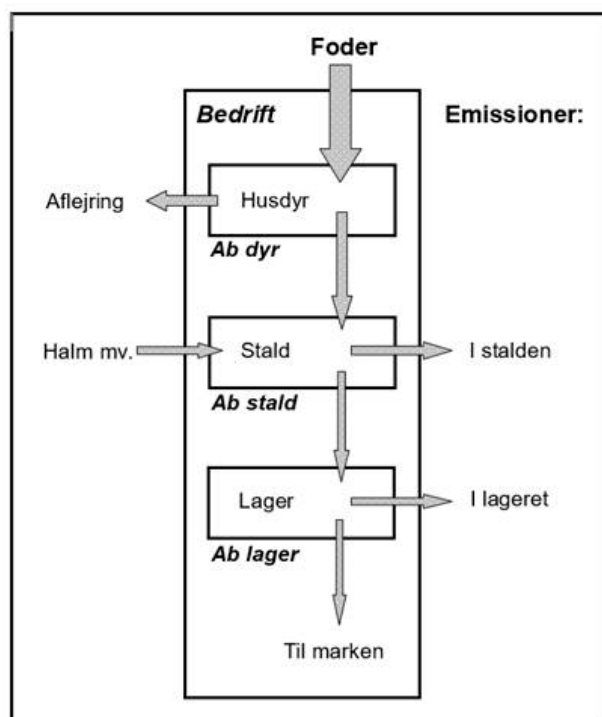
***) fra 2018

2. Evaluering af fosforlofterne

2.1. Beregning af normtal for indhold af kvælstof og fosfor i husdyrgødning

Indholdet af kvælstof (N) og fosfor (P) i husdyrgødning afhænger overordnet af husdyrart/-kategori, gødningstype, staldsystem og lagringsforhold. Alle forhold har betydning for, hvor meget fosfor og kvælstof der findes i husdyrgødningen til udbringning på markerne (*ab lager*). Derudover har fodring og produktivitet stor betydning for udskillelsen af næringsstofferne (*ab dyr*), og udskillelsen varierer derfor meget mellem husdyrarter og mellem de forskellige kategorier inden for husdyrarten.

Beregning af normtal for husdyrgødningens indhold af fosfor og kvælstof gennemføres i tre trin: *ab dyr*, *ab stald* og *ab lager* (Poulsen *et al.*, 2006) og beregnes for alle husdyrkategorier opdelt på staldtyper og gødningssystemer (Poulsen, 2017).



Figur 2.1. Næringsstofflowet på en bedrift kan beregnes i tre trin: *ab dyr*, *ab stald* og *ab lager*. Figuren viser de principper og de faktorer, der indgår ved beregningen af indholdet af næringsstoffer i husdyrgødning. De nyeste værdier fremgår af Poulsen, 2017 (<http://www.anis.au.dk/>). Værdierne opdateres årligt i takt med, at der sker ændringer i viden om de enkelte elementer som f.eks. foderets indhold, produktivitet, ydelse, emissionstab mv. Endvidere etableres værdier for nye stald- og gødningssystemer, når nye typer tages i anvendelse.

Beregningen af indhold af kvælstof og fosfor i husdyrgødningen følger de viste principper og beregnes på baggrund af gennemsnitsværdier. Den enkelte husdyrproducent har dog mulighed for at korrigere normtallet, hvis producenten kan dokumentere, at husdyrene på bedriften får foder med et andet kvælstof- og/eller fosforindhold eller har en anden mælkeydelse eller tilvækst. Derfor er der i normtalssystemet etableret korrektionsformler kaldet 'type 1' og 'type 2' korrektionsfaktorer (se Faktaboks).

FAKTABOKS

Definition og brug af korrektionsfaktorer

'Type 1' korrektion bruges ved afvigende ydelses- og produktionsniveau ift. standardforudsætningerne (normtal). Kvælstof- og fosformængden **skal** korrigeres ved afvigende produktionsniveau (ind- og/eller afgangsvægt eller alder), mens der **kan** korrigeres ved afvigende mælkeydelse (kg energi-korrigeret mælk).

'Type 2' korrektion bruges, hvis både ydelses-/produktionsniveau og fodermængde eller -sammensætning afviger fra standardforudsætningerne. Der **kan** korrigeres.

Der må kun anvendes én af de to typer korrektioner.

Af faktaboksen fremgår, at der i nogle tilfælde **skal** korrigeres ved afvigende ydelses- og produktionsniveau, mens der i andre tilfælde **kan** korrigeres. Det fremgår også, at der er krav om korrektion af kvælstof- og fosformængden i husdyrgødningen ved afvigende produktionsniveau ('type 1'), mens der ikke er krav om 'type 2' korrektion ved afvigende produktions-/ydelsesniveau samt fodermængde og -sammensætning (Landbrugsstyrelsen, 2018).

2.2. Kvælstof og fosfor i forskellige typer husdyrgødning

Udredningen tager udgangspunkt i normtalsarbejdet i 2017 (planperioden 1. august 2017 til 31. juli 2018), og de beregnede normtal for indhold af kvælstof og fosfor samt N/P-forholdet er vist for en række husdyrkategorier i Tabel 2.1. Tabellen viser desuden den beregnede mængde fosfor, der 'følger med' 170 henholdsvis 230 kg N i husdyrgødningen. Der er kun beregnet for 230 kg N/ha for kvæg på undtagelsesbrug, idet det kun er relevant med en tilførsel på 170 kg N/ha for de øvrige husdyrarter. Nævnte værdier er beregnet for de mest udbredte staldtyper inden for husdyrkategori med henblik på at vurdere, om der er væsentlige forskelle mellem stald-/gødningssystemer inden for den enkelte husdyrkategori (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Indhold af kvælstof (N), fosfor (P) og N/P-forholdet fordelt på de mest udbredte staldd typer for året 2017 og beregnet fosfortilførsel med husdyrgødningen ved 170 og 230 kg N/ha (Poulsen, 2017).

Husdyrkategori	Staldtype	Gødningstype	N, kg/enhed	P, kg/enhed	N/P	Kg P ved 170 kg N	Kg P ved 230 kg N ¹⁾
1 malkeko, tung	Sengestald med spalter (ringkanal, baqskyl)	Gylle	138,4	21,3	6,5	26,2	35,4
	Sengestald med spalter (kanal, linespil)	Gylle	141,0	21,3	6,6	25,7	34,8
	Sengestald med fast gulv	Gylle	135,7	21,3	6,4	26,7	36,1
	Dybstrøelse, hele arealet	Dybstrøelse	155,7	23,8	6,6	25,9	35,1
	Vægtet gennemsnit	Alle typer	140,1	21,5	6,5	26,0	35,2
1 malkeko, Jersey	Sengestald med spalter (ringkanal, baqskyl)	Gylle	114,9	19,2	6,0	28,5	38,5
	Sengestald med spalter (kanal, linespil)	Gylle	117,1	19,2	6,1	27,9	37,8
	Sengestald med fast gulv	Gylle	112,7	19,2	5,9	29,0	39,3
	Dybstrøelse, hele arealet	Dybstrøelse	129,4	21,3	6,1	27,9	37,8
	Vægtet gennemsnit	Alle typer	117,3	19,6	6,0	28,2	38,1
1 ammeko > 600 kg	Dybstrøelse, hele Arealet	Dybstrøelse	72,1	7,7	9,3	18,2	24,7
1 slagtegris	Drænet gulv og spalter (33/67)	Gylle	2,43	0,64	3,7	44,4	
	Delvis spaltegulv (33-49% fast)	Gylle	2,52	0,64	4,0	43,0	
	Delvis spaltegulv (50-75% fast)	Gylle	2,59	0,64	3,8	41,8	
	Vægtet gennemsnit	Alle typer	2,47	0,64	3,9	43,8	
1 smågris	Toklimastald, delvis spaltegulv	Gylle	0,45	0,12	3,7	46,4	
	Drænet gulv og spalter (50/50)	Gylle	0,40	0,12	3,3	50,2	
	Vægtet gennemsnit	Alle typer	0,44	0,12	3,6	47,3	
1 årssø, drægtighed	Individuel opstaldning, delvis spaltegulv	Gylle	14,9	3,5	4,2	40,2	
	Løsgående, delvis spaltegulv	Gylle	14,7	3,5	4,2	41,0	
	Løsgående, dybstrøelse og spalter	Dybstrøelse og gylle	14,3	3,7	3,9	43,7	
	Vægtet gennemsnit	Alle typer	14,7	3,5	4,2	40,9	
1 årssø, fare-stald	Kassestier, delvist spaltegulv	Gylle	6,38	1,51	4,2	40,2	
	Kassestier, fuldspaltegulv	Gylle	5,71	1,51	3,8	45,0	
	Vægtet gennemsnit	Alle typer	6,29	1,51	4,2	40,9	
Slagtekyllinger	1000 styk, 35 dage	Dybstrøelse	35,4	11,3	3,1	54,8	
	1000 styk, 32 dage	Dybstrøelse	28,6	8,79	3,3	50,6	
Høns, konsum	Fritgående, 100 stk.	Dybst./staldg./ude	47,9	17,6	2,7	63	
	Økologisk, 100 stk.	Dybst./staldg./ude	69,0	22,9	3,0	57	
	Skrabe, 100 stk.	Dybst./staldg./ude	57,0	17,2	3,3	52	
Mink, 1 årstæve	Bur, 100 stk.	Staldgødning	52,0	15,5	3,3	51	
	Bur, gødningsrende, ugentlig tømning	Gylle	4,11	0,93	4,4	39	

¹⁾ 230 kg N kun relevant for kvægbrug omfattet af kvægundtagelsen fra nitratdirektivet

Tabellen viser, at der ud over meget store forskelle i mængden af udskilt kvælstof og fosfor mellem husdyr-kategorier også er stor forskel i N/P-forholdet. Det beregnede forhold mellem kvælstof og fosfor ligger generelt højere hos kvæg, hvor N/P ligger på 6-7 og ved nogle dybstrøelsessystemer på over 7. Derimod er forholdet markant lavere hos grise (N/P-forhold 3,3-4,2), hvor det er mindst i gødning fra smågrise og størst fra søer. Hos mink ligger det beregnede N/P-forhold på 4,4, medens forholdet generelt er lavest hos fjerkræ (2,7-3,3). Forskellene reflekterer bl.a. de meget store forskelle, der er i fodringen af de forskellige husdyr.

Endvidere viser Tabel 2.1, at det beregnede N/P-forhold ikke er helt ens inden for én husdyrkategori, men varierer mellem stald- og gødningssystemer. Det skyldes primært, at fordampningen af ammoniak ikke er ens for alle staldsystemer. Den beregnede forskel er dog i de fleste tilfælde meget begrænset (<5%), og stalddtype/gødningssystem har derfor ikke den helt store betydning for, hvor meget fosfor der følger med en given mængde kvælstof i husdyrgødningen hos kvæg og grise.

For fjerkræ har produktionsformen derimod meget stor betydning for N/P-forholdet. For æglæggende høner varierer forholdet således med over 20%, hvilket i høj grad skyldes forskelle i fodring og produktionsform og ikke alene forskelle i ammoniakfordampning. For slagtekyllinger er forskellen mindre, men ligger dog stadigvæk på omkring 10% for de viste typer af produktioner (aktuelt er slagting ved 35 og 32 dage mest udbredt i Danmark).

2.3. Betydning af forskelle i forholdet mellem kvælstof og fosfor i husdyrgødning

Forskellen i N/P-forhold i gødning fra forskellige produktioner inden for den samme husdyrkategori (Tabel 2.1), som især ses ved æglæggere og i mindre grad hos slagtekyllinger, kan have stor praktisk betydning ved anvendelsen af gødning fra forskellige bedrifter. Det skyldes, at N/P-forholdet også påvirker mængden af fosfor, der 'følger med' ved en gødningsmængde svarende til f.eks. 170 kg N. Mængden af fosfor, der 'følger med' 170 kg N, kan således variere med op til 20% mellem de forskellige ægproduktioner. Det har i første omgang betydning for tilførslen af næringsstoffer i planteproduktionen, hvor et lavt N/P-forhold (alt andet lige) vil medføre en meget høj tilførsel af fosfor.

Derfor er der god grund til at være opmærksom på, at der kan være stor forskel i det beregnede indhold af fosfor pr. 170 kg kvælstof i husdyrgødning. For kvæg 'følger' der således ved 170 kg N omkring 25-30 kg P med, ved grise 40-50 kg P (størst ved smågrise), ved fjerkræ 50-63 kg P (størst ved visse ægproduktioner) og ved mink 39 kg P. For den enkelte husdyrkategori er det derfor relevant at bruge et gennemsnitligt N/P-forhold i husdyrgødning fra forskellige stald-/gødningssystemer ved beregning af den mængde fosfor, der 'følger med' f. eks. 170 kg kvælstof. Det gælder især kvæg og mink, men også for grise. Ønskes et 'mere præcist' estimat, kan der bruges de værdier, der er givet for specifikke stald-/gødningssystemer. Her vil det imidlertid være bedst at bruge de indberettede værdier for kvælstof og fosfor for en given bedrift, idet den enkelte bedrift kan have brugt korrektioner ('type 1' eller 'type 2').

For fjerkræ er det derimod væsentligt at fokusere på, hvilken produktionsgren gødningen stammer fra. Især ved produktionen af æg til konsum varierer den mængde fosfor, der følger med kvælstoffet. Som nævnt har det stor betydning for, hvordan fjerkrægødningen kan bruges i praksis som plantenæringsstof. Men det har også stor betydning, hvis gødningen skal aftages af f.eks. biogasanlæg (Poulsen *et al.*, 2019) og ved beregning af rentabilitet ved transport over længere afstande (Poulsen *et al.*, 2019).

En af forudsætningerne for en bedre, overordnet fosforøkonomi og -balance i Danmark er, at mængden af fosfor i husdyrgødning fordeles bedre. Det forudsætter, at husdyrgødning transporteres til det østlige Danmark, da langt den største del af husdyrproduktionen findes i den vestlige del af landet. Mulighederne for en bedre fordeling af fosfor i husdyrgødning i Danmark behandles i en særskilt rapport (Poulsen *et al.*, 2019). Det kan dog nævnes, at for uforarbejdet gødning er fjerkrægødning specielt velegnet til transport. Det skyldes, at fjerkrægødning har et højt tørstofindhold (25-40%). Men det store indhold af fosfor relativt til kvælstof har også betydning, idet der ved transport af uforarbejdet fjerkrægødning vil blive flyttet relativt mere fosfor pr. kg tørstof og/eller pr. kg kvælstof. Hvis gylle fra kvæg og grise skal transporteres over længere afstande, skal vandindholdet i gyllen reduceres med henblik på at transportere mindst mulig væske. Denne problematik inkl. økonomiske vurderinger er ligeledes nærmere beskrevet af Poulsen *et al.*, 2019.

2.4. Det samlede indhold af fosfor i husdyrgødning i Danmark

Den samlede mængde af kvælstof og fosfor i husdyrgødning for 2017 er opgjort til godt 43.000 tons P (Poulsen, 2019). Fordelingen på de enkelte husdyrkategorier er vist i Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Procentuel fordeling af fosfor i husdyrgødningen på husdyrarter

Art	Andel,%
Kvæg	39
Svin	47
Fjerkræ	6
Mink	7
Andet	1

Tabellen viser, at svineproduktionen står for knap halvdelen af den totale mængde fosfor i husdyrgødningen i Danmark, medens kvæg står for knap 40%. Andelen af fosfor fra mink og fjerkræ er stort set ens med henholdsvis 7% og 6%. Da fjerkrægødning er forholdsvis tør og koncentrationerne af fosfor og kvælstof tilsvarende høje, er det egnet til transport over lange afstande. Potentialitet for transport af uforarbejdet fjerkrægødning fra Vest- til Østdanmark er beregnet til omkring 3.000 t P (Poulsen *et al.*, 2019).

2.5. Vurdering af brug og effekt af korrektionsformler for 'type 2' på den enkelte bedrift

Som vist i Faktaboks 2.1 har den enkelte husdyrproducent mulighed for at korrigere indholdet af både kvælstof og fosfor, såfremt bedriftens produktions- og/eller ydelsesniveau, fodermængde/-forbrug og indhold af protein (kvælstof) og fosfor afviger fra de standardforudsætninger, der er brugt ved beregning af

normtal for husdyrgødningens indhold af kvælstof og fosfor (Poulsen, 2017). Det fremgår, at der ikke er krav om at bruge 'type 2' korrektioner, men der er etableret formler for 'type 2' korrektion for både kvælstof og fosfor (Landbrugsstyrelsen, 2018; Poulsen, 2017).

På den enkelte bedrift afhænger indholdet af fosfor i husdyrgødning primært af produktionsniveau, foderforbrug og foderets indhold af fosfor. Såfremt produktionseffektiviteten er bedre end antaget ved beregningen af normtallene, vil indholdet af fosfor i den udskilte gødning være lavere end angivet i normtallene (Poulsen, 2017). Tilsvarende vil et mindre indhold af fosfor i foderet end forudsat i normtallene medføre, at indholdet af fosfor i husdyrgødningen også vil være mindre. I de tilfælde, hvor både produktionseffektivitet er bedre og fosforindhold i foderet er lavere end standardforudsætningerne, vil fosforudskillelsen også være mindre end angivet i normtallene. Det omvendte vil gælde, hvis produktiviteten er dårligere, og/eller foderets indhold er højere end forudsat i normtallene.

Med de indførte lofter for fosfor forventes det, at der vil være et stærkt incitament til at bruge foder med et lavere fosforindhold. Det er primært husdyrproduktioner, der anvender foder med tilsætning af foderfosfat (mineralsk fosfat), der kan udfase foderfosfat helt eller delvist f.eks. gennem øget brug af enzymet fytase. Fytase virker ved at forbedre fordøjeligheden af fosfor i de kerner og frø, der indgår i foderet. Derimod vil produktioner som mink og kvæg, hvor der ikke eller kun i begrænset omfang bruges foderfosfat, ikke direkte kunne reducere indholdet af fosfor i foderet. Kvægproduktionen er tilmed udfordret af kravet om brug af andre proteinkilder end soja. Det kan betyde, at fosforindholdet i foderet vil stige, da de fleste alternative proteinkilder indeholder mere fosfor end sojaskrå. Denne problematik er nærmere beskrevet i en ny rapport, som også vurderer de fodringsmæssige muligheder for at reducere fosforudskillelsen til gødningen hos de forskellige husdyrarter (Poulsen *et al.*, 2019). Samme rapport peger også på muligheden for at øge produktiviteten ved at reducere foderforbruget pr. kg produkt (kød, mælk, æg, skind mv.). Her gælder også, at mulighederne ikke er ens for alle produktionsgrene. Det forventes, at der fremover vil blive fokuseret på de to mest betydende faktorer: fodereffektivitet (foderforbrug pr. kg produkt) og foderets indhold af fosfor (inkl. dennes fordøjelighed). Det forventes derfor, at 'type 2' korrektioner, som omfatter disse faktorer, vil blive brugt i stigende grad.

I dag er det en mulighed og ikke et krav, at der på den enkelte bedrift 'type 2' korrigeres ved afvigende værdier i forhold til standardforudsætningerne (jfr. Faktaboks). Fordelen ved at anvende 'type 2' korrektioner frem for 'type 1' er umiddelbart, at 'type 2' kombinerer både produktionsniveau og fodertiltag, mens 'type 1' kun er baseret på ændringer i produktionsniveau. 'Type 2' indeholder derfor muligheden for at korrigerer samtidigt for alle potentielle tiltag omkring produktionsniveau og fodring.

Det vurderes, at den enkelte husdyrbedrifts aktuelle fosforudnyttelse (i husdyr) vil kunne afspejles ved brug af 'type 2' korrektion. Der er dog bedriftstyper, hvor 'type 2' korrektion vil være mindre/ikke relevant. Det gælder f.eks. kvæg og mink, hvor fodringstiltag til forbedring af fosforudnyttelsen umiddelbart er stærkt

begrænsede (Poulsen *et al.*, 2019). På de bedrifter, hvor det er muligt at ændre produktionsniveau og foderets indhold af fosfor, må der forventes et øget incitament til netop at ændre fodringen og reducere foderforbruget. Samlet set forventes brugen af 'type 2' korrektioner at stige.

Vurderingen er derfor, at 'type 2' korrektion (inkl. foderkorrektion) kan bruges for udvalgte produktioner (ikke kvæg, mink og visse andre), og at produktionsniveau fortsat også skal indgå i 'type 2'. Det vurderes samtidigt, at de nuværende formler til 'type 2' korrektion fortsat kan danne grundlag for beregningen af korrektionsfaktorer for den enkelte bedrift. I forbindelse med evt. krav om 'type 2' korrektion, skal der være fokus på dokumentationskravet ved afvigelse fra de forudsætninger, der er angivet i vejledning og bekendtgørelser omkring normtal for husdyrgødning (Landbrugsstyrelsen, 2018).

2.6. Evaluering af fosforlofter på landsplan

SEGES har gennemført en analyse af konsekvenserne af de nye fosforlofter på landsplan (Birkmose og Hørfarter, 2017). Der er analyseret, hvor stort harmoniareal der falder inden for de skærpede fosforlofter (Tabel 2.3). Fosforlofterne er vist i Tabel 1.1.

Birkmose og Hørfarter (2017) har anvendt følgende data i beregningerne:

- Antal dyreenheder fra gødningsregnskaberne
- Afgrøder og markplacering fra Grundbetalingsansøgningen
- Kvælstof- og fosforproduktion fra Gødnings- og Husdyrindberetningen, GHI
- Husdyrgødningsnormerne
- Fortegnelse over økologer fra Landbrugsstyrelsen
- Kort over forslag til oplande med skærpede fosforlofter fra Miljø- og Fødevareministeriets MiljøGIS
- CVR- registeret
- Det er antaget, at der anvendes 10 kg P/ha i startgødning til majs på konventionelle bedrifter.

Eventuelle fosforkrav i eksisterende miljøgodkendelser er ikke inkluderet. Det kan betyde, at det beregnede arealkrav for bedrifter med fosforkrav i eksisterende miljøgodkendelser er beregnet for lavt.

Det skal endvidere bemærkes, at der i SEGES' sammenligning af fosforlofter og de tidligere harmonikrav ikke tages højde for en række muligheder i den nye regulering, som ikke var i den gamle ordning:

- SEGES-analysen tager udgangspunkt i, at kvæg er begrænset af de 170 kg N/ha og øvrige dyr af fosforlofterne. De tager ikke højde for, at hvis husdyrgødning udveksles, f.eks. gennem et biogasanlæg, kan det samlede harmonikrav reduceres (hvis det samlede N/P-forhold bliver mere optimalt).
- De nye fosforlofter kan forøges ved lave fosfortal, hvilket reducerer harmonikravet i forhold til tidligere (arealer, der jævnlige har modtaget husdyrgødning, vil dog normalt ikke have lave fosfortal).
- De nye fosforlofter kan imødekommes med foderoptimeringer, hvilket reducerer harmonikravet i forhold til tidligere.

Under specifikke forhold giver disse forhold således en lempelse af de generelle fosforlofter, der ikke er indregnet af Birkmose og Hørfarter (2017).

Tabel 2.3. Harmoniarealet for planperioden 2014/15 og fordelingen mellem områder indenfor og uden for oplande med forslag om skærpede fosforlofter (Birkmose og Hørfarter, 2017).

	Ha	%
Areal inden for oplande med skærpede fosforlofter	538.000	22
Areal uden for oplande med skærpede fosforlofter	1.930.00	78
Harmoniareal i alt	2.468.00	100

I Tabel 2.4. er arealkravene (som følge af harmonikravene og fosforreguleringen) beregnet for planperioden 2016/17 og de følgende fire planperioder (Birkmose og Hørfarter, 2017). Det fremgår, at arealkravene i planperiode 2017/18 falder med ca. 35.000 ha som følge af indførelsen af den nye fosforregulering. Faldet skyldes især, at kravet til udbringningsareal for slagtesvin bliver reduceret betydeligt. I planperioden 2018/19 stiger kravet med ca. 45.000 ha alene på grund af indførelsen af oplande med skærpede fosforlofter svarende til ca. 22% af landbrugsarealet. Stigningen på de 45.000 ha finder altså sted på blot 22% af harmoniarealet. I 2019/20 og 2020/21 stiger arealkravene yderligere på grund af generelle stramninger i fosforloftet for fjerkræ og pelsdyr (2019/20) og for slagtesvin (2020/21).

For landet som helhed stiger den gennemsnitlige udnyttelse af harmoniarealet fra 58% i 2016/17 til 61% i 2020/21 (Birkmose og Hørfarter, 2017). I nogle områder stiger kravet til udnyttelse af det samlede harmoniareal dog til over 80%, som følge af den skæve fordeling af husdyrproduktion i Danmark

Tabel 2.4. Harmoniareal og arealkrav for fem planperioder baseret på beregninger af data for 2014/15. (Birkmose og Hørfarter, 2017).

	Harmoniareal	Arealkrav				
		2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21
Areal, ha	2.468.000	1.434.000	1.399.000	1.444.000	1.471.000	1.499.000
Stigning ift. 2016/17, ha	-	-	-35.000	10.000	37.000	65.000
Stigning ift. 2016/17, %	-	-	-2,4	0,7	2,6	4,6
Udnyttelse af samlet harmoniareal %	-	58	57	59	60	61

Af Tabel 2.5. fremgår det, at stigningen i arealkrav i oplande med skærpede fosforlofter er meget skævt fordelt mellem bedriftstyper. Bedriftstypen er defineret ud fra, at mindst 2/3 af dyreenhederne på bedriften er fra den pågældende husdyrart. Det fremgår, at især bedrifter med fjerkræ, pelsdyr og til dels slagtesvin påvirkes af både de skærpede fosforlofter i 2018/19 og stramninger i de generelle fosforlofter i 2019/20 og 2020/21. Det er især fjerkræbrug og pelsdyrbrug, der får problemer med lofterne. Bedrifter med kvæg påvirkes derimod ikke af de skærpede fosforlofter (Birkmose og Hørfarter, 2017).

Tabel 2.5. Procentuel stigning i arealkrav i oplande med skærpede fosforlofter fordelt på bedriftstyper. (Birkmose og Hørfarter, 2017).

Bedriftstype	Stigning i arealkrav i forhold til 2016/17, %			
	2017/1	2018/1	2019/2	2020/2
Fjerkræ	12	38	50	51
Pelsdyr	2	40	43	43
Slagtesvin	-15	0	0	3
Søer og smågrise	5	6	6	7
Alm. Kvægbrug	-2	-2	-2	-2
Undtagelsesbrug	6	6	6	6

Undtagelsesbrugene vil ved en dyretæthed på 230 kg N/ha ikke have mulighed for at anvende fosfor som startgødning til majs uden at afsætte en del af deres egen husdyrgødning. SEGES har opstillet alternative muligheder for disse brug (Mikkelsen, 2018):

Alternativ 1. Der placeres den mængde mineralsk fosfor startgødning, som er til rådighed. Det vil være 12,7 kg, 11,8 kg, 7,6 kg, 3,7 kg og 0,3 kg P/ha ved en belægningsgrad på henholdsvis 170 kg, 200 kg, 210 kg, 220 kg og 230 kg N/ha.

Alternativ 2. Gylle afsættes til naboen uden beregning, så der kan placeres 12,7 kg P/ha ved alle belægningsgrader. Leverandøren af gylle betaler udbringningsomkostningerne og får ingen betaling for indholdet af kvælstof, fosfor og kalium i den afgivne gylle.

Alternativ 3. Naboen henter selv gylle i tanken, så der kan placeres 12,7 kg P/ha. Leverandøren sparer udbringningsomkostningerne, men får ingen betaling for næringsstofferne.

Alternativ 4. I stedet for at placere en traditionel NP-gødning 5 cm under og 5 cm ved siden af frøene, anvendes en mikrogranulatgødning (f.eks. Physiostart), som er beregnet til at placere i såsporet. Anbefalet dosering er 25 kg/ha svarende til 3 kg P/ha. Den indeholder 8,0% N, 12,2% P, 9,2% S, 2% Zn og plantehormoner. I Landsforsøg i 2007 virkede 3 kg P/ha i Physiostart placeret i såsporet på niveau med 7 kg P/ha i en traditionel placeret startgødning.

Alternativ 5. Gyllen til majs placeres under såsporet, og der placeres ikke fosfor i en NP-gødning. I forsøg i 2016-18 har majs med placeret gylle og uden startgødning givet større udbytte end majs med traditionelt nedfældet gylle og startgødning (mere herom i afsnit 4).

2.7. Hvordan har landbruget ageret i praksis i forhold til nye fosforlofter

Det er endnu ikke muligt at udtrække data fra gødningsregistre for planperioden 2017/18, der mere systematisk vil kunne vise, hvorledes landbruget har ageret i forhold til de nye fosforlofter. For at få et kvalitativt, men ikke nødvendigvis repræsentativt indblik, har Peter Sørensen, AU, interviewet plantekonsulent Lars Møller-Christensen, Vestjysk Landboforening, om de første erfaringer konsulenten har observeret i forhold til brug af fosforstartgødning på undtagelsesbrug efter indførelsen af fosforlofterne. Konsulenten dækker et område i Vestjylland med mange kvægbrug og stor dyretæthed. Ifølge ham har de fleste valgt at bruge

startgødning til majs og afsætte den overskydende husdyrgødning til anden side. Undtagelsesbrugene afsatte også tidligere husdyrgødning til anden side. Med fosforloftet er mængden, der afsættes til anden side øget lidt. Samtidigt kan bedrifterne have behov for at indkøbe lidt mere kvælstof i handelsgødning. Ifølge konsulenten er det som regel muligt at afsætte husdyrgødning lokalt.

På bedrifter med fjerkræ og mink betyder fosforlofterne, at der er behov et større harmoniareal. Dette har man ifølge konsulent Lars Møller-Christensen klaret ved at lave gødningsaftaler til et større areal. Bedrifter med fjerkræ og mink havde også før fosforloftet ofte behov for at afsætte en betydelig del af gødningen. For disse bedrifter betyder fosforlofterne, at gødningen nu skal afsættes på et større areal. Mange steder er det ifølge konsulenten stadig muligt at finde ledige arealer, men i visse områder af landet kan det være et problem at afsætte gødningen lokalt, hvilket betyder større omkostninger til transport.

2.8. Udfordringer med fosforlofter på biogasanlæg

Ifølge Bruno Sander Nielsen, Foreningen Biogasbranchen, har biogasbranchen en række udfordringer på biogasanlæggene som følge af fosforlofterne. Lofterne giver især problemer for kvægbrug, idet kvæggylle typisk har et højere N/P-forhold end de øvrige biomasser, der tilføres biogasanlæg. Det betyder, at især undtagelsesbrug ikke kan anvende så meget kvælstof i biogasygyle, som de kunne, hvis de anvendte deres egen ubehandlede kvæggylle.

På biogasanlæggene arbejdes der med en række forskellige løsningsmodeller for fosforudfordringen:

- Opsigelse af modtagelsen af meget fosforholdige biomasser eller biomasser med et lavt N/P-forhold.
- Opdeling af anlægget i forskellige linjer med henblik på at kunne udlevere gødninger tilpasset de enkelte bedrifter. Det kunne være gødninger, der er baseret på biomasser, som lever op til krav og restriktioner for økologiske bedrifter eller til brancheaftaler for korn og mejeriprodukter. Ved at styre tilførslen af biomasser af forskellig oprindelse og forskellige N/P-forhold, kan fosfor opkoncentreres i de fraktioner, hvor der er plads til det.
- Simpel separering gennem naturlig sedimentering af den afgassede biomasse i efterlagertanke. Her kan det udnyttes, at fosforindholdet er lavere i midterlaget end i top- og bundlag. Dette er dog forbundet med både tids- og analyse-mæssige udfordringer.
- Mekanisk separering af den afgassede biomasse med henblik på at kunne blande sig frem til de ønskede N/P-forhold. Herved står man dog med to forskellige fraktioner, en væske- og en fiberfraktion, som skal afsættes på forskellig vis.
- Målrkning af anvendelsen af den afgassede biomasse eller fraktioner heraf. Der er bl.a. igangsat forsøg med placering af den afgassede biomasse ved såning af majs for at undersøge, om det kan erstatte startgødningen og dermed lette det generelle fosfortryk i lokalområdet.

Fælles for disse tiltag er, at de næsten altid er forbundet med ekstra omkostninger for biogasanlægget.

Biogasanlæggene kunne potentielt være velegnede aktører ved en regional omfordeling af fosfor, idet de har bedre mulighed for at opnå stordriftsfordele ved separering af gødningen. Endvidere spiller de i forvejen en rolle ved omfordeling af husdyrgødning mellem bedrifter.

3. Fjernelse af fosfor med afgrøder

I forbindelse med etablering af den oprindelige version af ansøgningssystemet for miljøgodkendelse af husdyrbrug (<https://2007.husdyrgodkendelse.dk/Default.aspx>) blev der udarbejdet et notat om bortførelse af fosfor med afgrøder fra de såkaldte standardsædskifter, der blev opdateret i 2011 (Vinther, 2011).

Miljø- og Fødevareministeriet har i dette projekt bedt om en opdatering af notatet fra 2011, hvor der især fokuseres på eventuelle ændringer i sædskifter samt en vurdering af, om de retningsgivende normer for fosfor (Landbrugsstyrelsen, 2017) er i overensstemmelse med, hvad der bortføres med afgrøderne. Dette adresseres i det følgende.

3.1. Datagrundlag

Beregninger af fosfor (P) bortført med afgrøder er baseret på opgørelser af høstudbytter (gennemsnit 2013-2017) fra Danmarks Statistik (2018a). Ved beregning af opfodrede udbytter er der regnet med et spild på 10% i majs, 6% i græs og 3% i korn (Statistikbanken, 2019). Andel af halm i forhold til kerne er baseret på et større antal målinger foretaget i midt 90'erne (Oversigt over Landsforsøgene, 1996). Dog er halmandelen i rug, triticale, havre og raps baseret på Mogensen et al. (2018). Tørstofandel og P-andel af tørstof er baseret på Fodermiddeltabellen (Møller et al., 2005), samt årlige målinger af næringsstofindhold i korn gennemført af SEGES (Møller et al., 2013; Møller & Sloth, 2014; Poulsen & Sloth, 2015; 2016; 2017). Tørstof og P-indhold (gens. 2015-2017) i grovfoder (græs, majs og helsæd) er baseret på opgørelser fra SEGES (Thøgersen & Kjeldsen, 2018).

Opstilling af typiske sædskifter er baseret på en fordeling af bedrifterne på forskellige bedriftstyper og den aktuelle afgrødefordeling. Med udgangspunkt i de tilgængelige oplysninger for 2016 fra gødningsregnskab, centrale husdyrregister (CHR) og det generelle landbrugsregister (GLR), herunder de årlige ansøgninger om arealstøtte, kategoriseres de enkelte bedrifter ud fra oplysninger om areal, dyrehold, dyretryk (Dyreenheder/ha), afgrødefordeling, økologisk eller konventionel drift samt jordtype. Bedrifterne kan inddeles i op til 46 bedriftstyper på baggrund af de forskellige kombinationer af de nævnte parametre. Det afhænger af det aktuelle år, hvor mange af disse bedriftstyper der kommer i spil for de enkelte høstår. De 46 bedriftstyper er herefter grupperet ud fra bedrifternes specialiserede produktion, dvs. produktion af mælk, oksekød, svinekød, korn, sukkerroer, frø eller kartofler. Herudover er bedrifterne opdelt i sand- og lerjord (over 50% areal med over 10% ler). Endelig er bedrifterne opdelt i fuldtids- og deltidsbedrifter, samt konventionel og økologisk driftsform, hvorved antallet af bedriftstyper reduceres til 33. Oplysninger om disse kan findes i Kristensen et al. (2003; 2006).

Afgrødefordelingen på de 18 mest udbredte bedriftstyper er vist i Appendiks 2.

3.2. Bortførelse af fosfor på afgrødeniveau

I Tabel 3.1. er vist de anvendte høstudbytter fra Danmarks Statistik (gennemsnit 2013-2017), tørstofandel, P-andel af tørstof, samt den beregnede mængde fosfor, der bortføres med afgrøder og halm, når al halm bortføres. Eksempelvis bortføres der 20,2 kg P/ha med vinterhvede ved et gennemsnitsudbytte på 75,5 Hkg/ha. Yderligere 3,2 kg P/ha bortføres, hvis al halm fjernes fra marken.

Tabel 3.1. Gennemsnitsudbytter (reduceret for fodringstab), % tørstof, % P af tørstof, samt mængde af P bortført med afgrøder.

Afgrøder	Udbytte, hkg/ha	% tørstof	% P af tørstof	kg P/ha
Vinterhvede	75,5	85	0,32	20,2
Halm: 55% af kerne	41,5	85	0,09	3,2
Vårhvede	51,4	85	0,32	13,8
Halm: 55% af kerne	28,3	85	0,09	2,2
Vinterrug	60,2	85	0,30	15,4
Halm: 80% af kerne	48,2	85	0,09	3,7
Triticale	56,6	85	0,35	17,0
Halm: 65% af kerne	36,8	85	0,09	2,8
Havre og blandsæd	49,5	85	0,35	14,6
Halm: 60% af kerne	29,7	85	0,09	2,3
Vårbyg	55,4	85	0,34	16,0
Halm: 55% af kerne	30,5	85	0,09	2,3
Ærter	40,1	85	0,46	15,7
Vinterbyg	63,1	85	0,33	17,5
Halm: 55% af kerne	34,7	85	0,09	2,7
Vinterraps	39,5	93	0,76	27,8
Halm: 100% af frø	39,5	93	0,09	3,3
Vårraps	19,2	93	0,76	13,5
Halm: 100% af frø	19,2	93	0,09	1,6
Sukkerroer	643,0	22	0,17	24,0
Fodersukkerroer	697,5	22	0,17	26,1
Frøgræs	13,5	87	0,40	4,7
Halm: 370% af frø	50,1	83	0,26	10,8
Læggekartofler	314,8	24	0,21	15,9
Kartofler til melproduktion	482,8	24	0,21	24,3
Spisekartofler	371,9	24	0,21	18,7
Grovfoderafgrøder	Udbytte, FE/ha	kg tørstof/FE	% P af tørstof	kg P/ha
Majs	9360	1,13	0,20	21,2
Kløvergræs	7614	1,2	0,33	30,5
Helsæd af vårkorn	4926	1,38	0,28	19,0
Varigt græs	2294	1,2	0,33	9,2

Høstudbytter (Tabel 3.1) er landsgennemsnit og repræsenterer således et gennemsnit af alle jordtyper. For at beregne, hvor meget fosfor der bortføres på forskellige jordtyper, er der taget udgangspunkt i fordelingen

af normudbytter på de fem jordtypegrupper, som angivet i Vejledning om gødsknings- og harmoniregler (Landbrugsstyrelsen, 2017). I Tabel 3.2. er vist nogle konkrete eksempler. F.eks. er normudbytterne for vårbyg angivet til 45, 52, 57, 64 og 68 hkg/ha på hhv. JB1+3, JB2+4 og JB10-12, vandet JB1-4, JB5-6 og JB7-9, hvilket giver en middelværdi på 57 hkg/ha. Det betyder, at udbytterne i forhold til denne middelværdi afviger med hhv. -21, -9, 0, 12 og 19% på de fem jordtypegrupper. Denne beregning er foretaget for alle anvendte afgrøder, og afvigelseerne er anvendt til at fordele Danmarks Statistiks gennemsnitsudbytter på de fem jordtypegrupper.

Tabel 3.2. *Eksempler på beregning af høstudbytters fordeling på jordtyper baseret på normudbytter i planperioden 2017/18 (Landbrugsstyrelsen, 2017).*

Afgørde	Norm-udbytte, hkg/ha el. FE/ha						Afgivelse (%) i forhold til middel					
	JB 1+3	JB 2+4 og 10-12	Vand- det JB 1-4	JB 5-6	JB 7-9	Mid- del	JB 1+3	JB 2+4 og 10-12	Vand- et JB 1-4	JB 5-6	JB 7-9	
Vårbyg	45	52	57	64	68	57	-21	-9	0	12	19	
Vinterhvede	52	66	70	84	89	72	-28	-9	-3	16	23	
Vinterraps	30	38	38	43	45	39	-23	-2	-2	11	16	
Roer til fabrik	470	520	520	640	700	570	-18	-9	-9	12	23	
Kartofler	460	510	570	570	570	536	-14	-5	6	6	6	
Silomajs	10200	10200	11200	11100	11700	10880	-6	-6	3	2	8	
Kløvergræs	6900	7100	8500	7400	7400	7460	-8	-5	14	-1	-1	

I Tabel 3.3. er værdierne fra Tabellerne 3.1. og 3.2. kombineret således, at afgrødernes fosforoptagelse er beregnet for de fem jordtypegrupper. Den samlede bortførelse vil afhænge af, om halm fjernes fra marken eller ej. Desuden er der i Tabel 3.3. vist de retningsgivende normer for fosfor i planperioderne 2006/07 og 2017/18 (Plantedirektoratet, 2006; Landbrugsstyrelsen, 2017) og kommenteres yderligere i næste afsnit.

Tabel 3.3. Fosforoptyagelse (kg P/ha) i afgrøder og halm i de fem jordtypegrupper, samt retningsgivende gødskningsnormer for fosfor (kg P/ha) i planperioderne 2006/07 og 2017/18.

Afgrøder	Uvandet grovsand JB 1+3	Uvandet finsand JB 2+4 & 10- 12	Vandet sandjord JB 1-4	Sandet lerjord JB 5-6	Lerjord JB 7-9	Retningsgivende nor- mer for fosfor	
						2006/07	2017/18
KORN, RAPS & ÆRTER							
Vinterhvede	14,6	18,5	19,6	23,5	24,9	22	19
Halm: 55% af kerne	2,3	2,9	3,1	3,7	3,9		
Vårhvede	9,9	12,5	13,8	15,4	16,4	22	18
Halm: 55% af kerne	1,6	2,0	2,2	2,4	2,6		
Vinterrug	11,6	14,8	14,5	17,7	18,6	19	18
Halm: 80% af kerne	2,8	3,5	3,5	4,2	4,4		
Triticale	13,0	16,5	16,5	18,8	20,0	21	20
Halm: 65% af kerne	2,2	2,7	2,7	3,1	3,3		
Vinterbyg	14,2	15,2	16,3	20,3	21,7	20	18
Halm: 55% af kerne	2,1	2,3	2,5	3,1	3,3		
Vårbyg	12,6	14,5	16,0	17,9	19,0	23	21
Halm: 55% af kerne	1,8	2,1	2,3	2,6	2,8		
Havre og blandsæd	12,0	13,9	15,3	15,6	16,4	27	23
Halm: 60% af kerne	1,9	2,2	2,4	2,4	2,5		
Vinterraps	21,5	27,2	27,2	30,8	32,2	27	26
Halm: 100% af frø	2,5	3,2	3,2	3,6	3,8		
Vårraps	10,9	12,8	14,0	14,6	15,2	22	22
Halm: 100% af frø	1,3	1,5	1,7	1,7	1,8		
Frøgræs	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	20	15
Halm: 370% af frø	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8		
Markærter	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	27	27
KARTOFLER & ROER							
Læggekartofler	14,0	15,3	16,7	16,7	16,7	32	35
Kartofler til melpro- duktion	20,9	23,2	25,9	25,9	25,9	41	47
Spisekartofler	15,2	18,9	19,9	19,9	19,9	32	37
Sukkerroer til fabrik	19,8	21,9	21,9	27,0	29,5	38	44
Fodersukkerroer	19,6	26,7	26,7	28,7	28,7	41	41
GROVFODER							
Majs til ensilering	19,8	19,8	21,8	21,6	22,7	44	45
Korn til ensilering /helsæd	14,5	17,1	18,9	21,6	23,1	27	25
Kløvergræs i omdrift	28,2	29,0	34,8	30,3	30,3	32	32
Varigt græs	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	14	13

3.3. Afgrødernes fosforbehov og retningsgivende normer for fosfor

For at sikre afgrødernes vækst må jorden have et passende indhold af plantetilgængeligt fosfor. Dette indhold bør vedligeholdes via jævnlig gødskning, da størsteparten af det fosfor, som afgrøden optager, stammer fra jordens puljer. Kun omkring 15% stammer fra gødning, der er tilført direkte til en given afgrøde (McLaughlin et al., 1988). På jord med lav P-status er det nødvendigt at tilføre mere fosfor end afgrøden fjerner. Det sker for at opbygge jordens P-puljer og dermed sikre et tilstrækkeligt niveau af plantetilgængeligt fosfor på længere sigt (Rubæk et al., 2005).

Kun en mindre del af jordens fosfor er tilgængelig for afgrøden i en given vækstsæson. For dyrket jord spiller de uorganiske fosforpuljer langt den største rolle for plantetilgængeligheden. I Danmark er fosforstatus blevet bestemt ved måling af jordens fosfortal (Pt) siden 1987. Fosfortallet opgives i en enhed på mg P/100 g jord, og omregnet til kg P/ha svarer 1 enhed til cirka 25 kg P/ha. Fosfortallet giver en rettesnor for, hvor meget fosfor jorden kan stille til rådighed for afgrøden i vækstsæsonen. Anbefalinger vedrørende fosforgødskning i forhold til jordens fosfortal er sammenfattet i Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Anbefalinger om fosforgødskning ud fra jordens fosfortal (Rubæk et al., 2005).

Fosfortal	Niveau	Anbefaling
Under 1	Meget lavt	Tilførsel af større mængder fosfor for at hæve fosfortallet gennem årlig tilførsel af fosfor i handels- og husdyrgødning
1-2	Lavt	Tilførsel af 20-40% mere fosfor end afgrøden fjerner
2-4	Middel	Tilførsel af, hvad der i gennemsnit svarer til det planterne fjerner. I følsomme afgrøder (majs, roer, kartofler) lidt mere.
4-6	Højt	Tilførsel af 25-50% af, hvad afgrøden fjerner *)
Over 6	Meget højt	På kort sigt ikke behov for tilførsel af fosfor *)

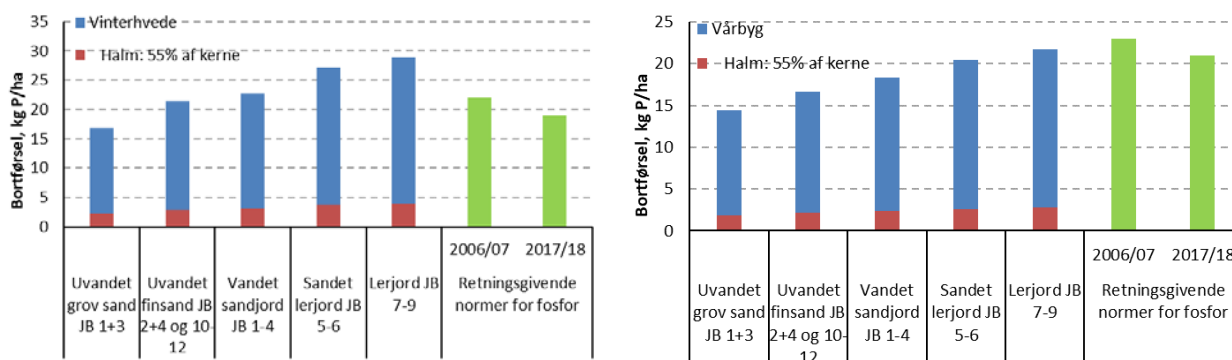
*) Fosfortallet vil falde med årene, og når fosfortallet er under 4,0 skal alt det fosfor, som planterne fjerner, erstattes.

Følges anbefalingerne i Tabel 3.4. sikres det, at jord med unødvendig høj P-status tilføres mindre fosfor, end der fjernes. Derved vil jordens P-status langsomt falde, indtil der igen nås "en passende status" (Pt mellem 2 og 4). På jorde med passende P-status vil denne blive vedligeholdt ved at tilføre med lige så meget fosfor, som der fjernes med afgrøderne.

I Tabel 3.3. er vist de retningsgivende gødskningsnormer for fosfor som angivet i Vejledning om gødsknings- og harmoniregler for planperioderne 2006/07 og 2017/18 (Plantedirektoratet, 2006; Landbrugsstyrelsen, 2017). Kvælstof- og udbytnenormer justeres årligt af "Normudvalget", hvorimod de retningsgivende gødskningsnormer for fosfor bliver justeret efter behov af SEGES. Det fremgår af Tabel 3.3., at der fra planperioden 2006/07 til planperioden 2017/18 for størstedelen af afgrøderne er sket en nedjustering af normerne. Normer for kartofler, roer og majs er dog justeret op. Det ses endvidere i Tabel 3.3., at for vinterkorn og -raps svarer de retningsgivende gødskningsnormer til den mængde fosfor, der fjernes ved høst. Normen for vinterhvede ligger dog noget under, hvis halmen også fjernes (se også Figur 3.1). For vårkorn og -raps ligger

de retningsgivende gødskningsnormer lidt over, hvad der fjernes ved høst. Det skyldes, at disse afgrøder først sås om foråret og dermed har kortere tid til at afsøge jorden for tilgængeligt fosfor. Kartofler, roer og majs er desuden særligt fosforkrævende, og de retningsgivende normer ligger betydeligt over den fjernede mængde fosfor i afgrøden. Vi vurderer, at man ved placering af gødning i f.eks. majs kan reducere den samlede norm uden udbyttetab (se afsnit 4 om startgødning af majs).

Nedenfor i figur 3.1. vises de beregnede bortførsler og retningsgivende gødskningsnormer for fosfor for vinterhvede og vårbyg.



Figur 3.1. Grafisk fremstilling af resultater fra tabel 3.3. for vinterhvede og vårbyg. Det er antaget, at tørstofmængden i halm udgør 55% af tørstof i kerne.

De retningsgivende normer svarer til de anbefalede mængder ved middel P-status i jorden. Yderligere anbefalinger vedr. P-gødsning kan findes i dyrkningsvejledninger udarbejdet af SEGES (<https://dyrkplant.dlbr.dk>). Tabel 3.5. viser eksempler på de anbefalede mængder til vinterhvede og vårbyg. Det kan konstateres, at der er god overensstemmelse mellem de anbefalede og beregnede mængder for fosforoptagelse (Tabel 3.3).

Tabel 3.5. Anbefalede gødsningsmængder for vinterhvede og vårbyg ifølge dyrkningsvejledninger fra SEGES (www.Landbruksinfo).

Vinterhvede	Uvandet	JB	JB	Vårbyg	Uvan-	JB	JB 5-9
	det JB	2+4	5-9		det JB	2+4	JB 5-9
	JB 1+3	2+4	5-9		1+3	2+4	JB 5-9
Udbyttensniveau, hkg/ha	52	70	83	Udbyttensniveau, kg/ha	41	48	59
Fosfor (Pt 2-4), kg P/ha	16	21	25	Fosfor (Pt 2-4), kg P/ha	16	18	22

3.4. Fosfor bortførsel på sædskifteniveau

Som nævnt er der med udgangspunkt i de tilgængelige oplysninger for 2016 i gødningsregnskab, centrale husdyrregister (CHR) og det generelle landbrugsregister (GLR) opstillet en række typiske sædskifter for malkekævs-, svine- og planteavl/blandede bedrifter. Afgrødefordelingen for de 18 mest udbredte sædskifter er vist i Appendiks 2.

Nedenfor er vist beregninger af bortførslen af fosfor fra konventionelle sædskifter ved tre forskellige niveauer af dyretæthed. Bortførslen fra de økologiske sædskifter vil være lidt mindre som følge af lavere udbytter.

Beregningerne vist i tabellerne nedenfor er foretaget ved at kombinere afgrødernes fosforoptagelse (kg P/ha) fra Tabel 3.3 med afgrødefordelingen i Appendiks 2, hvorved den samlede bortførsel fra et sædskifte på 100 ha kan beregnes (Tabel 3.6- 3.9). I denne beregning er det forudsat, at 60% af halmen fjernes fra marken, svarende til hvad der i gennemsnit bjærges på landsplan (Danmarks Statistik, 2018b). Desuden er der nederst i tabellerne vist den samlede bortførsel fra sædskiftet (kg P/ha), hvis 60% halm fjernes, alt halm fjernes, eller hvis hele halmmængden efterlades på marken.

Tabel 3.6. Bortførsel af fosfor i typiske sædskifter på bedrifter med malkekvæg. Øverst sandjord og nederst lerjord.

Afgørder	kg P bortført fra sædskifte på 100 ha								
	SANDJORD								
	0,5-170 kg N/ha			170-230 kg N/ha			230 kg N/ha		
	JB 1+3	JB 2+4 og 10- 12	JB 1-4 vandet	JB 1+3	JB 2+4 og 10- 12	JB 1-4 vandet	JB 1+3	JB 2+4 og 10- 12	JB 1-4 vandet
Vårbyg	410	473	522	137	158	174	137	158	174
Vinterhvede	159	202	215	159	202	215			
Rug/triticale/hybrid	72	91	91						
Vinterbyg	77	83	89						
Frøafgrøder	78	78	78						
Sædskiftegræs	565	581	695	988	1017	1217	988	1017	1217
Helsæd				72	86	95	72	86	95
Majs	496	496	544	793	793	871	992	992	1089
I alt pr 100 ha	1856	2004	2234	2150	2256	2571	2188	2252	2574
	kg P/ha bortført fra sædskifte								
60% halm fjernes	18,6	20,0	22,3	21,5	22,6	25,7	21,9	22,5	25,7
Alt halm fjernes	19,0	20,5	22,8	21,7	22,8	25,9	22,0	22,6	25,8
Intet halm fjernes	18,0	19,3	21,6	21,2	22,3	25,4	21,8	22,4	25,6

Tabel 3.6 fortsat.....

Afgroeder	kg P bortført fra sædskifte på 100 ha					
	LERJORD					
	0,5-170 kg N/ha		170-230 kg N/ha		>230 kg N/ha	
	JB 5-6	JB 7-9	JB 5-6	JB 7-9	JB 5-6	JB 7-9
Vårbyg	486	516	291	310	194	206
Vinterhvede	773	819	515	546	386	409
Vinterbyg	111	118	111	118		
Raps	165	172				
Frøafgroeder	78	78				
Sædskiftegræs	303	303	757	757	757	757
Helsæd			108	115	108	115
Majs	432	455	647	682	971	1024
I alt pr 100 ha	2346	2460	2429	2528	2416	2511
	kg P/ha bortført fra sædskifte					
60% halm fjernes	23,5	24,6	24,3	25,3	24,2	25,1
Alt halm fjernes	24,2	25,4	24,8	25,8	24,5	25,5
Intet halm fjernes	22,3	23,4	23,5	24,5	23,7	24,6

Tabel 3.7. Bortførelse af fosfor i typiske sædskifter på bedrifter med svineproduktion

Afgroeder	kg P bortført fra sædskifte på 100 ha				
	Sandjord			Lerjord	
	JB 1+3	JB 2+4 og 10-12	JB 1-4, vandet	JB 5-6	JB 7-9
Vårbyg	341	394	435	291	310
Havre	66	76	84		
Vinterhvede	558	708	751	1288	1364
Rug/triticale/hybrid	143	181	181		
Vinterbyg	155	166	178	222	236
Raps	240	304	304	494	517
Frøafgroeder	78	78	78	155	155
I alt pr. 100 ha	1581	1908	2011	2450	2583
	kg P/ha bortført fra sædskifte				
60% halm fjernes	15,8	19,1	20,1	24,5	25,8
Alt halm fjernes	16,5	19,9	20,9	25,5	26,9
Intet halm fjernes	14,7	17,8	18,7	22,9	24,2

Tabel 3.8. Bortførelse af fosfor i alternative sædskifter med hhv. frøavl, sukkerroer eller kartofler på bedrifter med svineproduktion.

Afgroede	kg P bortført fra sædskifte på 100 ha				
	FRØAVL				
	JB 1+3	Sandjord JB 2+4 og 10-12	JB 1-4, vandet	Lerjord JB 5-6	JB 7-9
Vårbyg	273	316	348	388	413
Havre	66	76	84	85	90
Vinterhvede	638	809	858	1030	1092
Vinterbyg	77	83	89	111	118
Raps	240	304	304	329	345
Frøafgrøder	310	310	310	310	310
I alt pr 100 ha	1604	1899	1993	2254	2367
	kg P/ha bortført fra sædskifte				
60% halm fjernes	16,0	19,0	19,9	22,5	23,7
Alt halm fjernes	16,6	19,7	20,7	23,5	24,6
Intet halm fjernes	15,2	17,9	18,8	21,2	22,2

Afgroede	kg P bortført fra sædskifte på 100 ha				
	SUKKERROER				
	JB 1+3	Sandjord JB 2+4 og 10-12	JB 1-4, vandet	Lerjord JB 5-6	JB 7-9
Vårbyg	341	394	435	486	516
Vinterhvede	638	809	858	1030	1092
Raps	120	152	152	165	172
Frøafgrøder	155	155	155	155	15
Sukkerroer	397	439	439	540	591
I alt pr 100 ha	1651	1950	2039	2376	2526
	kg P/ha bortført fra sædskifte				
60% halm fjernes	16,5	19,5	20,4	23,8	25,3
Alt halm fjernes	17,1	20,2	21,1	24,6	26,2
Intet halm fjernes	15,7	18,5	19,3	22,5	23,9

Afgroede	kg P bortført fra sædskifte på 100 ha				
	KARTOFLER				
	JB 1+3	Sandjord JB 2+4 og 10-12	JB 1-4, vandet	Lerjord JB 5-6	JB 7-9
Vårbyg	546	631	696	777	825
Vinterhvede	159	202	215	258	273
Rug/triticale/hybrid	72	91	91	103	110
Vinterbyg	77	83	89	111	118
Raps	120	152	152	165	172
Frøafgrøder	78	78	78	78	78
Kartofler	626	695	776	776	776
I alt pr 100 ha	1679	1932	2096	2267	2352
	kg P/ha bortført fra sædskifte				
60% halm fjernes	16,8	19,3	21,0	22,7	23,5
Alt halm fjernes	17,3	19,9	21,6	23,4	24,3
Intet halm fjernes	16,1	18,5	20,1	21,6	22,4

Tabel 3.9. Bortførelse af fosfor i planteavls- eller blandede sædskifter.

Afgørde	kg P bortført fra sædskifte på 100 ha				
	Sandjord				Lerjord
	JB 1+3	JB 2+4 og 10-12	JB 1-4, vandet	JB 5-6	JB 7-9
Vårbyg	410	473	522	500	531
Havre	66	76	84		
Vinterhvede	399	506	537	1194	1265
Rug/triticale/hybrid	143	181	181		
Vinterbyg	77	83	89	228	243
Raps	240	304	304	494	517
Frøafgrøder				78	78
Sædskiftegræs	141	145	174		
Majs	198	198	218		
I alt pr 100 ha	1674	1968	2108	2494	2634
		kg P/ha bortført fra sædskifte			
60% halm fjernes	16,7	19,7	21,1	24,9	26,3
Alt halm fjernes	17,4	20,4	21,9	26,0	27,5
Intet halm fjernes	15,8	18,6	19,9	23,3	24,6

3.5. Markbalancer

Tabel 2.1 viser en oversigt over husdyrgødningens indhold af fosfor. Anvendes de vægtede værdier i Tabel 2.1 som input og de i afsnit 3.4 beregnede værdier for bortførelse med afgrøder som output, kan der etableres markbalancer for fosfor for husdyrsædskifterne vist i Tabel 3.6-3.8. Endvidere er der for svine-, fjerkræ- og minkbedrifter beregnet balancer, som de vil se ud ved anvendelse af generelle fosforlofter i 2020/21 og 2021/2022, samt skærpede fosforlofter i 2018-2022 (jf. Tabel 1.1). Intervallet for bortførelse i de efterfølgende tabeller repræsenterer hhv. den laveste og højeste bortførelse inden for den pågældende gødningskategori. Den mindste bortførelse opnås generelt på uvandet sandjord og den største bortførelse på vandet sandjord og på lerjord, afhængig af sædskifte. I Tabel 2.1 er der endvidere beregnet P-tilførsel ved anvendelse af 170 kg N/ha i husdyrgødning samt ved tilførsel af 230 kg N/ha med kvæggødning. Dette repræsenterer den maksimale tilførsel med husdyrgødning, når der ikke anvendes fosforlofter. Balancerne herunder (Tabel 3.10., 3.11., 3.12., 3.13.) er beregnet ud fra denne forudsætning.

Tabel 3.10. P-balancer på kvægbedrifter ved maksimal tilladt tilførsel af kvælstof med husdyrgødning.

	Malkekvæg, tung race		Jersey	
	170 kg N/ha	230 kg N/ha	170 kg N/ha	230 kg N/ha
Tilførsel med husdyrgødning, kg P/ha	26,0	35,2	28,2	38,1
Bortførelse med afgrøder*, kg P/ha	18,0 - 25,9	21,8 - 25,8	18,0 - 25,9	21,8 - 25,8
Balance, kg P/ha	0,1 - 8,0	9,4 - 13,4	2,3 - 10,2	12,3 - 16,3

*intervallet mellem laveste og højeste bortførelse, jf. tabellerne i afsnit 3.4.

For kvægbedrifter er det kvælstofreguleringen der sætter den øvre grænse for P-tilførsel, idet P-tilførslen her ikke overskrider fosforlofterne på 30 og 35 kg P/ha ved tilførsel af husdyrgødning med hhv. 170 og 230

kg N/ha (Tabel 1.1). Kun i tilfælde af at man har Jersey på et kvægbrug omfattet af kvægundtagelsen, er det fosforloftet, der sætter grænsen for tilførsel af husdyrgødning, idet tilførsel af gødning svarende til 230 kg N/ha vil medføre, at der tilføres ca. 38 kg P/ha (Tabel 3.10). Dette er 3 kg P/ha højere end fosforloftet på 35 kg P/ha.

Tabel 3.11. P-balancer på svinebedrifter ved maksimal tilførsel af kvælstof med husdyrgødning, og P-balancer ved maksimal tilførsel i forhold til generelt eller skærpet fosforloft.

	Slagtesvin		
	170 kg N/ha	Generelt fosforloft	Skærpet fosforloft
Tilførsel med husdyrgødning, kg P/ha	43,8	35	30
Bortførsel med afgrøder*, kg P/ha	14,7-26,9	14,7-26,9	14,7-26,9
Balance, kg P/ha	16,9-29,1	8,1-20,3	3,1-15,4

	Søer			Smågrise		
	170 kg N/ha	Generelt fosforloft	Skærpet fosforloft	170 kg N/ha	Generelt fosforloft	Skærpet fosforloft
Tilførsel m/husdyrgødning, kg P/ha	40,9	35	30	47,3	35	30
Bortførsel med afgrøder*, kg P/ha	14,7-26,9	14,7-26,9	14,7-26,9	14,7-26,9	14,7-26,9	14,7-26,9
Balance, kg P/ha	14,0-26,2	8,1-20,3	3,1-15,4	20,4-32,6	8,1-20,3	3,1-15,4

*intervallet mellem laveste og højeste bortførsel, jf. tabellerne i afsnit 3.4.

Tabel 3.11 viser beregnede balancer for svinebedrifter, og det ses, at for alle tre svinetyper bliver fosforlofterne overskredet, hvis der tilføres gødning svarende til 170 kg N/ha. For slagtesvin (Tabel 3.11, øverst) overskrides lofterne med 8,8 og 13,8 kg P/ha i forhold til henholdsvis det generelle og det skærpede fosforloft. Balancerne bliver tilsvarende lavere ved anvendelse af fosforlofter. Lignende forhold ses for bedrifter med søer og smågrise (Tabel 3.11, nederst). Det ses endvidere, at ved anvendelse af skærpede fosforlofter er der, usikkerheder taget i betragtning, næsten balance (3,1 kg P/ha) mellem tilførsel og bortførsel ved det højeste udbytniveau, det vil sige på lerjorde.

Tabel 3.12. P-balancer på fjerkræ- og minkbedrifter ved maksimal tilførsel af kvælstof med husdyrgødning, og P-balancer ved maksimal tilførsel i forhold til generelt eller skærpet fosforloft.

	Kyllinger og høns			Mink		
	170 kg N/ha	Generelt fosforloft	Skærpet fosforloft	170 kg N/ha	Generelt fosforloft	Skærpet fosforloft
Tilførsel m/husdyrgødning, kg P/ha	ca. 50	35	30	39,0	35	30
Bortførsel med afgrøder*, kg P/ha	14,7-26,9	14,7-26,9	14,7-26,9	14,7-26,9	14,7-26,9	14,7-26,9
Balance, kg P/ha	23,1-35,3	8,1-20,3	3,1-15,4	12,1-24,3	8,1-20,3	3,1-15,4

*intervallet mellem laveste og højeste bortførsel, jf. tabellerne i afsnit 3.4.

For fjerkræbedrifter (Tabel 3.12) vil der være en betydelig overskridelse af fosforlofterne, hvis der tilføres gødning svarende til 170 kg N/ha, en overskridelse på 15 eller 20 kg P/ha ved henholdsvis det generelle og det skærpede fosforloft gældende fra 2020 og 2018 (Tabel 1.1). For minkbedrifter er det stort set de samme forhold, der gør sig gældende, som beskrevet ovenfor for svinebedrifter.

3.6. Fosfor i afgrøder dyrket ved forskellig tilførsel af fosforgødning i mere end 15 år

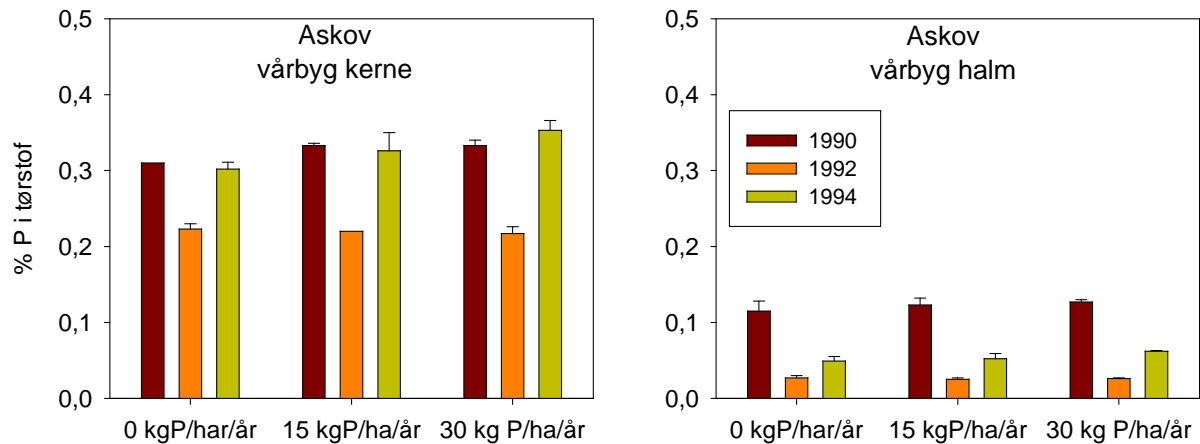
I 1975 blev der anlagt otte fastliggende forsøg ved det daværende Statens Planteavlsforsøg, hvor afgrøder årligt blev tilført forskellige mængder af fosfor med handelsgødning: 0, 15 eller 30 kg P/ha. Her rapporteres fosforkoncentrationer i høstede afgrødedele fra forsøg, der blev fortsat efter 1990, idet koncentrationen af fosfor i afgrøderne fra og med 1990 blev bestemt på parcellniveau. Tidligere blev der alene analyseret på en fællesprøve fra hver behandling. Forsøgene er nærmere beskrevet af Rubæk og Sibbesen (2000), der også opgør udviklingen i udbytter og jordens fosforstatus over tid. Koncentration af fosfor i afgrødedele er ikke tidligere rapporteret, idet fokus i Rubæk og Sibbesen (2000) rapport var på udbytte og udviklingen i jordens fosforstatus. Fosforkoncentrationen blev alene anvendt til at beregne den årlige bortførsel af fosfor. Valg af afgrøder i sædskiftet var frit ved hvert forsøgssted, og forsøgene blev tilført øvrige næringsstoffer, kalket og behandlet efter behov mod sygdomme og ukrudt.

I hele forsøgsperioden var der alene statistisk sikkert udslag for fosfortilførsel på udbyttet i den primære afgrødedel ved tre af forsøgsstederne og først i årene fra 1990 og fremefter (15 år efter forsøgets start). På de sandede jorde ved Tylstrup og Borris var der udslag i vårbyg, havre, kartofler og rajgræs til slæt. Jordens fosforstatus bestemt ved fosfortallet var i 1990 på 4,4 ved Tylstrup og 3,3 ved Borris, når der ikke var tilført fosforgødning. Dette anses for et moderat højt niveau, hvor det alene anbefales at tilføre fosfor svarende til den mængde, der bortføres med afgrøden. I forsøget ved Rønhave var der udslag i udbytte fra 1997 og fremefter, hvor fosfortallet i behandlingen uden P-gødsning var faldet til 2,0. På alle forsøgssteder reduceredes jordens fosforstatus, målt med fosfortallet, kun meget langsomt. Kun i forsøget ved Rønhave faldt fosfortallet til under 2 (Rubæk og Sibbesen, 2000; Rubæk et al., 2005).

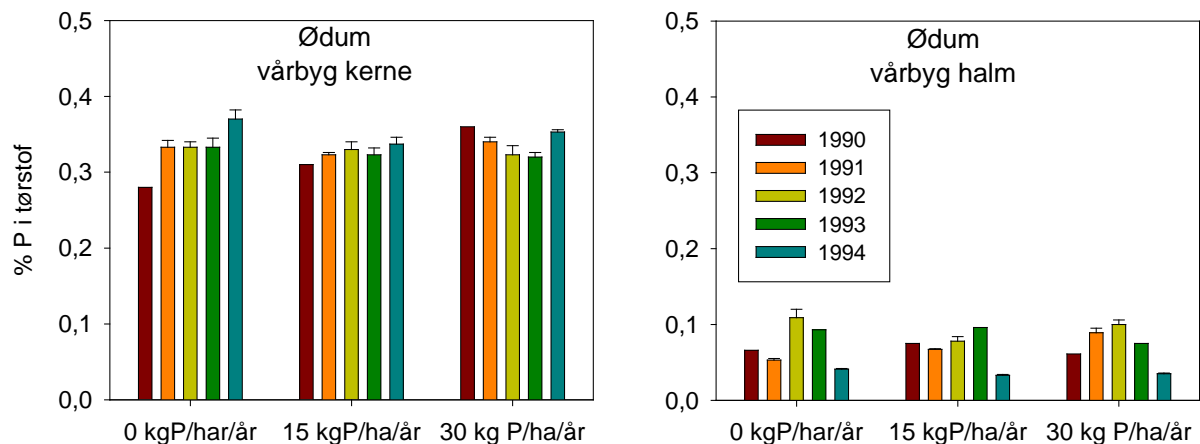
Figur 3.2 til 3.7 viser fosforkoncentrationer i korn og halm ved seks af forsøgssteder fra og med 1990. Figur 3.8 til 3.10 viser fosforkoncentrationer i rajgræs, kartoffel, kløvergræs og foderroe. For disse afgrøder har mængden af tilført fosfor haft en vis betydning for koncentrationen af fosfor i de indhøstede afgrøde. I Appendiks 3 vises alle målte fosforkoncentrationer fra og med 1990 for alle seks forsøgssteder. Tabellerne angiver også fosfortallet for hvert forsøgssted i år 1990 og ved forsøgenes afslutning. For år med signifikant forskel i tørstofudbyttet mellem behandlingerne med fosfor i den primære afgrødedel (f.eks. kerne for korn) ifølge Rubæk og Sibbesen (2000) er angivet en * efter årstallet i tabellerne i Appendiks 3 og i figur 3.2 - 3.10. Det understreges, at effekten på afgrøden er en kombination af den årlige tilførsel af fosfor og den tilførsel af fosfor, der har fundet sted de foregående år. Behandlingen uden årlig tilførsel af fosfor har været udsat for en fortsat reduktion af jordens fosforpulje, medens behandlingen med en årlig tilførsel af 15 kg P/ha på de fleste forsøgssteder har kunnet vedligeholde niveauet af fosfor i jorden. Ved årlig tilførsel af 30 kg P/ha øges jordens pulje af fosfor i løbet af forsøgsperioden.

Vårbyg blev dyrket ved alle seks forsøgssteder. Ved Ødum og Roskilde var vårbyg den eneste afgrøde, der blev dyrket i perioden. Ved forsøget i Askov blev laveste fosforkoncentration i kerne (0,21% P) fundet i 1992. Denne koncentration er usædvanligt lav. Største koncentration (0,37% P) blev målt ved Rønhave i 1996.

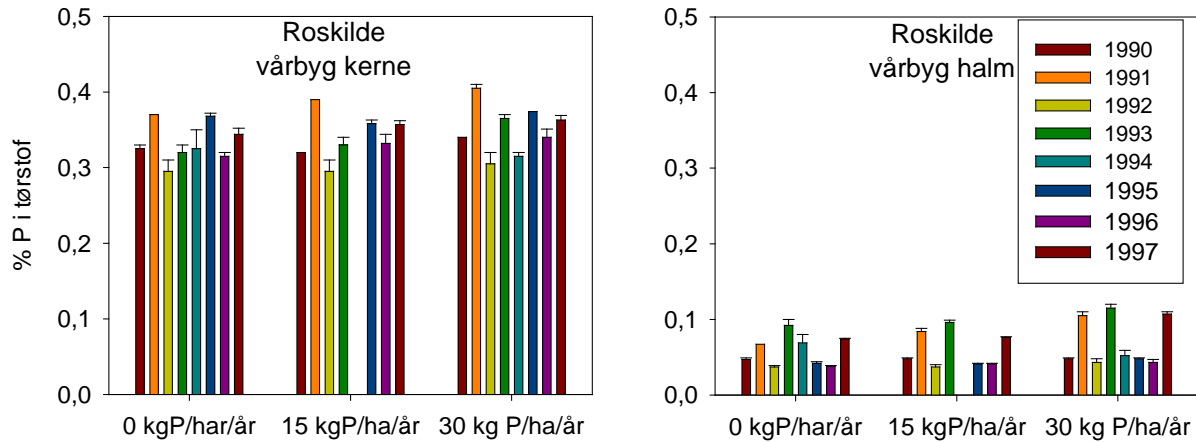
Koncentrationen af fosfor varierer betydeligt mere mellem år end mellem behandlinger det enkelte år ved hvert forsøgssted. Største forskel i fosforkoncentration i vårbyg kerne mellem behandlingerne 0 og 30 kg P/ha/år var 0,05% P og blev målt i Askov i 1994 og Roskilde i 1997. I langt de fleste tilfælde var der kun mindre og ikke systematiske forskelle mellem fosforniveauer (Figur 3.2 til 3.7).



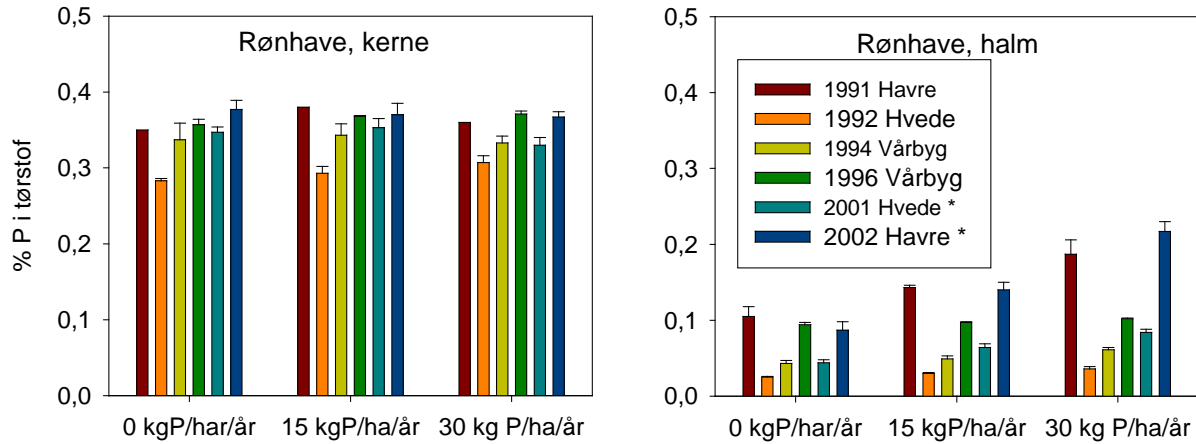
Figur 3.2. Koncentrationen af fosfor i kerne og halm af vårbyg dyrket i det langvarige fosforgødningsforsøg ved Askov. For nærmere beskrivelse se tekst og Appendiks 3.



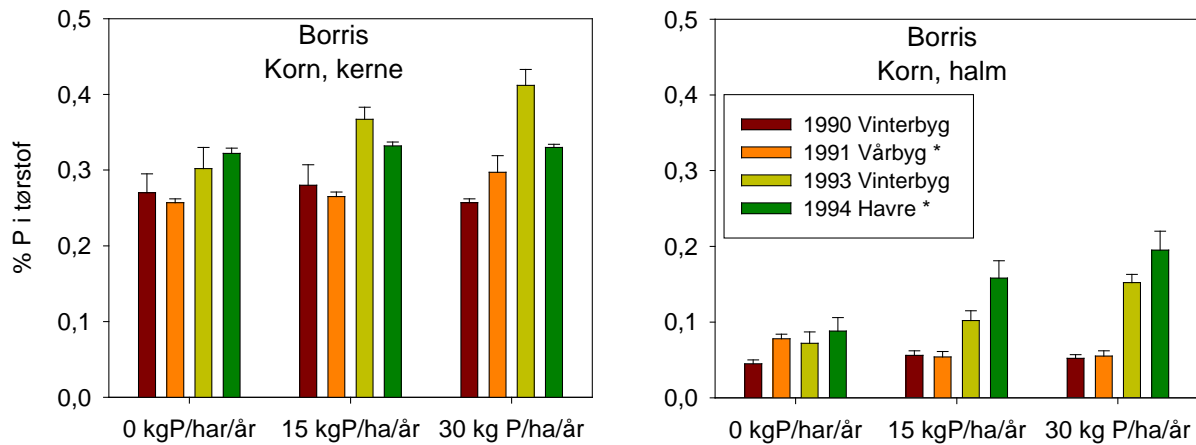
Figur 3.3. Koncentrationen af fosfor i kerne og halm af vårbyg dyrket i det langvarige fosforgødningsforsøg ved Ødum. For nærmere beskrivelse se tekst og Appendiks 3.



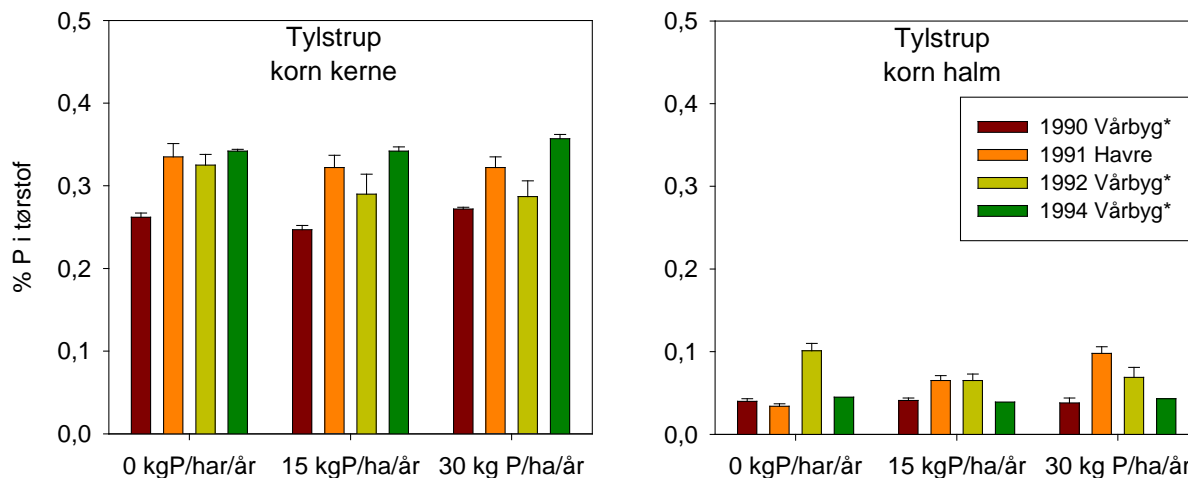
Figur 3.4. Koncentrationen af fosfor i kerne og halm af vårbøg dyrket i det langvarige fosforgødningsforsøg ved Roskilde. For nærmere beskrivelse se tekst og Appendiks 3.



Figur 3.5. Koncentrationen af fosfor i kerne og halm af forskellige kornafgrøder dyrket i det langvarige fosforgødningsforsøg ved Rønhave. For nærmere beskrivelse se tekst og Appendiks 3. * efter afgrøde angiver at der var signifikante forskelle i tørstofudbyttet mellem gødningsniveauerne dette år.



Figur 3.6. Koncentrationen af fosfor i kerne og halm af forskellige kornafgrøder dyrket i det langvarige fosforgødningsforsøg ved Borris. For nærmere beskrivelse se tekst og Appendiks 3. * efter afgrøde angiver, at der var signifikante forskelle i tørstofudbyttet mellem gødningsniveauerne dette år.



Figur 3.7. Koncentrationen af fosfor i kerne og halm af forskellige kornafgrøder dyrket i det langvarige fosforgødningsforsøg ved Tylstrup. For nærmere beskrivelse se tekst og Appendiks 3. *efterafgrøde angiver, at der var signifikante forskelle i tørstofudbyttet mellem gødningsniveauerne dette år.

Koncentrationen af fosfor i vårbyg halm varierer mellem år og forsøgssteder. Derimod ses der ikke en variation, der kan relateres til det enkelte års fosfortilførsel og til det enkelte forsøgssted. Største forskel i koncentrationen af fosfor i vårbyg halm blev fundet i forsøget ved Roskilde i 1997, hvor 30 kg P/ha/år gav en koncentration i halm på 0,11% P, medens koncentrationen i behandlingen uden P gødskning var 0,07% P.

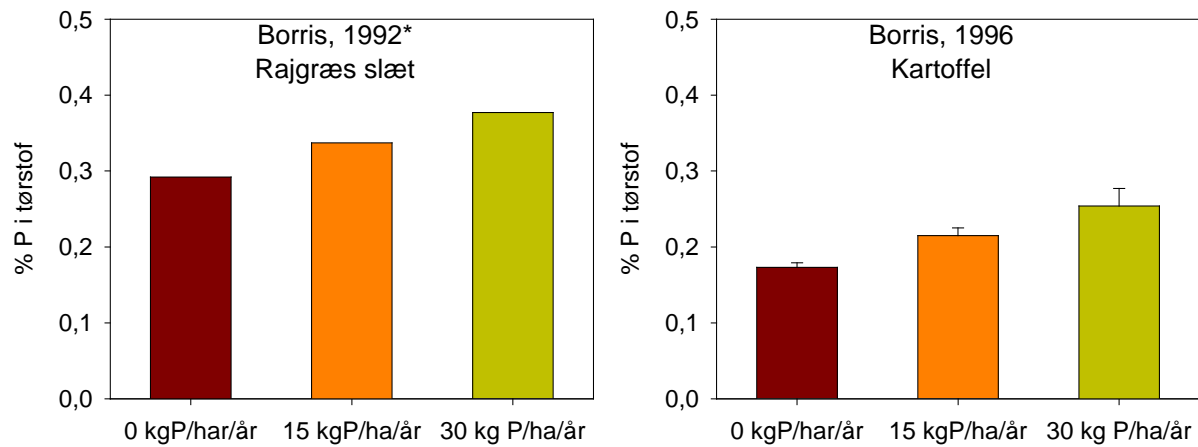
Vinterbyg indgik som afgrøde i 1990 og 1993 ved Borris. I 1991 var der ikke forskel i koncentrationen af fosfor mellem forsøgsbehandlinger, mens der i 1993 var en tydelig tendens til øget koncentration i både kerne og halm ved stigende tilførsel af fosfor. Der var ikke signifikant forskel i tørstofudbyttet mellem behandlingerne i disse to forsøgsår (figur 3.6).

Vinterhvede dyrket ved Rønhave i årene før 1992 viste ikke behandlingseffekt på tørstofudbyttet, mens der for hvede dyrket i 2001 var udslag for fosforgødsning på tørstofudbyttet. I 1992 var der en meget svag tendens til øget fosforkoncentration i kernen mellem den ugødede behandling (0,28% P) og behandlingen med årlig tilførsel af 30 Kg P/ha (0,31% P). Den tilsvarende koncentration af fosfor i halm var henholdsvis 0,025 og 0,036% P (Figur 3.5). I 2001, hvor udbyttet var reduceret i behandlingen uden tilførsel af fosforgødning, var der forskel i koncentrationen af fosfor i halm men ikke i kernen.

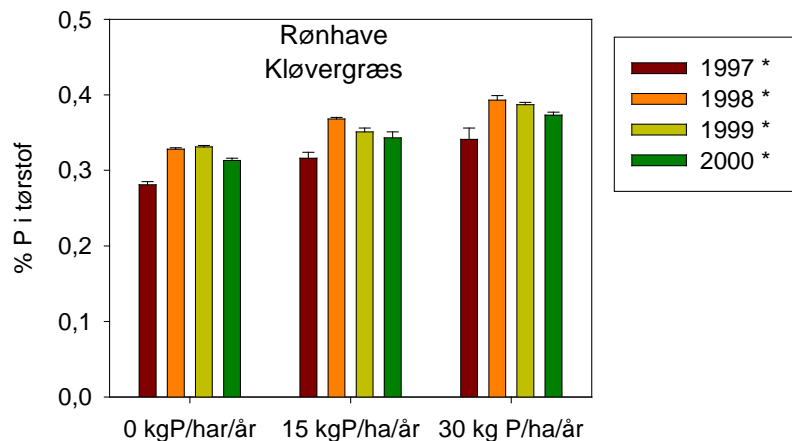
Havre blev dyrket ved Rønhave i 1991 og 2002, ved Borris i 1994 og ved Tylstrup i 1991. I ingen tilfælde blev der fundet forskelle i koncentrationen af fosfor i kerne, som kunne relateres til forskellig tilførsel af fosforgødning. Derimod var koncentrationen af fosfor i havre-halm påvirket af fosfortilførsel (Figur 3.5 til 3.7)

Der blev dyrket rajgræs til slæt ved Borris i 1992 og kløvergræs til slæt ved Rønhave i årene 1997-2000 (Figur 3.8 og 3.9). Alle år og steder blev der fundet en stigende fosforkoncentration i tørstof ved stigende tilførsel af fosforgødning. Ved Rønhave blev der ikke tilført kvælstofgødning i 1998, 1999 og 2000. For disse

år blev der bestemt en højere fosforkoncentration i den indhøstede plantemateriale end i det første forsøgsår. Det kan skyldes en stigende kløverandel, når der ikke tilføres kvælstofgødning.



Figur 3.8. Koncentrationen af fosfor i rajgræs og kartofler dyrket i det langvarige fosforgødningsforsøg ved Borris. For nærmere beskrivelse se tekst og Appendiks 3. * efterafgrøde angiver, at der var signifikante forskelle i tørstofudbyttet mellem gødningsniveauerne dette år.



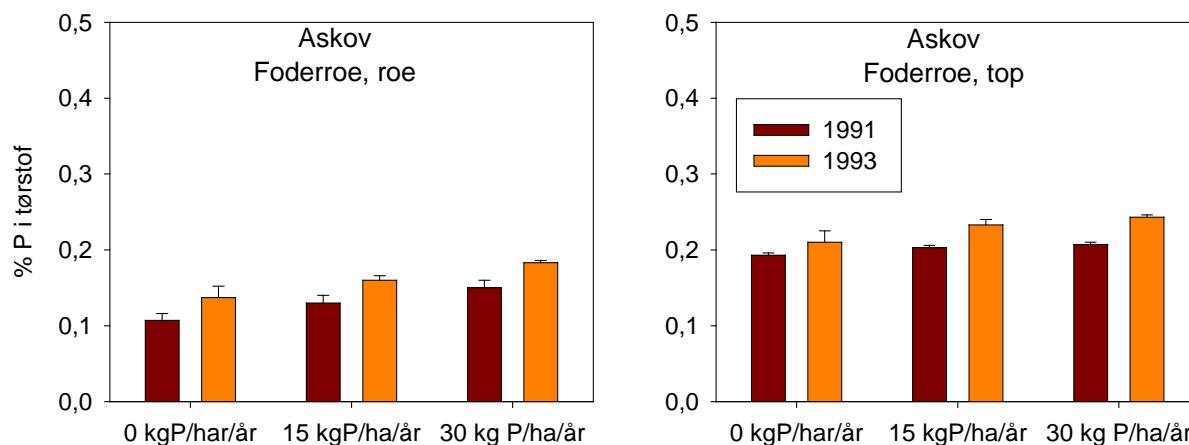
Figur 3.9. Koncentrationen af fosfor i kløvergræs til slæt (gennemsnit af fire slæt) i det langvarige fosforgødningsforsøg ved Rønhave. Kvælstof blev kun tilført i 1997. For nærmere beskrivelse se tekst og Appendiks 3. * efter afgrøde angiver, at der var signifikante forskelle i tørstofudbyttet mellem gødningsniveauerne dette år.

For foderroer (Askov 1991 og 1993, figur 3.10) og kartofler (Borris 1996, figur 3.8) resulterede en stigende tilførsel af fosforgødning i en stigende fosforkoncentration i det høstede plantemateriale.

Græs til frø og ærter har også været dyrket i forsøget et enkelt år ved henholdsvis Rønhave og Borris. Disse afgrøder viste ikke forskelle i fosforkoncentrationen mellem behandlinger (Appendiks 3)

Det foreliggende datamateriale omfatter ikke alle afgrøder, og vi råder ikke over data for raps og majs. Flere afgrøder optræder kun en eller få gange, hvilket begrænser mulighederne for at generalisere med hensyn til, hvordan og hvor meget fosforkoncentrationen i afgrøderne vil reagere på forskellig tilførsel af fosfor.

Størrelsesordenen af de fosforkoncentrationer, der er præsenteret her for de enkelte afgrøder, er i rimelig god overensstemmelse med de koncentrationer, der er vist tabel 3.1



Figur 3.10. Koncentrationen af fosfor i roe og roetop dyrket i det langvarige fosforgødningsforsøg ved Askov. For nærmere beskrivelse se tekst og Appendiks 3.

Konklusion

For korn kan det overordnet konkluderes, at fosforkoncentrationen i den afhøstede kerne ikke påvirkes nævneværdigt af fosforgødsning. Bortførslen af fosfor med kerne afhænger derfor først og fremmest af udbytteneiveauet. For vårbyg, hvor der findes observationer for alle seks forsøgssteder og for adskillige forsøgsår, var der forholdsvis stor variation i fosforkoncentration mellem år og forsøgssted for både halm og kerne. Denne variation skyldes formentlig forskelle i de generelle dyrkningsforhold i de enkelte år, men også sortsvalg kan have haft betydning. Det bemærkes, at halm af havre ofte viser en højere fosforkoncentration end de øvrige kornarter, og at koncentrationen af fosfor i havrehalm er mere følsom over for tilførsel af fosforgødning end halm af de øvrige kornarter.

Koncentrationen af fosfor i græs til slæt, roer og kartofler var alle følsomme over for fosforgødsning og bortførsel af fosfor med disse afgrøder vil derfor afhænge både af høstudbyttets størrelse og af hvor velgødet afgrøden er med fosfor.

4. Alternative muligheder for anvendelse af startgødning i majs

Ved dyrkning af majs er det indtil nu blevet anbefalet, at anvende mineralsk startgødning bestående af især kvælstof og fosfor, idet den tidlige vækst af majs ofte er begrænset af kvælstof og fosfor. Startgødning placeres samtidig med såning af majs og skal helst være i en koncentreret og lettilgængelig form, som i mineralsk gødning. Det betyder, at der på de fleste husdyrbedrifter med majs stadig tilføres mineralsk fosfor ud over det fosfor, der tilføres med husdyrgødningen. Specielt på undtagelsesbrugene anvendes der så meget fosfor med husdyrgødningen, at fosforloftet nås ved denne praksis. Der er derfor ikke længere råderum til at anvende mineralsk fosforgødning uden samtidigt at reducere tilførslen af husdyrgødning, og dermed ikke bare mindre fosfor men også mindre kvælstof med husdyrgødningen.

Udenlandske forsøg har dog vist, at placering af gylle tæt på majsrækker kan give udbytter på samme niveau som ved anvendelse af mineralsk startgødning (tabel 4.1) (Bittman et al., 2012; Schröder et al., 2015).

Tabel 4.1. Majsudbytter målt i hollandske markforsøg med placering af gylle (kun nedfældning ved hver række) sammenlignet med traditionel nedfældning af gylle (20 cm) med og uden fosfor startgødning. Gennemsnit af 11 forsøg på sandjord gennemført i årene 1993-2000. Forskellige bogstaver angiver statistisk sikre forskelle (Schröder et al., 2015).

Gødning	Udbytte tons tørstof/ha
0 P	11,7 a
Gylle nedfældet, 20 cm afstand mellem nedfældningsspor	12,8 b
Gylle nedfældet, 20 cm afstand, + mineralsk P startgødning	14,2 c
Gylle placeret ved såning, 75 cm rækkeafstand	14,0 c

Potteforsøg gennemført ved Aarhus Universitet har vist, at fosforvirkningen af placeret kvæggylle afhænger af, hvornår og hvordan gyllen fordeles i jorden (Pedersen et al., 2017). Markforsøg gennemført 2016-2018 ved Aarhus Universitet i samarbejde med SEGES har vist, at der også under danske forhold kan opnås en gødningsvirkning af placeret kvæggylle, der er på højde med anvendelse af mineralsk fosfor i startgødning (Oversigt over Landsforsøg, 2016,2017, 2018). Ved placering af gylle var både fosforkoncentration i unge majsplanter og tørstofudbytte ved høst på et niveau, som svarer til anvendelse af mineralsk fosforgødning (Tabel 4.2). I nogle forsøg er der endda opnået bedre virkning af placeret gylle, der var forsuret til pH 5-5,8 eller var tilsat nitrifikationshæmmer. Ved forsuring øges opløseligheden af fosfor i gyllen (Pedersen et al., 2017), og anvendelse af nitrifikationshæmmer i gyllen sikrer, at kvælstof forbliver på ammoniumform i længere tid. Ved plantens optagelse af kvælstof på ammoniumform forsures det rod nære jordmiljø, og forsuringen kan øge tilgængeligheden af fosfor fra gyllen (Jing et al., 2012). Anvendelse af nitrifikationshæmmer vil i nogle tilfælde også kunne reducere risikoen for nitratudvaskning.

De danske markforsøg er gennemført ved placering af gylle på pløjet jord umiddelbart før såning. Der findes endnu meget lidt udstyr på markedet, der kan placere husdyrgødning tilstrækkeligt præcist. Et nystartet GUDP projekt (GylleMajs) har derfor som formål at udvikle og dokumentere effekten af kommercielt udstyr til placering af gylle før såning af majs.

En alternativ mulighed for fortsat at anvende mineralsk fosfor som startgødning på bedrifter med for meget fosfor i husdyrgødningen er at separere gyllen i en flydende fraktion med et relativt lavt indhold af fosfor og efterfølgende eksportere den tørstof- og fosforrige fraktion fra bedriften. Separering af gylle på bedriften har hidtil kun været anvendt i begrænset omfang bl.a. på grund af omkostningerne forbundet med separering (Poulsen *et al.*, 2019).

Tabel 4.2. Udbytte og kvalitet af majs ved normal udbringning (kvæggylle nedfældet og pløjet) og ved placering af kvæggylle. Placering skete med to typer skær, med og uden forsuring eller tilsætning af nitrifikationshæmmer (Vizura). Gennemsnit af 3 markforsøg gennemført ved Aarhus Universitet i 2017 og 2018. (Oversigt over Landsforsøg, 2018).

Majs	Start-gødn., kg pr. ha		NH ₄ -N i gylle, kg pr. ha	Nedfældningssystem ¹⁾	pH i gylle	Liter Vizura pr. ha	Pct. tørstof	Gram pr. kg tørstof		NEL ₂₀ , MJ pr. kg tørstof	Udbytte og merudb. pr. ha				Fht. for udbytte, a.e.
	N	P						råprotein	stivelse		hkg tørstof	hkg stivelse	hkg råprotein	NEL ₂₀ a.e.	
2017 - 2018. 3 forsøg															
1.	0	0	128	Nedfældet og pløjet	7.5		36.8	69	371	5.89	161.1	60.2	11.0	128.4	100
2.	20	0	106	Nedfældet og pløjet	7.5		37.7	69	373	5.88	1.7	0.5	0.2	0.4	100
3.	20	10	106	Nedfældet og pløjet	7.5		38.3	70	401	5.87	4.3	6.5	0.4	2.1	102
4.	20	30	106	Nedfældet og pløjet	7.5		38.7	69	382	5.88	7.6	4.6	0.5	5.7	104
5.	20	0	109	Tandplaceret, forsuret	5.6		37.9	68	381	5.96	11.1	5.9	0.6	10.5	108
6.	20	0	109	Tandplaceret, forsuret	5.6	2	38.0	67	365	5.87	11.0	2.6	0.5	7.9	106
7.	20	0	106	Tandplaceret	7.5		37.1	69	371	5.92	6.4	1.9	0.5	5.8	105
8.	20	0	106	Tandplaceret	7.5	2	37.4	69	368	5.88	7.0	2.0	0.5	5.1	104
9.	20	0	109	Gåsefodsplaceret, forsuret	5.6		37.8	69	374	5.95	11.6	4.2	0.8	10.3	108
10.	20	0	109	Gåsefodsplaceret, forsuret	5.6	2	37.6	69	367	5.88	8.8	2.3	0.7	6.5	105
11.	20	0	106	Gåsefodsplaceret	7.5		36.3	70	381	5.89	8.1	4.5	0.9	5.7	104
12.	20	0	106	Gåsefodsplaceret	7.5	2	37.6	68	356	5.82	16.1	2.7	0.8	10.2	108
LSD											7.8	ns	ns	ns	

¹⁾ Nedfældet = Traditionel nedf. med 24 cm skærafstand. Tandplaceret = Placeret mellem og under sårækker m. Samson CM tand med 37,5 cm skærafstand i 10 cm dybde. Gåsefodsplaceret = Placeret m 24 cm gåsefodsskær med 75 cm skærafstand i 10 cm dybde under sårækker.

Konklusion

En række forsøg har vist, at placering af gylle umiddelbart under majsrækken kort tid før såning kan være en attraktiv løsning. Denne fremgangsmåde forventes også at reducere risikoen for nitratudvaskning ved dyrkning af majs. Ved anvendelse af GPS-udstyr er det teknisk muligt at placere gyllen i forhold til efterfølgende rækkesåning med få centimeters præcision. Der er endnu begrænset adgang til udstyr til placering af gyllen i pløjet jord, men velegnet udstyr forventes at blive tilgængeligt på markedet inden for få år.

5. Fosfor tilgængelighed i forskellige husdyrgødningstyper

Efter udbringning bindes fosfor generelt hurtigt og effektivt til jorden, og tabet af fosfor fra dyrket jord til overfladevand er meget begrænset (typisk < 0,4 kg P/ha/år). Afgrøderne dækker langt størstedelen af deres samlede fosforbehov ved optagelse fra jordens fosforpulje (McLaughlin et al., 1988). Da binding af fosfor til jord afhænger af den form, som fosfor findes på i gødningen, er det relevant at undersøge, om virkning af fosfor tilført med husdyrgødning adskiller sig fra virkningen af fosfor tilført med handelsgødning. Det gælder både den kortsigtede og den langsigtede virkning.

5.1. Tilgængelighed af fosfor på kort sigt

Fosfor i husdyrgødning findes både bundet i organisk materiale herunder mikroorganismer, som opløst organisk/uorganisk fosfor og som udfældede fosforforbindelser med varierende opløselighed (f.eks. struvit og dicalciumfosfat). Efter lagring af husdyrgødning findes hovedparten af fosfor som uorganiske forbindelser. Sharpley and Moyer (2000) fandt, at 16-63% af fosfor i forskellige typer husdyrgødning kunne ekstraheres med vand, og denne fosforandel kan anses for at være let tilgængeligt for planter.

I tabel 5.1. er vist virkningen af fosfor i forskellige typer husdyrgødning målt i et pottforsøg, hvori også indgik forskellige typer af rest-/affaldsprodukter.

Tabel 5.1. Gødningsvirkning af fosfor tilført med husdyrgødning og andre organiske gødninger angivet i % i forhold til letopløseligt mineralsk P reference gødning (superfosfat) målt i pottforsøg med rajgræs dyrket i sandjord (Delin, 2016).

Gødningstype	Gødningsvirkning 1. slæt (%)	Gødningsvirkning 1. + 2. slæt (%)*
Kyllingegødning (fast)	77	64
Kvæggylle	57	59
Mink gødning (fast)	43	69
Biogasgødning (fra plante biomasse)	85	67
Biogasgødning (slagteriaffald)	80	64
Aske fra hvedehalm	78	86
Aske fra havrekerner	78	55
Maltaffald fra bryggeri	74	65
Kødmel	44	60
Benmel	42	44
Slam (jern fældning)	37	63
Slam (aluminium fældning)	33	40
Aske Rapshalm	19	52
Slam (kalcium behandlet)	-4	13

* Samlet effekt i to slæt.

Delin (2016) og andre forsøg har vist, at den kortsigtede tilgængelighed af fosfor i husdyrgødning, målt ved optagelse af fosfor i planter pottforsøg, oftest er lavere end for letopløselige mineralske fosforgødninger som superfosfat. I undersøgelsen af Delin (2016) var tilgængeligheden af fosfor i husdyrgødning i forhold til

superfosfat 43-77% afhængigt af, om der blev målt på planteoptagelsen af fosfor i et eller to slæt af græs. Der var ikke klare forskelle mellem de forskellige typer husdyrgødning (Delin, 2016). Gødningsvirkningen af fosfor i husdyrgødninger var på samme niveau som for en række organiske gødninger/restprodukter og visse asker (tabel 5.1). Gødningsvirkningen af fosfor i slam varierede i denne undersøgelse med fældningsmetoden.

I et hollandsk pottforsøg fandtes tilsvarende gødningsvirkninger af fosfor på 36-57% for komposteret husdyrgødning og bioforgasset svinegylle (Velthof et al., 1998). I dette forsøg blev husdyrgødningen blandet med rent sand og optagelsen af fosfor blev efterfølgende målt i top og rod af alm. rajgræs og sammenlignet med tripel-superfosfat som reference gødning.

I et pottforsøg med vårbyg udført ved Aarhus Universitet i 2018 (Jing et al., upubliceret) var fosforoptagelsen fra de fleste af de testede typer af husdyrgødning (kvæggylle, svinegylle, fjerkrægødning, og to typer af minkgylle) på højde med fosforoptagelse ved tilførsel af tripel-superfosfat (dvs. en relativ gødningsvirkning tæt på 100%). Dog var der en tendens til, at virkningen af fosfor i svinegylle var højere end virkningen af fosfor i en minkgødning, som var udtaget direkte fra minkbure. Derimod var virkningen af fosfor i minkgylle udtaget fra en lagertank på samme niveau som for andre typer gylle (Jing et al., upubliceret).

Ændringer i fodringen af husdyr, herunder ændringer i tilsætning af foderfosfat, kan have indflydelse på tilgængeligheden af fosfor i husdyrgødning. Vi har ikke kendskab til undersøgelser af, hvad varierende fodring kan betyde for gødningsvirkningen af fosfor, men det vurderes, at evt. ændringer i sammensætningen af husdyrgødningen ved justeringer i fodringen har mindre betydning for virkningen af fosfor i gødningen. Ændringer i fodersammensætningen kan derimod have stor betydning for, hvor meget fosfor der udskilles i husdyrgødningen.

I danske markforsøg observeres der kun sjældent signifikante merudbytter i kornafgrøder ved tilførsel af fosfor, selv på jorde med lavt fosfortal (Vestergaard og Knudsen, 2016; Christel, 2014). Det viser, at disse afgrøder ofte får deres behov dækket af fosfor frigivet fra jorden. I Landsforsøg 2017-18 med vinterhvede er der dog målt signifikante merudbytter ved placering af diammoniumfosfat (DAP) i forhold til placering af ren ammoniumgødning om efteråret på arealer med fosfortal under 2,5 (Oversigt over Landsforsøg, 2018).

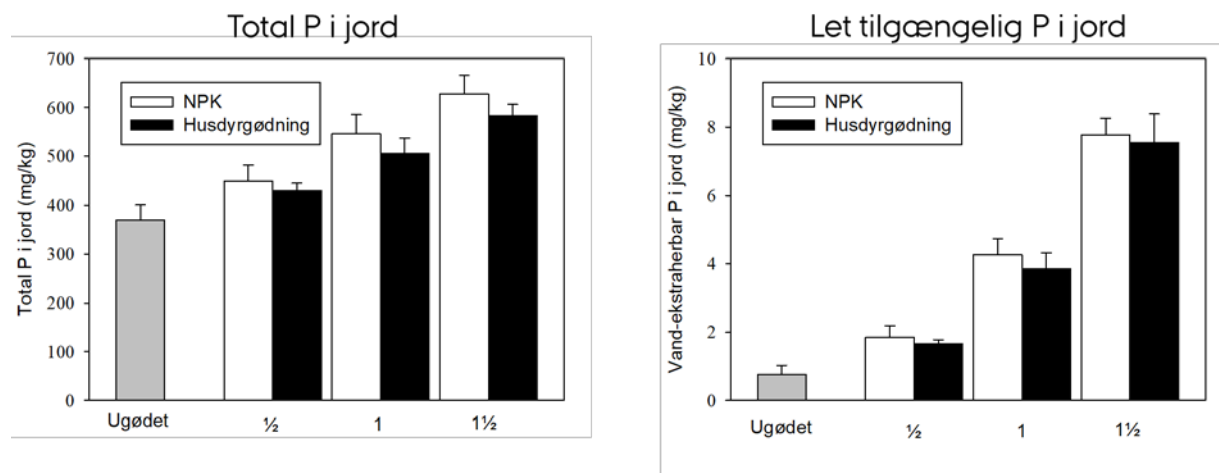
Majs viser derimod oftere udbytterespons på tilførsel af fosfor, der placeres som mineralsk startgødning ved såning (se afsnit 4 om startgødning til majs). Det må forventes at også andre afgrøder (f.eks. visse grøntsagsafgrøder) har en udbytterespons ved tilførsel af fosfor i startgødning, men vi har i forbindelse med denne rapport ikke lavet en målrettet søgning på litteratur herom.

Selv om fosfor i husdyrgødning kan have en umiddelbart lavere tilgængelighed end fosfor i handelsgødning, vil der ved placering af husdyrgødning i rækkeafgrøder som majs kunne opnås en virkning, der er på

højde med handelsgødning (Pedersen et al., 2017) og fordeling og tidspunkt for udbringning af gylle forventet at have betydning for udnyttelsen af fosfor i gyllen i tidlige vækststadier. Ved forsuring af gylle kan opløseligheden af fosfor øges og på nogle jordtyper medføre en større fosfor tilgængelighed (Pedersen et al., 2017).

5.2. Tilgængelighed af fosfor på længere sigt

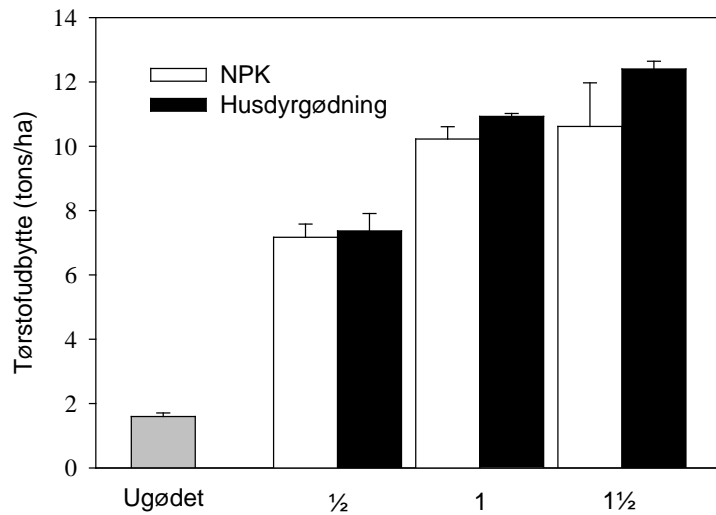
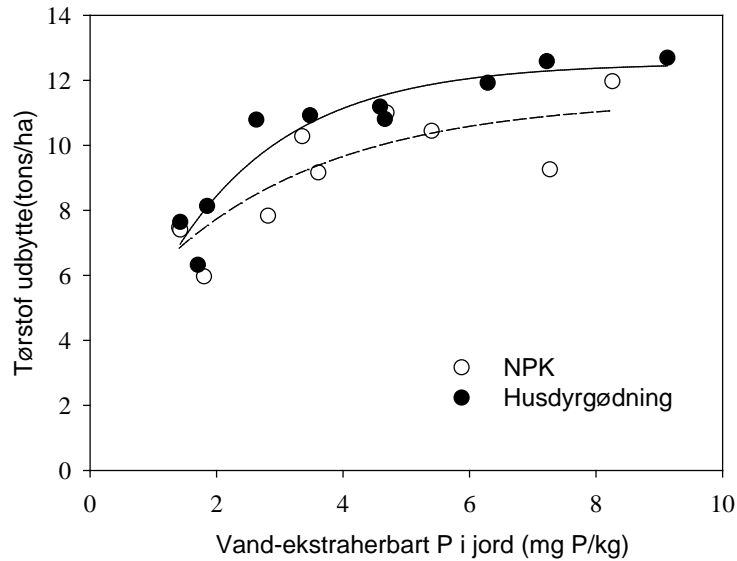
I de langvarige gødningsforsøg ved Askov Forsøgsstation, Aarhus Universitet har der siden 1894 været fastholdt behandlinger med forskellige niveauer af handelsgødning og husdyrgødning. Forsøgene muliggør en direkte sammenligning af samme tilførsel af total P med enten handelsgødning eller husdyrgødning. Siden 1973 er der anvendt kvæggylle som husdyrgødning. I en nyligt afsluttet undersøgelse blev vandekstraherbart fosfor brugt som mål for plantetilgængeligt fosfor i jord dyrket med majs, hvor også højdeudviklingen af majsplanterne og majsudbyttet blev bestemt. Vandekstraherbart fosfor kan betragtes som en alternativ metode til fosfortallet. Figur 5.1. viser et stigende indhold af total P i jorden ved stigende gødningsniveau. Der var en tendens til et mindre indhold af total P i det øverste jordlag, når fosfor blev tilført med husdyrgødning frem for handelsgødning. Denne forskel kan skyldes en kombination af større udbytte, og dermed større bortførsel af fosfor i hele sædskiftet og en øget allokering af fosfor til underjorden efter tildelelse af fosfor med husdyrgødning. Koncentrationen af vandekstraherbart fosfor var stort set den samme i jord gødet med handelsgødning, som i jord gødet med husdyrgødning (Fig. 5.1).



Figur 5.1. Koncentration af total fosfor og vandekstraherbart fosfor målt i pløjelaget (0-25 cm) omkring 1. august i en majsafgrøde i det langvarige gødningsforsøg på Askov Forsøgsstation. Forsøgsparcellerne er siden 1894 blevet tilført forskellige niveauer af enten handelsgødning (NPK) eller husdyrgødning (kvæggylle) (Jing et al., 2019).

Figur 5.2. viser, at der i det langvarige forsøg var en god sammenhæng mellem koncentrationen af vandekstraherbart fosfor i jorden og udbyttet af majs, men også at udbyttet af majs var lidt højere i parceller med husdyrgødning. Det højere udbytte efter husdyrgødningen kan tilskrives en kombination af eftervirkning af kvælstof og effekter af organisk stof og mikronæringsstoffer tilført med husdyrgødningen. Jing et al.

(2019) fandt en klar sammenhæng mellem ekstraherbart fosfor i jord og majsens vækst tidligt på sæsonen. Hverken handels- eller husdyrgødningen blev placeret, og majsens var derfor afhængig af den generelle tilgængelighed af fosfor i jorden.



Figur 5.2. Sammenhæng mellem tørstofudbytte i majs, koncentration af vandekstraherbart fosfor i pløjelaget og tørstofudbytte i det langvarige gødningsforsøg ved Askov Forsøgsstation. Der er tilført forskellige niveauer af henholdsvis handelsgødning (NPK) og husdyrgødning (Jing et al., 2019).

Et tidligere studie (Rubæk og Sibbesen, 1995) i samme mark dyrket med vinterhvede viste, at heller ikke fosfortallet (Pt) var påvirket af gødningstypen, når der var tildelt samme mængde fosfor i henholdsvis husdyr- og handelsgødning i mere end 100 år.

Vi konkluderer på baggrund af Askov-forsøgene, at på lang sigt adskiller tilgængeligheden af fosfor tilført med husdyrgødning sig ikke fra tilgængeligheden af fosfor tilført med handelsgødning. Man kan derfor fortsat beregne balancen mellem tilført og bortført fosfor uden at tage hensyn til de kortvarige og beskedne forskelle i tilgængeligheden af fosfor i henholdsvis handelsgødning og husdyrgødning.

Referencer

- Birkmose, T., Hørfarter, R. (2017). Konsekvens af ny fosforregulering på harmonikrav på landsplan. www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Goedskning/Goedningsplanlaegning-og-reg-ler/Sider/tsb20171221_Konsekvens_paa_landsplan.aspx
- Bittman, S., Liu, A., Hunt, D. E., Forge, T. A., Kowalenko, C. G., Chantigny, M. H., and Buckley, K. (2012). Precision Placement of Separated Dairy Sludge Improves Early Phosphorus Nutrition and Growth in Corn (*Zea mays* L.). *Journal of Environmental Quality* **41**, 582-591.
- Christel, W. (2014). Upgrading of the solid fraction of pig slurry as phosphorus fertilizer. The impact of biological and thermal processing on P availability. PhD thesis. Københavns Universitet.
- Danmarks Statistik (2018a) HST77: Høstresultat efter afgrøde og enhed (2006-2017). Statistikbanken.
- Danmarks Statistik (2018b) HALM1: Halmudbytte og halmanvendelse efter område, afgrøde, enhed og anvendelse (2006-2017). Statistikbanken.
- Delin, S. (2016). Fertilizer value of phosphorus in different residues. *Soil Use and Management* **32**, 17-26.
- Folketingstidende (2017). Lovforslag nr L 114. Forslag til Lov om ændring af lov om miljøgodkendelse m.v. af husdyrbrug, lov om miljøbeskyttelse, lov om jordbrugets anvendelse af gødning og om plante-dække og forskellige andre love. https://www.ft.dk/ripdf/samling/20161/lovforslag/1114/20161_1114_som_fremsat.pdf
- Glaesner, N., Kjaergaard, C., Rubæk, G. H., and Magid, J. (2011). Interactions between Soil Texture and Placement of Dairy Slurry Application: II. Leaching of Phosphorus Forms. *Journal of Environmental Quality* **40**, 344-351.
- Hahn, C., Prasuhn, V., Stamm, C., and Schulin, R. (2012). Phosphorus losses in runoff from manured grassland of different soil P status at two rainfall intensities. *Agriculture Ecosystems & Environment* **153**, 65-74.
- Heckrath, G., Brookes, P. C., Poulton, P. R., and Goulding, K. W. T. (1995). Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the broadbalk experiment. *Journal of Environmental Quality* **24**, 904-910.
- Jing, J., Christensen, J.T., Christensen, B.T., Sørensen, P., Rubæk, G.H. (2019). Long-term effects of animal manure and mineral fertilizers on phosphorus availability and silage maize growth. *Soil Use and Management* **35**, 323-333.
- Jing, J., Zhang, F., Rengel, Z., and Shen, J. (2012). Localized fertilization with P plus N elicits an ammonium-dependent enhancement of maize root growth and nutrient uptake. *Field Crops Research* **133**, 176-185.
- Kristensen, I. S., Kristensen, I. T., Halberg, N., and Kristensen, T. (2003). "Estimering af N-balancer og -tab fra landbrugsbedrifter i et sammenhængende område ved anvendelse af registerdata og typebedrifter . Illustration af metoden anvendt i Mariager Fjord opland. Vandmiljøplan III. Rapport fra teknisk undergruppe:

http://www.vmp3.dk/Files/Filer/Rap_fra_t_grupper/teknisk-undergr-Mariager_Fjord_final.pdf

Kristensen, I. S., Kristensen, T., and Kristensen, I. T. (2006). "Omlægning af konventionelle kvægbrug med lav belægning til økologisk mælkeproduktion, konsekvenser for kvælstoftab. Notat til kap 3 i " Virkemidler til realisering af målene i EUs Vandramme-direktiv". Udredning for udvalg nedsat af Finansministeriet og Miljøministeriet: Langsigtet indsats for bedre vandmiljø.

Se http://www2.dmu.dk/Pub/FR625_Final.pdf

Kronvang, B., Rubæk, G. H., and Heckrath, G. (2009). International Phosphorus Workshop: Diffuse Phosphorus Loss to Surface Water Bodies—Risk Assessment, Mitigation Options, and Ecological Effects in River Basins. *Journal of Environmental Quality* **38**, 1924-1929.

Landbrugsstyrelsen (2017). Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2017 til 31. juli 2018. Miljø- og fødevarerministeriet, Landbrugsstyrelsen.

Landbrugsstyrelsen (2018). Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2018 til 31. juli 2019 1. revision, maj 2018, 195 pp.

McLaughlin, M.J., Alston, A.M., Martin, J.K. (1988). Phosphorus cycling in wheat-pasture rotations: 1. The source of phosphorus taken up by wheat. *Australian Journal of Soil Research* **26**, 323-331.

Mikkelsen, M. 2018. Loft på fosfor – hvad kan betale sig? Kvægnyt nr 7. 6. april 2018.

Miljø- og Fødevarerministeriet (2018). Bekendtgørelse af lov om husdyrbrug og anvendelse af gødning m.v. <https://www.retsinformation.dk/Forms/r0710.aspx?id=202405>

Mogensen, L., Knudsen, M. T., Preda, T., Nielsen, N. I., Kristensen, I. S., and Kristensen, T. (2018). Bæredygtighedsparemetre for konventionelle fodermidler til kvæg - metode og tabelværdier. *DCA Rapport* **116**, 1-120. <http://web.agrsci.dk/djfpublikation/index.asp?action=show&id=1260>.

Møller, S. & Sloth, N.M. (2014) Næringsindhold i korn fra høsten 2014. Videncenter for Svineproduktion, Landbrug og Fødevarer, Skejby.

Møller, S., Sloth, N.M. & Bruun, T.S. (2013) Næringsindhold i korn fra høsten 2013. Videncenter for Svineproduktion, Landbrug og Fødevarer, Skejby.

Møller, J., Thøgersen, R., Hellestøj, M. E., Weisbjerg, M. R., Søgaard, K. & Hvelplund, T. (2005) Fodermiddeltabel 2005 – Sammensætning og foderværdi af fodermidler til kvæg. Rapport 121, Dansk Kvæg, Landbrugets Rådgivningscenter.

Oversigt over Landsforsøgene (1996). Måling af bjærgede halmmængder 1994-96 (Tabel 62; s. 119). Landudvalget for Planteavl, Landbrugets Rådgivningscenter.

Oversigt over Landsforsøgene (2016). Landbrug og Fødevarer, Planteproduktion, SEGES.

Oversigt over Landsforsøgene (2017). Landbrug og Fødevarer, Planteproduktion, SEGES.

Oversigt over Landsforsøgene (2018). Landbrug og Fødevarer, Planteproduktion, SEGES.

Pedersen, I. F., Rubæk, G. H., and Sorensen, P. (2017). Cattle slurry acidification and application method can improve initial phosphorus availability for maize. *Plant and Soil* **414**, 143-158.

Plantedirektoratet (2006) Vejledning om gødsknings- og harmoniregler. Planperioden 1. august 2006 til 31. juli 2007. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Plantedirektoratet.

- Poulsen, H.D. (ed.). (2017). Normtal for husdyrgødning 2017. <http://anis.au.dk/normtal/>
- Poulsen, H.D. (2019). Kvælstof og fosfor I husdyrgødning i Danmark – udvikling og status (rapport under forberedelse).
- Poulsen, H.D., Lund, P., Sehested, J. Hutchings, N. & Sommer, S.G. (2006). In: Technology for recycling of manure and organic residues in a whole-farm perspective. 12th Ramiran International Conference. Petersen, S.O. (ed.). DIAS report 123, volume 2, 10-107.
- Poulsen, H.D., Møller, H.B., Klinglmair, M. & Thomsen, M. (2019). Husdyrs fosforudnyttelse og fosfors værdikæde fra husdyrgødning, bioaffald og spildevand. Faglig baggrundsrapport for fosforvidensyntese. DCE rapport nr. 325 (under udgivelse)
- Poulsen, J. & Sloth, N.M. (2015; 2016; 2017) Næringsindhold i korn fra høsten 2015, 2016 og 2017. SEGES, Videncenter for Svineproduktion, Landbrug og Fødevarer, Skejby.
- Rubæk, G.H., Heckrath, G., Knudsen, L. (2005). Fosfor i dansk landbrugsjord. Grøn Viden, Markbrug nr. 312 Danmarks JordbrugsForskning, Ministeries for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. 12 sider
- Rubæk, G.H. & Sibbesen, E. (1995). Soil-phosphorus dynamics in a long-term field experiment at Askov. *Biology and Fertility of Soils* **20**, 86-92.
- Rubæk, G.H. & Sibbesen, E. (2000). Long-term phosphorus fertilisation – Effects on crop yield and soil phosphorus status. DIAS-report No. 31. Plant production. Danish Institute of Agricultural Sciences. Ministry of Food, Agriculture and Fisheries. 43 sider.
- Schröder, J. J., Vermeulen, G. D., van der Schoot, J. R., van Dijk, W., Huijsmans, J. F. M., Meuffels, G. J. H. M., and van der Schans, D. A. (2015). Maize yields benefit from injected manure positioned in bands. *European Journal of Agronomy* **64**, 29-36.
- Sharpley, A., and Moyer, B. (2000). Phosphorus Forms in Manure and Compost and Their Release during Simulated Rainfall. *J. Environ. Qual.* **29**, 1462-1469.
- Statistikbanken (2019). Forsyningen og forbruget af korn og foder. <https://www.dst.dk/da/Statistik/dokumentation/statistikdokumentation/forsyningen-og-forbruget-af-korn-og-foder/indhold>.
- Sørensen P. & Jensen L.S. (2013). Nutrient leaching and runoff from land application of animal manure and measures for reduction. In: Sommer, S.G., Christensen, M.L., Schmidt, T. and Jensen L.S. (Eds.). Animal Manure Recycling: Treatment and Management, First Edition. John Wiley and Sons, Ltd. P. 195-210.
- Thøgersen, R. & A. M. Kjeldsen (2018). Grovfoder 2018. <https://www.landbrugsinfo.dk/Kvaeg/Tal-om-kvaeg/Sider/fod2018.aspx> , SEGES
- Uusi-Kamppa, J. og Heinonen-Tanski, H. (2008). Evaluating Slurry Broadcasting and Injection to Ley for Phosphorus Losses and Fecal Microorganisms in Surface Runoff. *Journal of Environmental Quality* **37**, 2339-2350.
- Velthof, G. L., van Beusichem, M. L., Raijmakers, W. M. F., and Janssen, B. H. (1998). Relationship between availability indices and plant uptake of nitrogen and phosphorus from organic products. *Plant and Soil* **200**, 215-226.

- Vestergaard, A og Knudsen, L. (2016). Fosfor i handelsgødning og restprodukter. I: Oversigt over Landsforsøgene 2016. Landbrug og Fødevarer, Planteproduktion, SEGES. 243-249.
- Vinther, F. P. (2011) Fosforbortførelse med afgrøder i Standardsædskifter. Internt notat, Institut for Jordbrugsproduktion og Miljø, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet.

Appendiks 1

Bestilling af fosforudredning fra Miljø- og Fødevarerministeriet: Projektbeskrivelse og detaljeret beskrivelse af problemstillingen

Fosforudredning 2018

Der skal som følge af bemærkningerne til den nye husdyrbruglov om fosfor frem mod 2019 være mulighed for en faglig udredning og evaluering af fosforlofterne inden for de enkelte typer af husdyrgødning fra forskellige dyretyper. Evalueringen skal ske på baggrund af bl.a. nyeste viden og teknologiske muligheder, herunder viden om brugen af startgødning, tilgængelighed af fosfor i forskellige typer af husdyrgødning og fraførsel af fosfor med forskellige sædskifter. Formålet med projektet er at samle viden og baggrundsmateriale, der både kan indgå som vidensgrundlag til fremtidig fastsættelse af fosforlofterne efter 2021 samt at identificere behov for udvikling af nye projekter.

Der skal udarbejdes en rapport, hvori nedenstående problemstillinger forventes belyst.

Evaluering af fosforlofterne

- Evaluering af fosforlofterne inden for de enkelte gødningskategorier. Hvad er den reelle udfordring med fosfor (N/P-forholdet) for de enkelte gødningstyper og bedriftstyper f.eks. kvægbrug, der benytter sig af Danmarks undtagelse fra Nitratdirektivet?
- Hvordan har landmænd efter planåret 2016-2017 tilpasset sig de nye generelle fosforlofter?
- På hvilke typer af bedrifter anvendes den maksimale mulige fosformængde i forhold til bedriftens samlede fosforkrav og i hvilke geografiske områder? Er der bedrifter med afgrøder, der har højt optag af fosfor, og som har svært ved at tilpasse sig fosforlofterne?
- Hvilke teknologiske/management metoder har landmændene taget i brug for at tilpasse sig den nye fosforregulering, og hvordan adskiller det sig fra den tidligere regulering?
- Tilføjet: "Evalueringen kan kun foretages i forhold til 2017/2018, når den gennemføres i 2018, men det indgår også i evalueringen at udfolde de mulige konsekvenser af de fosforlofter, som er fastsat for de følgende planår frem til 2022."

Fosfor bortførelse med afgrøderne

- I projektet ønskes notatet "Fosforbortførelse med afgrøder i standardsædskifter" (Finn P. Vinther, 2008) opdateret med hensyn til fosfor fraført med afgrøder i typesædskifter. Dette skal opdateres på baggrund af nyeste viden i forhold til fosforbalancen på bedriftsniveau, under hensyntagen til ændrede høstudbytter som følge af normlempelse for kvælstof, samt en eventuel justering af afgrødevalg i de forskellige typesædskifter til almindelig landbrugspraksis (f.eks. øget majsandel i sædskifterne for typiske kvægbedrifter).
- Hvordan afhænger fosforoptagelse i afgrøderne og dermed fosfor fraført med afgrøderne af jordens fosforstatus?

Alternative muligheder for anvendelse af startgødning i majs

- Nyeste viden fra indland og udland om alternative løsninger til anvendelse af startgødning til majs skal præsenteres og analyseres i forhold til anvendelighed i Danmark.
- Det skal herunder belyses, hvilke fosfortillæg der gives i Landbrugsstyrelsens "vejledende P normer for god landmandspraksis" som er baseret på P bortførelse plus fosfor "rækkesåningstillæg" og "forårssåningstillæg", som f.eks. resulterer i et betydeligt højere vejledende P-norm end typisk P bortførelse ved majsens høst.

Fosfortilgængelighed i forskellige husdyrgødningstyper

- Der ønskes et overblik over eksisterende viden om plantetilgængeligheden af fosfor forskellige typer af husdyrgødninger (også gerne sammenlignet med andre fosforholdige gødningsprodukter
- produkter som f.eks. aske, biochar, P-rock eller kød- og benmel mv.). Her ønskes tydeligt beskrevet, hvilken type af test og analysemetode der er blevet lagt til grund for at bestemme "plantetilgængeligt" fosfor.
- Der skal herunder fokuseres på effekten af fosfortilgængelighed på høstudbytter på både kort og lang sigt, samt på betydning af valg af metoder til bestemmelse af fosfortilgængelighed i jord.
- Hvordan har jordens fosforstatus betydning for fosfortilgængeligheden af husdyrgødning? Der skal herunder inddrages viden fra SEGES om opgørelse af fosfor status i jord på forskellige brugstyper og fordelt på landsdele.
- Har forskellige fodringsstrategier af de enkelte typer af husdyr effekt på fosfortilgængeligheden i husdyrgødningen?
- Kan foderkorrektionen (type 2) optimeres for udvalgte dyrearter?

Appendiks 2

Oversigt over sædskifter med angivelse af de enkelte afgrøders andel (%) af sædskiftet, samt nederst sædskiftets andel af det samlede sædskifteareal.

	KONVENTIONELLE											ØKOLOGISKE						
	KVÆGSÆDSKIFTER						Ammekøer	SVINESÆDSKIFTER			ALTERNATIVE SVINESÆDSKIFTER		PLANTEAVLSSÆDSKIFTER		KVÆG		PLANTE	
	Sandjord			Lerjord				Sandjord	Lerjord	Frøavl	Sukkerroer	Kartofler	Sandjord	Lerjord	Lerjord	Sandjord	Lerjord	Sandjord
	<1,7DE/ha	1,7-2,3DE/ha	2,3DE/ha	<1,7DE/ha	1,7-2,3DE/ha	2,3DE/ha		Sandjord	Lerjord	Frøavl	Sukkerroer	Kartofler	Sandjord	Lerjord	Lerjord	Sandjord	Lerjord	Sandjord
Vårbyg	30	10	10	25	15	10	30	25	15	20	25	40	30	25	15	10	10	20
Havre								5		5			5		10	10	15	15
Vårhvede																	10	5
Vinterhvede	10	10		30	20	15	5	35	50	40	40	10	25	45	10		10	5
Rug+triticale+hybrid	5						5	10				5	10		5	10	15	15
Vinterbyg	5			5	5			10	10	5		5	5	10				
<i>Korn til modenhed i alt</i>	<i>50</i>	<i>20</i>	<i>10</i>	<i>60</i>	<i>40</i>	<i>25</i>	<i>40</i>	<i>85</i>	<i>75</i>	<i>70</i>	<i>65</i>	<i>60</i>	<i>75</i>	<i>80</i>	<i>40</i>	<i>30</i>	<i>60</i>	<i>60</i>
Raps				5				10	15	10	5	5	10	15			5	
Ært og bælgssæd															5		10	5
Frøafgrøder	5			5				5	10	20	10	5		5			10	
Sukkerroer											20							
Kartofler												30						
Sædskiftegræs	20	35	35	10	25	25	50						5		40	50	15	30
Helsæd		5	5		5	5									10	15		
Majs	25	40	50	20	30	45	10						10		5	5		5
<i>I alt</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
Andel af sædskifteareal, pct.	5,8	5,1	4,5	1,8	1,0	0,5	0,4	13,2	9,6	6,3	4,7	3,6	12,3	9,6	0,3	3,6	0,9	2,0

Appendiks 3

Fosforkoncentrationer målt i afgrøder i markforsøg gødsket ved forskellige fosforniveauer gennem en længere årrække.

Supplerende data til Afsnit 3.6, hvor forsøg er nærmere beskrevet.

Tabel 1. Gennemsnitlige fosforkoncentrationer (% P i tørstof) og standardafvigelsen heraf i afgrøder dyrket i det nu afsluttede langvarige gødningsforsøg, som startede i 1975 (Rubæk og Sibbesen, 2000) ved Rønhave Forsøgsstation. Forsøget var anlagt på en sandblandet lerjord/lerjord med tre gentagelser. Årstal efterfulgt af * angiver, at der var statistisk signifikant effekt på udbyttet af fosforgødningsbehandlingen dette år. Forsøget blev gødet med andre næringsstoffer efter gældende anbefalinger på forsøgstidspunktet, på nær de med #-mærkede år med kløvergræs, hvor kvælstofgødskning blev udeladt.

RØNHAVE			Årlig P gødskning					
			0 kg P / ha /år		15 kg P/ha/år		30 kg/ha/år	
Gennemsnitligt Ptal (mg P/100 g jord)	1990		2		3,1		4,4	
	2002		1,5		2,1		3,2	
År	Afgrøde	Afgrødedel	% P i tørstof					
			Gns	Std	Gns	Std	Gns	Std
1990	Engrapgræs til frø, 2. År	Kerne	0,422	0,002	0,432	0,003	0,428	0,009
		Halm	0,160	0,006	0,157	0,007	0,140	0,015
1991	Havre	Kerne	0,350	0,000	0,380	0,000	0,360	0,000
		Halm	0,105	0,013	0,143	0,003	0,187	0,019
1992	Vinterhvede	Kerne	0,283	0,003	0,293	0,009	0,307	0,009
		Halm	0,025	0,001	0,030	0,001	0,036	0,003
1994	Vårbyg	Kerne	0,337	0,022	0,343	0,015	0,333	0,009
		Halm	0,043	0,004	0,049	0,004	0,061	0,003
1995	Ærter	Kerne	0,385	0,012	0,385	0,019	0,351	0,003
		Halm	0,091	0,018	0,109	0,015	0,090	0,002
1996	Vårbyg	Kerne	0,357	0,007	0,368	0,001	0,371	0,004
		Halm	0,094	0,003	0,097	0,001	0,102	0,001
1997*	Kløvergræs	Gennemsnit af fire slæt	0,281	0,004	0,316	0,008	0,341	0,015
1998*	Kløver- græs#	Gennemsnit af fire slæt	0,328	0,002	0,368	0,002	0,393	0,006
1999*	Kløver- græs#	Gennemsnit af fire slæt	0,331	0,002	0,351	0,005	0,387	0,003
2000*	Kløver- græs#	Gennemsnit af fire slæt	0,313	0,003	0,343	0,008	0,373	0,004
2001*	Hvede	Kerne	0,347	0,007	0,353	0,012	0,33	0,01
		Halm	0,044	0,004	0,064	0,005	0,084	0,004
2002*	Havre	Kerne	0,377	0,012	0,370	0,015	0,367	0,007
		Halm	0,087	0,011	0,140	0,010	0,217	0,013

Angiver, at der ikke har været gødet med kvælstof dette år

Tabel 2. Gennemsnitlige fosforkoncentrationer (% P i tørstof) og standardafvigelsen i afgrøder dyrket i det nu afsluttede langvarige forsøg med fosforgødskning, som startede i 1975 ved Borris forsøgsstation (Rubæk og Sibbesen, 2000). Forsøget var anlagt med fire gentagelser på en grovsandet jord (JB1). Årstal efterfulgt af * angiver, at der var statistisk signifikant effekt på udbyttet af fosforgødningsbehandlingen dette år. Forsøget blev gødet med andre næringsstoffer efter de anbefalinger, der var gældende på forsøgstidspunktet.

BORRIS			Årlig P gødskning					
			0 kg P / ha /år		15 kg P/ha/år		30 kg/ha/år	
Gennemsnitligt Ptal (mg P/100 g jord)		1990	3,3		5		5,7	
		1996	3,4		5,1		6,2	
			% P i tørstof					
År	Afgrøde	Afgrødededel	Gns	Std	Gns	Std	Gns	Std
1990	Vinterbyg	Kerne	0,270	0,025	0,280	0,027	0,257	0,005
		Halm	0,045	0,005	0,056	0,006	0,052	0,005
1991*	Vårbyg	Kerne	0,257	0,005	0,265	0,006	0,297	0,022
		Halm	0,078	0,006	0,054	0,007	0,055	0,007
1992*	Rajgræs#	1. Slæt	0,292	0,017	0,337	0,020	0,377	0,019
1993	Vinterbyg	Kerne	0,302	0,028	0,367	0,016	0,412	0,021
		Halm	0,072	0,015	0,102	0,013	0,152	0,011
1994*	Havre	Kerne	0,322	0,007	0,332	0,005	0,330	0,004
		Halm	0,088	0,018	0,158	0,023	0,195	0,025
1996	Kartofler	Knolde	0,322	0,007	0,332	0,005	0,330	0,004
		Top	0,088	0,018	0,158	0,023	0,195	0,025

* efter årstal angiver, at der har været statistisk signifikant forskel i udbyttet for gødningsbehandlingerne dette år.

Meget tør sommer, hvor der kun blev toget et slæt

Table 3. Gennemsnitlige fosforkoncentrationer (% P i tørstof) og standardafvigelsen i afgrøder dyrket i det nu afsluttede langvarige forsøg med fosforgødsning, som startede i 1975 ved Tylstrups forsøgsstation (Rubæk og Sibbesen, 2000). Forsøget var anlagt med fire gentagelser på en lerblandet sandjord. Årstal efterfulgt af * angiver, at der var statistisk signifikant effekt på udbyttet af fosforgødningsbehandlingen dette år. Forsøget blev gødet med andre næringsstoffer efter de anbefalinger, der var gældende på forsøgstidspunktet.

TYLSTRUP			Årlig P gødsning								
			0 kg P / ha / år		15 kg P/ha/år		30 kg/ha/år				
Gennemsnitligt Ptal (mg P/100 g jord)	1990		4,4		5,1		5,6				
	2002		4,9		5,5		6,4				
			% P i tørstof								
			Afgørde- del	Gns		Std		Gns		Std	
1990*	Vårbyg	Kerne	0,262	0,005	0,247	0,005	0,272	0,002			
		Halm	0,040	0,003	0,041	0,003	0,038	0,006			
1991	Havre	Kerne	0,335	0,016	0,322	0,015	0,322	0,013			
		Halm	0,034	0,003	0,065	0,006	0,098	0,008			
1992*	Vårbyg	Kerne	0,325	0,013	0,290	0,024	0,287	0,019			
		Halm	0,101	0,009	0,065	0,008	0,069	0,012			
1994*	Vårbyg	Kerne	0,342	0,002	0,342	0,005	0,357	0,005			
		Halm	0,045	0,000	0,039	0,000	0,043	0,000			

Table 4. Gennemsnitlige fosforkoncentrationer (% P i tørstof) og standardafvigelsen i afgrøder dyrket i det nu afsluttede langvarige forsøg med fosforgødsning, som startede i 1975 ved Askov forsøgsstation (Rubæk og Sibbesen, 2000). Forsøget var anlagt med 3 gentagelser på en sandblandet lerjord (Rubæk og Sibbesen, 2000). Forsøget var anlagt med tre gentagelser. Der var ikke statistisk signifikant effekt på udbyttet af gødningsbehandlingerne på noget tidspunkt. Forsøget blev gødet med andre næringsstoffer efter de anbefalinger, der var gældende på forsøgstidspunktet.

ASKOV			Årlig P gødsning					
			0 kg P / ha / år		15 kg P/ha/år		30 kg/ha/år	
Gennemsnitligt Ptal (mg P/100 g jord)		År			% P i tørstof			
År	Afgrøde	Afgrødedeel	Gns	Std	Gns	Std	Gns	Std
		1989	3,5		4,3		5,0	
		1994	3,0		4,0		4,9	
1990	Vårbyg	Kerne	0,310	0,000	0,333	0,003	0,333	0,007
		Halm	0,115	0,013	0,123	0,009	0,127	0,003
1991	Roer	Roe	0,107	0,009	0,130	0,010	0,150	0,010
		Top	0,193	0,003	0,203	0,003	0,207	0,003
1992	Vårbyg	Kerne	0,223	0,007	0,220	0,000	0,217	0,009
		Halm	0,027	0,003	0,025	0,002	0,026	0,001
1993	Roer	Roe	0,137	0,015	0,160	0,006	0,183	0,003
		Top	0,210	0,015	0,233	0,007	0,243	0,003
1994	Vårbyg	Kerne	0,302	0,009	0,326	0,024	0,353	0,013
		Halm	0,049	0,006	0,052	0,007	0,062	0,001

Table 5. Gennemsnitlige fosforkoncentrationer (% P i tørstof) og standardafvigelsen i vårbyg dyrket i det nu afsluttede langvarige forsøg med fosforgødsning, som startede i 1975 ved Roskilde forsøgsstation (Rubæk og Sibbesen, 2000). Forsøget var anlagt med to gentagelser på en sandblandet lerjord (Rubæk og Sibbesen, 2000). Forsøgene startede i 1975. Der var ikke statistisk signifikant effekt på udbyttet af fosforgødsning på noget tidspunkt. Forsøget blev gødet med andre næringsstoffer efter de anbefalinger, der var gældende på forsøgstidspunktet.

ROSKILDE			Årlig P gødsning					
			0 kg P / ha / år		15 kg P/ha/år		30 kg/ha/år	
Gennemsnitligt Ptal (mg P/100 g jord)		1990	2,6		3,5		4,2	
		1996	2,2		3,1		4,3	
			% P i tørstof					
År	Afgrøde	Afgrødedel	Gns	Std	Gns	Std	Gns	Std
1990	Vårbyg	Kerne	0,325	0,005	0,320	0,000	0,340	0,000
		Halm	0,047	0,002	0,048	0,001	0,048	0,001
1991	Vårbyg	Kerne	0,370	0,000	0,390	0,000	0,405	0,005
		Halm	0,067	0,000	0,084	0,004	0,105	0,005
1992	Vårbyg	Kerne	0,295	0,015	0,295	0,015	0,305	0,015
		Halm	0,037	0,002	0,037	0,003	0,043	0,005
1993	Vårbyg	Kerne	0,320	0,010	0,330	0,010	0,365	0,005
		Halm	0,092	0,008	0,096	0,003	0,115	0,005
1994	Vårbyg	Kerne	0,325	0,025			0,315	0,005
		Halm	0,069	0,011			0,052	0,007
1995	Vårbyg	Kerne	0,368	0,004	0,358	0,005	0,374	0,000
		Halm	0,042	0,002	0,041	0,001	0,048	0,001
1996	Vårbyg	Kerne	0,315	0,005	0,332	0,012	0,340	0,011
		Halm	0,038	0,001	0,041	0,001	0,043	0,004
1997	Vårbyg	Kerne	0,344	0,008	0,357	0,005	0,363	0,006
		Halm	0,074	0,001	0,076	0,001	0,107	0,003

Table 6. Gennemsnitlige fosforkoncentrationer (% P i tørstof) og standardafvigelsen i afgrøder dyrket i det nu afsluttede langvarige forsøg med fosforgødsning, som startede i 1975 ved Ødum forsøgsstation (Rubæk og Sibbesen, 2000). Forsøget var anlagt med tre gentagelser på en lerblandet sandjord. Der var ikke statistisk signifikant effekt på udbyttet af fosforgødningsbehandlingerne på noget tidspunkt. Forsøget blev gødet med andre næringsstoffer efter de anbefalinger, der var gældende på forsøgstidspunktet.

ØDUM			Årlig P gødsning					
			0 kg P / ha / år		15 kg P/ha/år		30 kg/ha/år	
Gennemsnitligt Ptal (mg P/100 g jord)		1991	2,2		2,9		3,8	
		1994	2,4		3,4		4,3	
			% P i tørstof					
År	Afgrøde	Afgrødededel	Gns	Std	Gns	Std	Gns	Std
1991	Vårbyg	Kerne	0,333	0,009	0,323	0,003	0,340	0,006
		Halm	0,053	0,002	0,067	0,001	0,089	0,006
1992	Vårbyg	Kerne	0,333	0,007	0,330	0,010	0,323	0,012
		Halm	0,109	0,011	0,078	0,006	0,100	0,006
1993	Vårbyg	Kerne	0,333	0,012	0,323	0,009	0,320	0,006
		Halm	0,093	0,000	0,096	0,000	0,075	0,000
1994	Vårbyg	Kerne	0,370	0,012	0,337	0,009	0,353	0,003
		Halm	0,041	0,001	0,033	0,001	0,035	0,001

Om DCA

DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug er den faglige indgang til jordbrugs- og fødevarerforskningen ved Aarhus Universitet (AU). Centrets hovedopgaver er myndighedsbetjening, videnudveksling, rådgivning og erhvervs- og internationalt samarbejde.

Centret koordinerer videnudveksling og rådgivning med institutter, som har fødevarer og jordbrug, som hovedområde eller et meget betydende delområde:

Institut for Husdyrvidenskab
Institut for Fødevarer
Institut for Agroøkologi
Institut for Ingeniørvidenskab
Institut for Molekylærbiologi og Genetik

Herudover har DCA mulighed for at inddrage andre enheder ved AU, som har forskning af relevans for fagområdet.

DCA rapporter og nyhedsbrev

DCA rapporter indeholder hovedsageligt myndighedsrådgivning i henhold til Aarhus Universitets aftale med Miljø- og Fødevareministeriet. Derudover udgives rapporter, som indeholder afrapportering fra forskningsprojekter, oversigter, vidensynteser, konferencebilag, tekniske afprøvninger, vejledninger m.fl.

Rapporterne kan frit downloades her: dca.au.dk

Gengivelse er tilladt med kildeangivelse, herunder link til DCAs rapporthjemmeside: dca.au.dk/publikationer/

DCA udsender endvidere ugentligt et nyhedsbrev, der orienterer om forskning i jordbrug og fødevarer samt kommende arrangementer.

Tilmelding til nyhedsbrevet på dca.au.dk

RESUME

Rapporten er udarbejdet på bestilling af Miljø- og Fødevareministeriet og giver en redegørelse om brugen af fosforholdigt gødning i Danmark set i relation til indførslen af fosforlofter. Rapporten indeholder opdateret viden om udskillelsen af fosfor fra forskellige husdyr- og staldtyper, og indeholder en evaluering af hvad de nye fosforlofter betyder for forskellige husdyr kategorier. Endvidere samler rapporten opdateret viden om bortførsel af fosfor med forskellige afgrødetyper og i forskellige sædskifter. Tilgængeligheden af fosfor i forskellige typer organisk gødning er beskrevet, og den langsigtede gødningseffekt af fosfor i husdyrgødning er vurderet. Muligheder for at erstatte mineralsk fosfor i startgødning er endvidere behandlet.

