

En fosforvidenssynthese

# Fosfor i dansk landbrug

– ressource og miljøudfordring



AARHUS  
UNIVERSITY

DCE – DANISH CENTRE FOR ENVIRONMENT AND ENERGY

Forfattere: Hanne Damgaard Poulsen, Henrik Bjarne Møller, Manfred Klinglmair og Marianne Thomsen

Udgiver: Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©

URL: <http://dce.au.dk>

Udgivelsesår: Juni 2019

Redaktion: Poul Nordeman Jensen og Signe Jung-Madsen

Faglig kommentering: Gitte Rubæk, Peter Sørensen og Hans Estrup Andersen

Kvalitetssikring, DCE: Signe Jung-Madsen

Omslagsfoto: Venligst udlånt af Solrød Biogas A/S

Illustrationer: Hvor intet andet er angivet, stammer de fra baggrundsrapporterne: DCE teknisk rapport nr. 77 "Redegørelse for udvikling i landbrugets fosforforbrug, tab og påvirkning af Vandmiljøet", og DCE Teknisk rapport nr 325 "Husdyrs fosforudnyttelse og fosfors værdikæde fra husdyrgødning, bioaffald og spildevand - Faglig baggrundsrapport for fosforvidenssyntesen."

ISBN: 978-87-7156-417-4

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

En fosforvidenssyntese

# Fosfor i dansk landbrug

– ressource og miljøudfordring



Foto: Michael Strangholt

# Indhold

1	Forord.....	5
2	Sammendrag .....	6
3	Fosforkredsløb .....	8
4	De globale fosforressourcer .....	10
5	Fosfor i dansk landbrug.....	14
5.1	Fosfor som næringsstof for planter og husdyr .....	14
5.2	Fosforforbrug .....	15
5.3	Fosfor i dansk landbrugsjord .....	16
6	Samlet fosforregnskab for Danmark .....	18
7	Fosfor og dansk vandmiljø .....	20
7.1	Kilder til fosfor i vandmiljøet .....	20
7.2	Udledning af fosfor til vandmiljøet .....	20
7.3	Fosfors betydning i vandmiljøet.....	23
8	Fosforregulering .....	25
9	Tiltag til bedre udnyttelse af fosfor.....	26
9.1	Muligheder og udfordringer for at reducere udskillelsen af fosfor i husdyrproduktionen.....	26
9.2	Tekniske muligheder og omkostninger ved at flytte husdyrgødning over større afstande.....	28
9.3	Bedre udnyttelse af fosfor i spildevand .....	32
9.4	Bedre udnyttelse af fosforreserven i landbrugsjorden.....	34
10	Sammenligning med Nederlandene .....	35
11	Barrierer og perspektiver for optimal udnyttelse af de danske fosforressourcer .....	37
11.1	Barrierer .....	37
11.2	Perspektiver.....	37





Foto: Michael Strangholt

# 1 Forord

I forbindelse med ændring af lov om miljøgodkendelse m.v. af husdyrbrug (husdyrbrugloven), hvor der bl.a. introduceres en ny fosforregulering i form af fosforlofter for forskellige gødningstyper, blev det besluttet i Miljø- og Fødevarerudvalget, at der skulle udarbejdes en fosforvidenssynthese. Der er i en tillægsbetænkning til lovforslaget (af 21/2 2017) angivet følgende beskrivelse af videnssynthesen:

*“Teknologiske løsninger og ny viden om fodring, udbringning, udledning og recirkulation af fosfor er i stadig udvikling og skal bringes i anvendelse. Flertallet er derfor enige om, at der på kort sigt skal gennemføres en fosforvidenssynthese, der beskriver fosfor som en naturressource og beskrive anvendelsen i landbruget og miljøpåvirkningen. Syntesen skal bl.a. fokusere på erhvervets muligheder for at optimere fodringen af husdyr, så fosforudledningen begrænses. Desuden skal syntesen indeholde en teknologiliste, der beskriver muligheder og potentialer for udvinding og recirkulation af fosfor, med henblik på at fosforoverskuddet i dele af landet kan ændres fra en miljøudfordring til en ressource, der kan udnyttes.”*

Miljø- og Fødevarerministeriet har anmodet DCE - Nationalt center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet, om at udføre opgaven. Undervejs i forløbet har der været afholdt to møder med interessenter.

Det følger af ministeriets bestilling, at videnssynthesen skal indeholde følgende elementer:

- Grundlæggende beskrivelse af fosforkredsløbet
- Beskrivelse af værdikæde for fosfor
- Beskrivelse af optimering af fodring af husdyr
- Beskrivelse af udvinding og recirkulation af fosfor

Pjecen er udarbejdet på baggrund af to faglige rapporter – DCE teknisk rapport nr. 77 “Redegørelse for udvikling i landbrugets fosforforbrug, tab og påvirkning af Vandmiljøet”, og DCE Teknisk rapport nr. 325 “Husdyrs fosforudnyttelse og fosfors værdikæde fra husdyrgødning, bioaffald og spildevand - Faglig baggrundsrapport for fosforvidenssynthesen”. Yderligere dokumentation for pjecens indhold samt referencer kan hentes i de to rapporter.

Chefkonsulenter Poul Nordemann Jensen og Signe Jung-Madsen, DCE, har været redaktører for pjecen med assistance fra forfatterne til de to baggrundsrapporter.



## 2 Sammendrag

Fosfor er et grundstof og forekommer naturligt i forskellige forbindelser i jord, vand, dyr og planter og er et livsnødvendigt næringsstof for alle levende organismer. Fosfor udvindes fra fosfatsten, som forekommer i særlige bjergarter. Disse bjergarter er, på nær en mindre forekomst i Finland, koncentreret på få lande uden for Europa, primært Marokko og Kina. Den råfosfat, som udvindes fra disse forekomster, bliver bl.a. brugt i den kemiske industri og til fremstilling af letopløselige fosfatforbindelser, som anvendes som fosfortilskud til husdyrene og til handelsgødning til planteproduktionen.

Landbrugssektoren importerer således fosfor som handelsgødning og foderfosfat, men meget fosfor importeres også via den foder, der anvendes i husdyrproduktionen. En del af det fosfor, der findes i foderet, bliver ikke udnyttet af husdyrene. Den udskilles i husdyrenes gødning og bringes ud på markerne med husdyrgødningen. På landsplan er der i en årrække blevet tilført mere fosfor til markerne, end der fraføres ved høst. Dette fosforoverskud kan reduceres, hvis man i stedet for at tilkøbe handelsgødning udnytter den fosforressource, der er tilgængelig i husdyrgødningen. Der er således i princippet tilstrækkeligt fosfor i husdyrgødningen til at dække landbrugets behov for fosforgødning i Danmark. Udfordringen ligger i, at der er en skæv geografisk fordeling mellem områder, hvor der er et overskud af husdyrgødning og områder, der har behov for at modtage gødning. Den skæve geografiske fordeling følger fordelingen af husdyr, således at der som hovedregel er fosforoverskud i Jylland, hvor der er stor husdyrproduktion, og underskud øst for Storebælt, hvor landbruget i højere grad er præget af planteavl.

Husdyrgødningen er den største kilde til fosforgødning i Danmark. Rundt regnet 70% af den samlede mængde fosfor, der tilføres landbrugsjorden, stammer fra husdyrgødning. Det er muligt at mindske husdyrenes udskillelse

af fosfor i gødningen gennem fodringsmæssige tiltag, men det kan ikke alene løse den overordnede skæve fordeling af fosfortildelingen fra husdyrgødningen i Danmark. Fodringsmæssige tiltag kan bidrage til at løse lokale udfordringer med fosforoverskud på de enkelte husdyrbrug, men det overordnede problem med den skæve fordeling kan kun løses via tiltag, der omfordeler fosfor fra husdyrgødning.

Der er således behov for at flytte fosforressourcen i husdyrgødningen fra den ene del af landet til den anden, men dette er vanskeligt og forbundet med store omkostninger.

Opkoncentrering af fosfor i husdyrgødningen ved at separere den faste del af gødningen fra den flydende del giver mulighed for at reducere transportomkostningerne ved at bringe fosfor fra fx Jylland til Sjælland i form af den mere fosfor-koncentrerede gødningsfraktion. Med de nuværende priser på handelsgødning, der er lavere end omkostningerne ved en sådan separering og efterfølgende transport og udbringning af fosforet, er dette dog ikke rentabelt. Fast fjerkrægødning kan imidlertid transporteres uden forudgående opkoncentrering, da den har et større indhold af tørstof og derved en relativ høj koncentration af fosfor.



Andre kilder som slam eller bioaffald kan lokalt eller regionalt i egne med lav husdyrproduktion bidrage til en udfasning af importen af handelsgødningsfosfor.

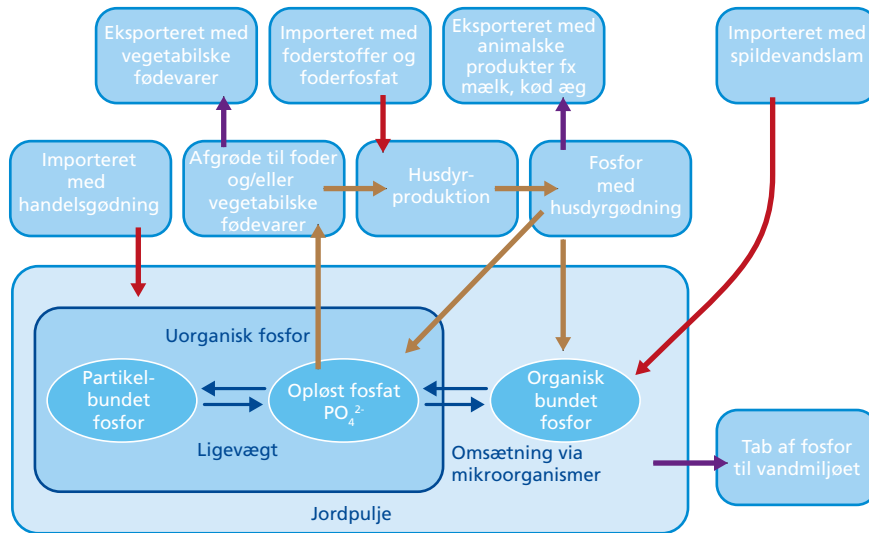
Det skal dog understreges, at ovenfor nævnte tiltag ikke alene løser de udfordringer, der er i forhold til udledning af fosfor til vandmiljøet. Det er tiltag, der kan bidrage til at udnytte fosforressourcen bedre og begrænse yderligere ophobning af fosfor i jorden. Det løser ikke problemet med, at der generelt allerede er en akkumulering af fosfor i jorden på store dele af det danske landbrugsareal, idet der i mange områder fortsat tilføres mere fosfor, end der fraføres med afgrøderne. Hvis man ønsker at forebygge tab af fosfor til vandmiljøet fra landbrugsarealet, er det derfor bl.a. nødvendigt at nedbringe jordens fosforindhold fx ved at begrænse gødsning med fosfor på jorde, hvor der gennem mange år er opbygget et fosforoverskud, og hvor risikoen for tab af fosfor er stor. Dette vil på længere sigt mindske risikoen for tab af fosfor til vandmiljøet. Det forudsætter en viden om, hvor arealer med stor risiko for fosfortab er lokaliseret, og der er derfor igangsat et projekt "Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark", som bl.a. undersøger dette.



Foto: Linda S. Sørensen

### 3 Fosforkredsløb

Fosfor er et grundstof og forekommer naturligt i bjergarter, jord, vand, dyr og planter. Fosfor er et livsnødvendigt næringsstof for alle levende organismer, da det indgår i en række vigtige forbindelser i celler fx i DNA og ATP (energiholdigt molekyle i levende organismer). Fosfor indgår i et globalt kredsløb, hvor det frigives gennem forvitring af fosforholdige bjergarter og transporteres med vandløb og søer ud til havet. På sin vej kan fosfor indgå i en række forbindelser og optages af levende organismer på land og i vand for til sidst at blive aflejret på havbunden. Fosfor føres tilbage til land ved vulkansk aktivitet, eller når havbunden hæves, og der dannes nye bjerge.



Fosforkredsløbet i Danmark er stærkt påvirket af menneskelige aktiviteter herunder landbrug og industri. Figur 1 viser det overordnede fosforkredsløb i landbrugssektoren, og pilene angiver, om der er tale om import, eksport eller intern omsætning af fosfor. (For andre kilder til det danske fosforkredsløb se figur 10 afsnit 7.1 om kilder til fosfor i vandmiljøet.)

Fosfor tilføres til landbrugssektoren som importeret handelsgødning, foderfosfat og foderstoffer til husdyr. En del af det fosfor, der findes i foderet, optages af dyrene og fraføres primærsektoren med fx mælk eller kødprodukter. Den andel, der ikke bliver udnyttet af husdyrene til produktion, bringes ud på markerne med husdyrgødningen enten direkte eller efter forarbejdning (fx separering, biogas mv.). Markerne kan også tilføres fosfor med handelsgødning, spildevandsslam og andre restprodukter, som tilføres til sektoren. Af det fosfor, der tilføres markerne, bliver en del optaget i afgrøden og fraført markerne ved høst. De høstede afgrøder kan indgå som foder til husdyrene, men kan også blive fraført sektoren som fødevarer. Den resterende mængde fosfor indgår i jordens fosforpulje, hvor størstedelen enten er bundet til jordens partikler

Figur 1. Fosforkredsløb i landbrugssektoren i Danmark. Røde pile illustrerer tilførsel af fosfor, lilla pile fraførsel af fosfor og brune pile den interne omsætning af fosfor i sektoren.

eller i jordens organiske materiale. Kun en meget lille del af fosforet findes opløst i jordvæsken som fosfatjoner ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), dvs. på en form, der er umiddelbart tilgængelig for planterne. Jordens evne til at binde fosfor afhænger af jordtypen. Særligt jordens indhold af ler, organisk stof og jern- og aluminiumsforbindelser er afgørende for bindingskapaciteten.

Når organisk materiale omsættes af mikroorganismer i jorden, frigives uorganisk fosfat. Noget af den frigivne fosfat kan igen optages af mikroorganismer eller afgrøder, eller den kan bindes til jordens partikler. Der eksisterer en ligevægt mellem mængden af opløst fosfat og mængden af uorganisk fosfor bundet til jordpartiklerne. Jo mere fosfor der er bundet i jorden, jo højere er mængden af opløst fosfat i jordvæsken. Når planterne optager fosfat fra jordvæsken, vil der over tid frigives fosfat fra puljen af partikelbundet fosfor i jorden. Mængden af plantetilgængeligt fosfor vil derfor også i høj grad afhænge af, hvor hårdt fosforet er bundet til jordpartikler mv. og dermed af, hvor hurtigt den frigives og kan erstatte det fosfor, der optages af afgrøderne.

Langt størstedelen af den tilførte fosfor akkumuleres i jorden eller optages i afgrøderne. Det er derfor primært fosfor ophobet i jordpuljen i landskabet, der er kilde til fosfortab til vandmiljøet via udvaskning, overfladeafstrømning eller erosion.



Foto: Linda S. Sørensen

## 4 De globale fosforressourcer

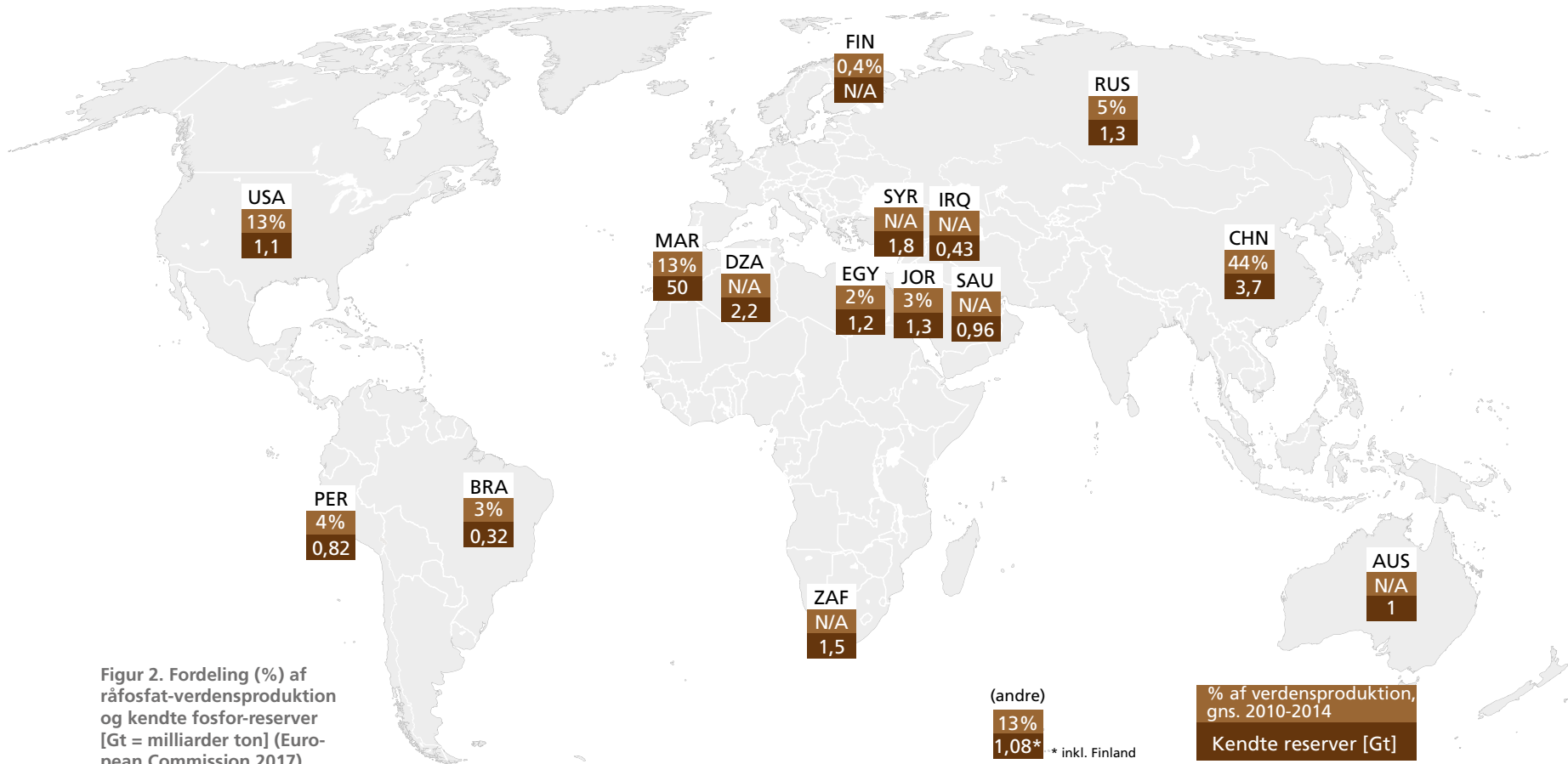
Der har været udvundet råfosfat fra miner til fremstilling af mineralsk fosforgødning og foderfosfat til husdyr gennem mange år. Reserverne af råfosfat er koncentreret på få lande uden for EU, primært Marokko (Figur 2). Den højeste produktion af råfosfat sker i Kina (44 % af verdensproduktionen).

Inden for EU har kun Finland en lille produktion af råfosfat. Derfor skal EU's forbrug primært dækkes af import fra lande uden for EU. De eksisterende data om de globale fosforreserver er generelt usikre og ufuldstændige.

Det forventes, at landbrugets forbrug af mineralsk fosfat falder i EU som følge af bedre udnyttelse af husdyrgødningen og større genanvendelse af forskellige affaldstyper, mens det vil stige i Afrika og på globalt plan som følge af vækst og effektivisering af landbrugsproduktionen. I Asien er fosforforbruget steget konstant siden 1970'erne, men der forventes et fald i fosforanvendelsen i den nærmeste fremtid, fordi jordens fosforpuljer efterhånden er tilstrækkelige pga. mange års tilførsel af fosfor i overskud. Da fosfor er essentielt for en effektiv landbrugsproduktion – ikke kun i Danmark men også på globalt plan - er det vigtigt at sikre, at der er tilstrækkelige globale reserver af fosfor til at dække fremtidens behov.

EU's import af råfosfat kommer hovedsageligt fra Nordafrika, Rusland og Mellemøsten, hvilket gør EU afhængig af import fra relativt få producerende regioner, som på lang sigt kan udgøre en strategisk (dvs. handelspolitisk) trussel. Der er i dag ikke mangel på fosfor på globalt plan, men koncentrationen af fosfatproduktionen på forholdsvis få lande kan potentielt føre til mangelsituationer som følge af økonomiske eller politisk/strategiske kriser.

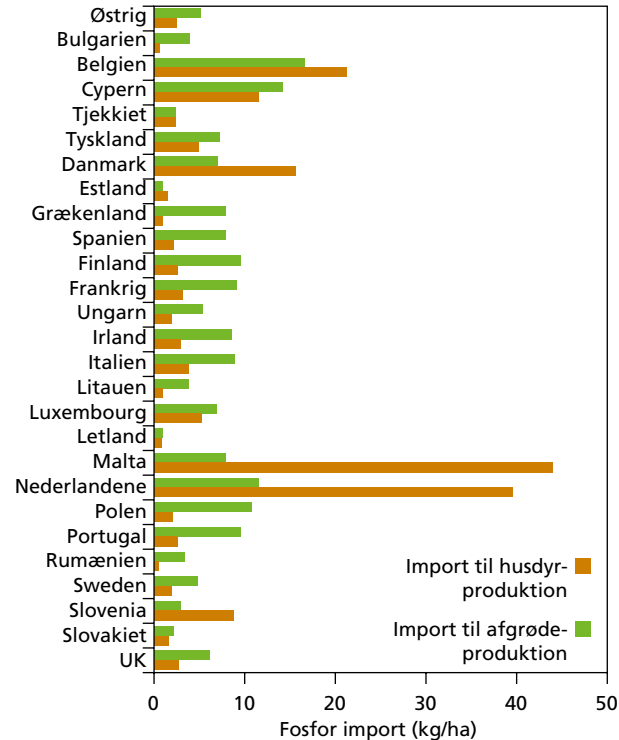




Figur 2. Fordeling (%) af råfosfat-verdensproduktion og kendte fosforreserver [Gt = milliarder ton] (European Commission 2017). N/A: Ukendt, Andre: fosforreserver i resterende lande.

De kendte globale fosforreserver omfatter ca. 71 Gt med en verdensproduktion af råfosfat på ca. 0,2 Gt årligt. Hertil kommer, at der er store fosforressourcer i bl.a. Saudi-Arabien, USA, Peru, Kasakhstan og Estland, hvor udvinding i dag er vurderet som økonomisk urentabel (dvs. for dyr med de nuværende handelspriser). Det er derfor sandsynligt, at eventuel knaphed på råfosfat på det globale marked vil opstå på grund af økonomiske eller politiske årsager frem for en reel knaphed på råfosfat.

I Danmark importeres fosfor primært i form af foderstoffer (som fx soja) og foderfosfat og i mindre grad som handelsgødning. Dette er usædvanligt i europæisk sammenhæng, hvor fosforimporten i langt de fleste lande er domineret af handelsgødning (Figur 3). Få EU-lande viser et lignende forhold mellem import af fodermidler og gødning. I Danmark skyldes dette hovedsageligt den intensive husdyrproduktion, kombineret med fokus på at effektivisere håndteringen og anvendelse af husdyrgødning.



Figur 3. Sammenligning af fosforimport til produktion af afgrøder (handelsgødning) og husdyrproduktion (foder og tilsætningsstoffer) til EU-27 i 2005 i kg pr. hektar landbrugsareal (efter van Dijk et al., 2015).



Foto: Colourbox

# 5 Fosfor i dansk landbrug

## 5.1 Fosfor som næringsstof for planter og husdyr

Får en afgrøde ikke nok fosfor, vil det i første omgang føre til reduceret vækst og udbytte. Hvis manglen bliver stor, kan der ske misvækst og observeres mangelsymptomer. Det sidste er en situation, vi meget sjældent ser i Danmark, da landbrugsjorden typisk er velgødet.

Afgrøderne får i reglen dækket mindst 80 % af deres fosforbehov fra jordens fosforpulje, mens kun op til 20 % direkte dækkes af den gødning, der tilføres umiddelbart før vækstsæsonen. Det er derfor vigtigt for planternes vækst, at landbrugsjordens fosforpuljer opbygges til et vist niveau, så jordens evne til at frigive tilstrækkeligt meget fosfor til afgrøden tilstrækkeligt hurtigt sikres. I Danmark er dette dog generelt ikke et problem, da de danske jorde indeholder tilstrækkeligt fosfor på grund af mange års tilførsel af fosforgødning. Fosformangel er derfor under danske forhold et fænomen i den tidlige vækstfase ved fx hurtigt voksende fosforkrævende forårssåede afgrøder som majs, hvor jorden ikke kan stille fosfat til rådighed hurtigt nok.

Da fosfor også er et livsnødvendigt næringsstof for husdyr, skal det tilføres med foderet for at sikre sundhed, velfærd og produktion. Nedsat tilvækst og produktion er de første tegn på fosformangel, mens manglende knogleudvikling og mineralisering (nedbrydning af knoglevæv) ses efterfølgende. I tilknytning hertil kan dyrene, hvis de udsættes for langvarig mangel, udvikle 'bløde' og deforme knogler. Der har derfor gennem tiden været fokuseret på, at husdyrene ikke skulle mangle fosfor, da der tidligere er set fosformangel, der har ført til nedsat produktion og nogle gange også knoglebrud.

I dag er der fortsat fokus på, at dyrene ikke skal mangle fosfor. Samtidig er der også stort fokus på, at dyrene ikke skal overforsynes med fosfor ud over deres fysiologiske behov, idet den fosfor, som dyrene ikke udnytter, udskilles med husdyrgødningen og dermed kan have uønskede miljømæssige konsekvenser ved udbringningen af husdyrgødningen på markerne.

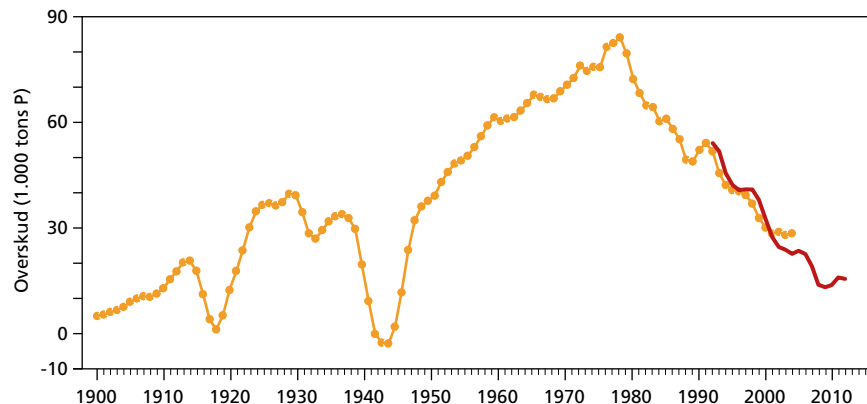




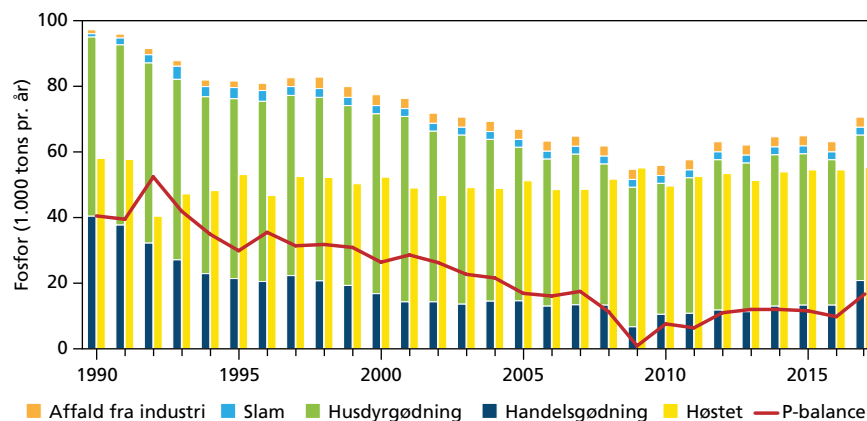
## 5.2 Fosforforbrug

Omkring 70 % af den mængde fosfor, der anvendes på markerne, kommer i dag fra husdyrgødning, mens handelsgødning udgør ca. 20 % og resten kommer fra affald og spildevandsslam (se også afsnit 6). Fosforoverskuddet er forskellen mellem den mængde fosfor, der tilføres marken via gødningsprodukter, og den mængde fosfor, der fraføres igen ved høst et givent år. Fosforoverskuddet i dansk landbrug er faldet betydeligt over de seneste ca. 25 år – fra ca. 84.000 ton fosfor i 1978, over 40.000 ton i 1990 og til ca. 10.000 ton fosfor i dag (Figur 5). Overskuddet i dag svarer til niveauet lige efter år 1900. Det faldende fosforoverskud skyldes primært, at tilførslen af handelsgødning og husdyrgødning er reduceret siden 1990.

Handelsgødningsforbruget har gennem en række år ligget nogenlunde konstant på ca. 13.500 ton fosfor. Med et overskud på ca. 10.000 ton fosfor de senere år, ville der stort set være balance i fosforregnskabet på landsplan, hvis der ikke blev anvendt handelsgødning. Det ser man også af Figur 6, hvor fosforbalancen (den røde linje) og handelsgødningsforbrug (blå søjler) har ligget på samme niveau siden 2012.



Figur 5. Udviklingen i fosforoverskud i landbrugssektoren 1900-2013. De to linjefarver viser to forskellige tidsserier af fosforoverskuddet.



Figur 6. Udvikling i til- og fraførsler af fosfor til dansk landbrugsjord 1990-2017. Fosforbalancen (den røde linje) angiver forholdet mellem tilført fosfor (fra gødning, affald og slam) og fraført fosfor (høstede planter). (Landovervågningsoplunde 2017, <https://dce2.au.dk/pub/SR305.pdf>).

Den nationale fosforbalance dækker imidlertid over store forskelle mellem landsdelene (Figur 7). I Nord- og Vestjylland, hvor der er intensiv husdyrproduktion, tilføres der mere fosfor, end der fjernes med afgrøderne. På Sjælland og i dele af Fyn og Østjylland domineres landbrugsdriften af planteavl, og her er fosforbalancen negativ.

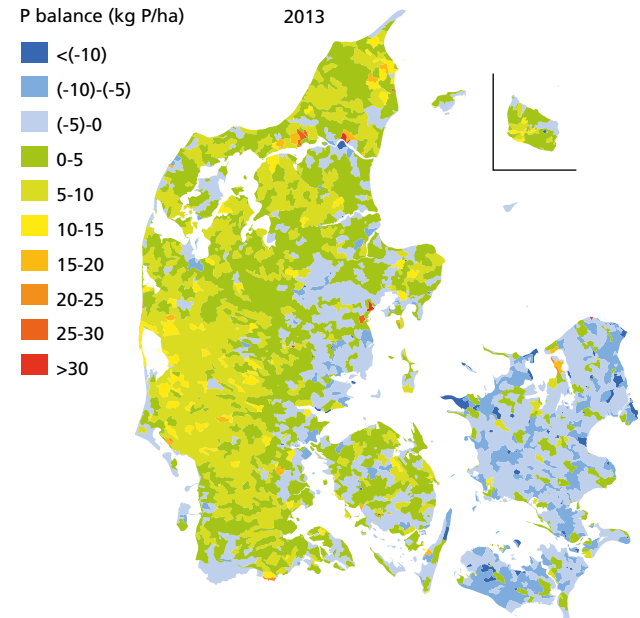
Underskuddet betyder, at man på Sjælland, dele af Fyn og dele af det østlige Jylland tærer på jordens fosforpulje – en praksis som kan anvendes i en årrække, hvis jorderne er velgødede, men vil resultere i udbyttenedgang, hvis jordens fosforstatus bliver for lav.

### 5.3 Fosfor i dansk landbrugsjord

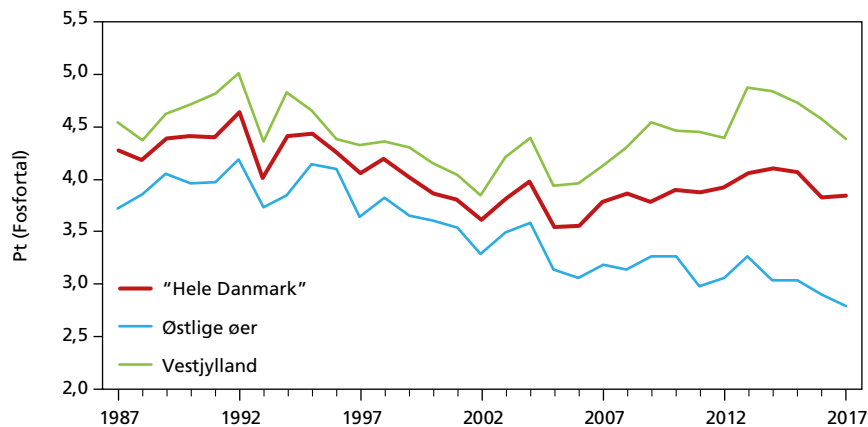
Fosfor, som tilføres marken, vil normalt blive bundet i jorden. Derfor er kun en mindre del af fosfor i jorden umiddelbart tilgængeligt for afgrøderne. Jordens indhold af plantetilgængelig fosfor måles i Danmark som jordens fosfortal. Fosfortallet bruges typisk af landmanden til at vurdere, om der bør tilføres jorden mere fosfor. Et fosfortal på mellem 2 og 4 mg/100 g jord anses for passende, og over 6 anses for højt. Til sammenligning er det samlede fosforindhold i jorden (dvs. indholdet af både partikelbundet og opløst fosfor samt organisk bundet fosfor) typisk 10 til 30 gange højere. Da der er en god sammenhæng mellem fosfor i jorden og fosfor på opløst form (Figur 1), kan fosfortallet bruges som indikation af jordens fosforindhold.

I Figur 8 vises udviklingen siden 1987 i landbrugsjordens indhold af tilgængeligt fosfor målt som fosfortallet.

De regionale forskelle i størrelse og udvikling i fosfortal stemmer overens med den overordnede skæve fordeling af husdyrtæthed og dermed udbringningen af husdyrgødning på arealerne i Danmark. I Vestjylland er fosforindholdet højt og med en svag stigende tendens



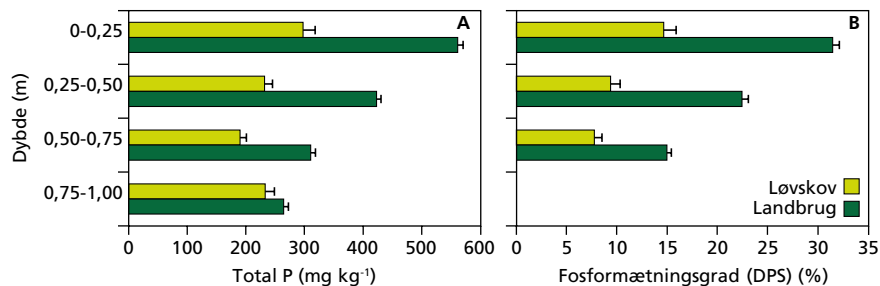
Figur 7. Fosforbalancen i 2013. De blå farver angiver underskud på fosforbalancen.



Figur 8. Udvikling i jordens fosfortal fordelt på Øst- og Vestdanmark. Det fald, som synes at være sket i 2015-17, skyldes formentligt en ændret analyseteknik.

siden årtusindskiftet (stor intensitet af husdyr), mens det på de østlige øer (herunder Sjælland og fyn) er betydeligt lavere med en faldende tendens igennem en lang periode (høj grad af planteproduktion uden husdyr).

Der er siden år 1900, med undtagelse af tiden under de to verdenskrige, tilført mere fosfor til markerne, end der er høstet (Figur 5). Den stadige tilførsel af fosfor i Danmark har givet anledning til ophobning af fosfor i landbrugsjorden. Jorden har imidlertid ikke en ubegrænset evne til at binde fosfor. Jordens fosformætningsgrad er et udtryk for, hvor stor en del af jordens bindingskapacitet, der er opbrugt. Når jorden har nået en vis fosformætningsgrad, vil mængden af opløst fosfor i jordvæsken stige. For højbundslande anses en fosformætningsgrad på over 25 % ofte for at være kritisk.



Figur 9. Jordens indhold af totalfosfor (4 dybder) og fosformætningsgrad (3 dybder) ved henholdsvis løvskov og landbrugsdrift.

I Figur 9 er indhold af totalfosfor og fosformætningsgrad i danske landbrugsjorde sammenholdt med skovjorde. Figuren viser, at landbrugsjordens indhold af fosfor og dens fosformætningsgrad er væsentligt højere end skovjordens, og at berigelsen med fosfor findes i de tre øverste jordlag. Berigelsen med fosfor i landbrugsjorden har gjort, at fosformætningsgraden i landbrugsjord er omtrent 50 % større end i jord fra løvskov.

## 6 Samlet fosforregnskab for Danmark

I Tabel 1 er de omtrentlige årlige fosformængder, der allerede i dag indgår i landbrugets fosforgødsning, sammenholdt med den totale gødningsressource, således at potentialet for øget recirkulering af fosfor i Danmark træder tydeligt frem. Opgørelsen af fosfor fra industrielle kilder er usikre, ligesom der ligger en del fosfor fra dedikerede slamforbrændingsanlæg opbevaret i såkaldte fosfordepoter, som ikke er medtaget i Tabel 1. Tabel 1 viser endvidere, hvor meget fosfor, der er fraført arealerne med de høstede afgrøder i 2016.

Tabel 1. Væsentligste fosforkilder, tilgængelig fosforgødningsressource og gødningsforbrug i runde tal i Danmark i 2016. Fosfor fraført med høstede afgrøder fremgår nederst af tabellen.

Fosforkilde, ca. mængde i ton P	Tilgængelig fosforgødningsressource	Anvendt til gødsning
Husdyrgødning	44.300	44.300
Handelsgødning *	13.300	13.300
Spildevandsslam	4.000	2.400**
Organiske rester inkl. kød og benmel	3.000	0
Andet	2.000	0
Affald fra industri***	3.100	3.100
P fra såsæd	1.000	1.000
I alt	70.700	64.100
Høstet med afgrøder i 2016		55.000

\* Handelsgødning har - modsat de andre typer af gødning – ikke en begrænset tilgængelighed i Danmark.

\*\* I dag komposteres 9 % af slammet (affaldsstatistikken 2016) som ikke er medregnet i de 2400 ton, ligesom ekstraktion af fosfor som struvit heller ikke er medregnet. \*\*\* Fosfor fra industri er vanskelig at opgøre, og indgår formentlig i de to overstående poster. Organiske rester inkl. kød og benmel og Andet (som fx dækker over halm og træaske, hus og have affald).



Det fremgår af Tabel 1, at en meget stor del - næsten 90 % - af de tilgængelige "indenlandske" fosforgødningskilder (dvs. uden handelsgødning) allerede i dag anvendes i landbruget.

Mens husdyrgødningen er meget ulige fordelt over landet med langt den største del i Jylland, forholder det sig anderledes med de fosforkilder, som relaterer sig til befolkningstæthed (spildevandsslam, organisk affald mv.). De er mængdemæssigt nogenlunde ligeligt fordelt mellem det østlige og vestlige Danmark (Tabel 2).

Såfremt den samlede nationale mængde af fosforgødningsprodukter skal kunne dække behovet med det nuværende forbrug i dansk landbrug og fortrænge brugen af handelsgødningsfosfor (eller i det mindste reducere forbruget betydeligt), skal store mængder fosfor fra husdyrgødningen flyttes fra vest mod øst i Danmark. De øvrige potentielle kilder til gødningsfosfor er relativt små og vil primært kunne dække meget lokale behov – fx i nærheden af et større renseanlæg.

Ud over de tilgængelige fosforkilder listet i Tabel 2, er der en meget stor fosforreserve bundet i landbrugsjorden som følge af et mangeårigt fosforoverskud. Udnyttelsen af denne fosforreserve bør ligeledes optimeres.

Tabel 2. Fordelingen af fosfor i de tre hovedfraktioner mellem Øst- og Vestdanmark.

	Vest for Storebælt	Øst for Storebælt
Bioaffald*	55 %	45 %
Spildevandsslam	54 %	46 %
Husdyrgødning	91 %	9 %

\*Samlet P-potentiale i bioaffald, inkl. de pt. endnu ikke frasorterede mængder

# 7 Fosfor og dansk vandmiljø

## 7.1 Kilder til fosfor i vandmiljøet

Fosfor fra landbrug og det øvrige samfund ender i vandmiljøet af mange forskellige veje. De vigtigste er vist i Figur 10.

Cirka en tredjedel af det fosfor, som løber ud i havet, kommer fra punktkilder (renseanlæg, dambrug, regnvandsudløb mv.). Resten kommer fra de diffuse kilder, som er udvaskning, erosion og overfladisk afstrømning fra marker, ejendomme, der ikke er tilsluttet central kloakering, erosion af vandløbsbrinker og grundvandets naturlige indhold af fosfor. Der er også en afsætning af fosfor fra atmosfæren. Den atmosfæriske deposition af partikelbundet fosfor er lav og vurderes derfor ofte til at være en ubetydelig kilde til fosfor sammenlignet med andre kilder.

Fosfors veje fra det tilføres marken som gødning, og til det ender i vandmiljøet, adskiller sig på flere måder fra de veje, kvælstof følger. Kvælstof i form af nitrat binder sig ikke til jordpartikler og vil derfor nemt kunne udvaskes til drænen eller grundvand, når det regner, og der ikke er afgrøder på jorden til at optage nitraten. Fosfor derimod bindes normalt hårdt til jorden og tabes kun under særlige omstændigheder, dvs. hvis jorden har en kritisk høj fosfor-mætningsgrad, eller hvis der er effektive transportveje fra jord til vandmiljø. Fosfor kan tabes ved udvaskning, erosion og overfladetransport fra marker, ved transport gennem makroporer (som fx regnormegange) til drænen, og ved at vandløbsbrinker nedbrydes (brinkerrosion), hvorved fosfor bundet i jordpartiklerne kommer ud i vandløbet.

I vandmættede jorde (f. eks. ved oversvømmelse) kan der opstå reducerende forhold i jorden (dvs. iltfrie forhold), hvilket kan betyde en væsentlig ændring

i jordens evne til at binde fosfor. Under sådanne forhold kan fosfor frigives som opløst fosfat, der kan udvaskes til vandmiljøet. Det er et forhold, man er meget opmærksom på, når man f. eks. laver vådområder til fjernelse af kvælstof.

Er fosfor først kommet ud i vandmiljøet, vil det, hvis det er bundet til partikler, kunne lægge sig på bunden af fx en sø eller fjord. Herfra kan fosfor frigives som opløst fosfat til vandet, hvis der opstår iltfrie forhold, og danne grundlag for vækst af alger.

Fosfor, der findes i vandmiljøet på opløst uorganisk form, kan således indgå direkte i produktionen af alger, hvorimod organisk bundet eller partikulært bundet fosfor først skal frigives.

## 7.2 Udledning af fosfor til vandmiljøet

Udledningen af fosfor til havet er reduceret markant siden 1990. Denne udvikling skyldes primært en stor reduktion i punktkildebidraget (renseanlæg m.m.), der er reduceret med ca. 86 % siden 1990. Dette afspejles også i koncentrationen af fosfor i vandløb, der falder markant i de vandløb, der

### De vigtigste kilder til fosfor i vandmiljøet

- Erosion og udvaskning fra jordens pulje af fosfor som bl.a. stammer fra handels- og husdyrgødning, der udbringes på markerne
- Direkte udledninger fra punktkilder som spildevand fra rensningsanlæg, industri og spredt bebyggelse
- Erosion af vandløbsbrinker
- Grundvand med et naturligt indhold af fosfor

### Fosforbalance

På markerne tilføres fosfor fra forskellige gødningskilder. En del af den tilførte fosfor optages i afgrøden og fjernes fra marken ved høst af afgrøden. Fosforbalance angiver forholdet mellem mængden af fosfor, der tilføres med gødningen, og mængden, der fjernes med afgrøden. Balancen kan således være både positiv (der tilføres mere fosfor, end der fjernes) og negativ (der fjernes mere fosfor, end der tilføres).

### Fosforbinding og udvaskning af fosfor

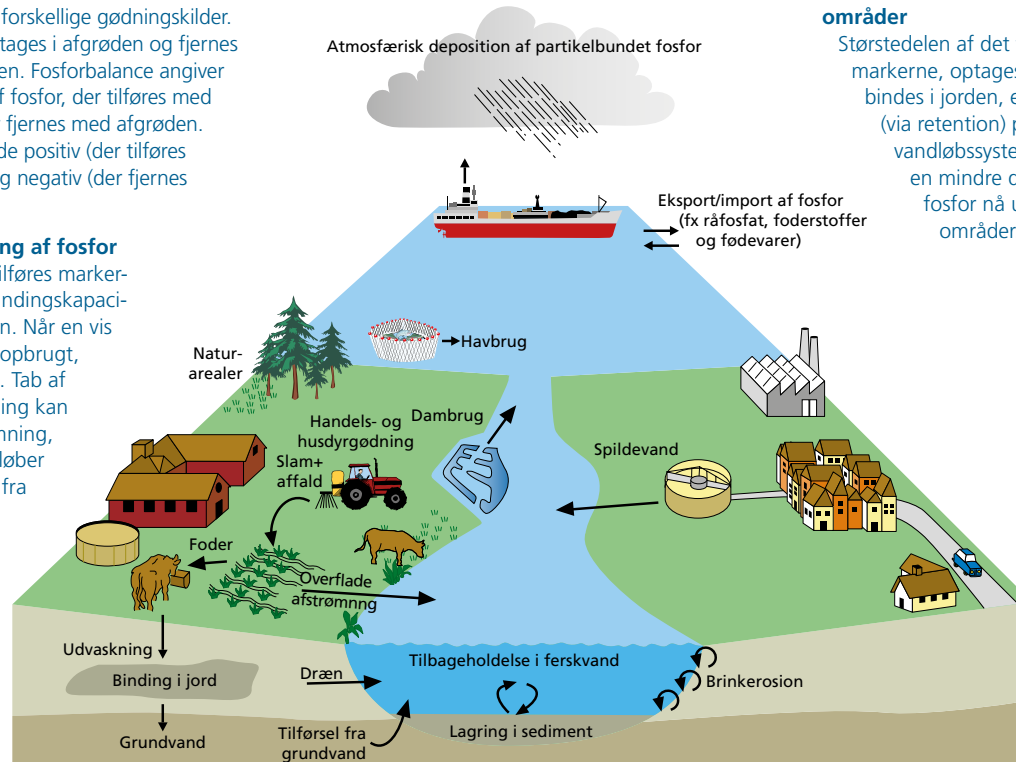
En stor del af det fosfor, der tilføres markerne, bindes i jorden. Jordens bindingskapacitet afhænger bl.a. af jordtypen. Når en vis del af bindingskapaciteten er opbrugt, øges udvaskningen fra jorden. Tab af opløst fosfor fra jord og gødning kan også ske ved overfladeafstrømning, hvor jord eller gødning f.eks. løber til vandmiljøet med regnvand fra skrånede arealer. Ligeledes kan tab af partikelbundet fosfor ske ved erosion og overfladeafstrømning, samt ved udvaskning via makroporer (små kanaler i jorden som f. eks. regnormegange) til drænen og ved brinkerrosion.

### Retention af fosfor

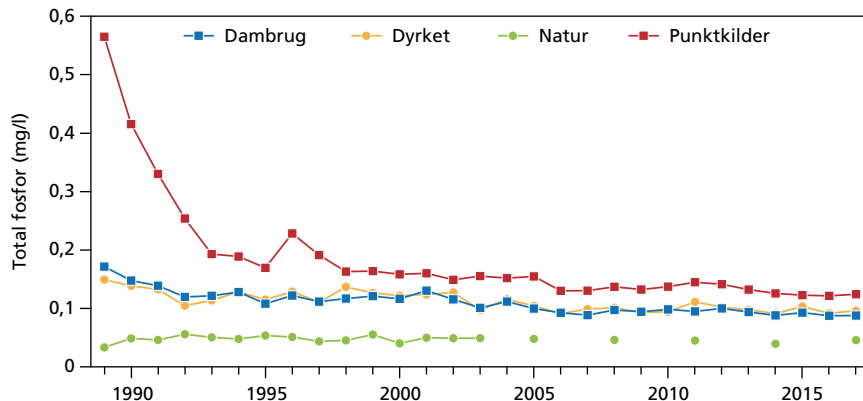
Meget fosfor tilbageholdes på sin vej frem til og gennem vandløbssystemet. Det sker for eksempel i de søer, som vandet passerer, hvor det partikelbundne fosfor kan synke ned og lagres i sedimentet. Det opløste fosfor kan optages af planteplankton, der også kan sedimentere ud og lagres i søbunden. Fosfor kan også bundfældes på enge mv., når sådanne områder oversvømmes.

### Fosforkoncentrationen i de kystnære områder

Størstedelen af det fosfor, der tilføres markerne, optages af afgrøderne, bindes i jorden, eller tilbageholdes (via retention) på sin vej gennem vandløbssystemet. Derfor vil kun en mindre del af den tilførte fosfor nå ud til de kystnære områder.



Figur 10. Kilder og tabsveje for fosfor til vandmiljøet.

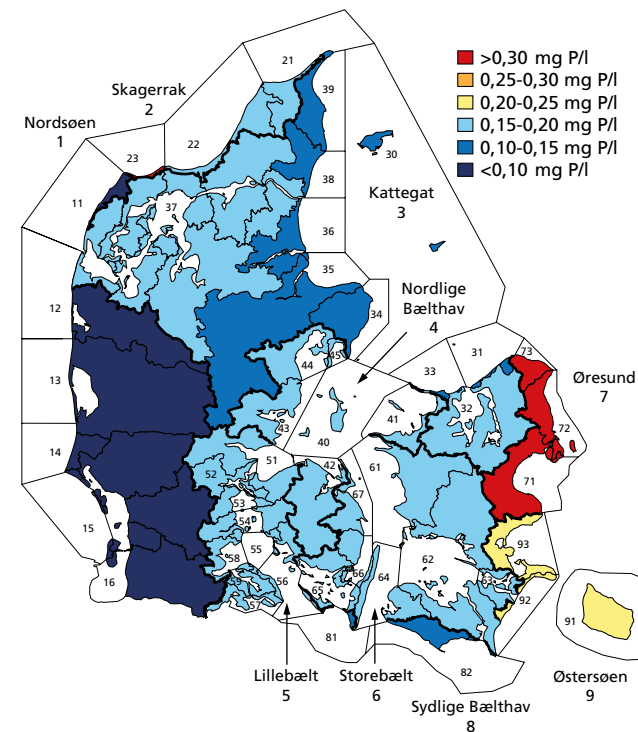


Figur 11. Udvikling i fosforkoncentration i vandløb, der er domineret af forskellige fosforkilder (Vandløb 2017). <http://dce2.au.dk/pub/SR306.pdf>

er påvirket af punktkilder (Figur 11). Der har ikke været en lignende udvikling i den diffuse fosfortilførsel til havet, og derfor er den relative betydning af den diffuse fosfortilførsel steget fra i 1990 at udgøre 20 % af den samlede udledning til i dag at udgøre ca. 80 %.

På trods af at der i over hundrede år har været et betydeligt fosforoverskud på landbrugsjorden (Figur 5), er der ikke de seneste ca. 30 år, hvor der er gennemført systematiske målinger i vandløb, observeret væsentlige ændringer i fosforkoncentrationen i vandløb, der primært løber i landbrugsområder ("dyrket" Figur 11). Årsagen er, at selv om det øverste jordlag ofte er stærkt fosforberiget, findes der typisk stadig en stor uudnyttet fosforbindingskapacitet i jordlagene herunder. Så længe jorden er i stand til at binde den overskydende fosfor, vil udvaskningen af opløst fosfor være lav. Det lille fald, der kan observeres i vandløb i landbrugsområder, skyldes formentlig en bedre rensning af spildevand fra ejendomme i det åbne land (dvs. en minipunktkilde), der pt. ikke kan adskilles fra estimeret af fosfortabet fra landbrugsarealerne.

De højeste koncentrationer af fosfor i den samlede udledning til havet målt i vandløb i forskellige dele af Danmark finder man fra områder langs østkysten af Sjælland, hvilket skyldes, at der i det område fortsat er en meget stor udledning fra punktkilder, herunder rensesanlæg (Figur 12).



Figur 12: Forskelle i gennemsnitlig fosforkoncentration i udledningen til havet mellem regioner i Danmark.

Omvendt finder man de laveste koncentrationer fra det vestlige Jylland, bl.a. fordi der kun er en begrænset tilførsel fra punktkilder, og da der falder mere nedbør end på øerne, hvilket "fortynder" koncentrationen af fosfor i vandløbene. Selv om man har det største fosforoverskud på markerne i Jylland (Figur 7), giver det sig derfor ikke udslag i en højere fosforkoncentration i vandløbene. Ud over den fortynding, der sker pga. den højere nedbørmængde, skyldes fortyndingen også, at landbrugsjorden stadig er i stand til at binde den overskydende fosfor.

Såfremt man vedvarende tilfører landbrugsjorden mere fosfor, end der fraføres med afgrøderne, og akkumuleringen af fosfor i landbrugsjorden dermed fortsætter, vil risikoen for tab af fosfor ved udvaskning og overfladisk afstrømning mv. langsomt øges. Hvor og hvornår et sådant tab faktisk vil vise sig i vandmiljøet, er vanskeligt at forudsige med det nuværende vidensgrundlag. Generelt vil den mest effektive indsats for at reducere fosfortabet fra jorden opnås ved at målrette indsatsen til de arealer, hvor risiko for fosfortab er størst. Det vurderes, at størstedelen af fosfortabet til vandmiljøet stammer fra et mindre areal. Derfor er en nøje kortlægning af arealer med stor risiko for fosfortab vigtig, så der opnås et vidensgrundlag til at målrette indsatsen for at mindske fosforoverskuddet og tabet af fosfor til de arealer, hvor tabsrisikoen er højest. Dette vidensgrundlag mangler i dag. Et projekt om "Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark", som bl.a. skal kortlægge de landbrugsarealer, hvor risikoen for fosfortab er størst, er sat i gang og forventes afsluttet med udgangen af 2019.

### 7.3 Fosfors betydning i vandmiljøet

Ligesom for plante- og husdyrproduktionen er fosfor også et essentielt næringsstof for produktion af biomasse i vandmiljøet. Særligt produktionen af encellede alger (plankton) har stor betydning for vandkvaliteten i søer og kystvande. Dels har en stor mængde plankton en skyggende effekt, som forhindrer rodfæstede planter som ålegræs i havet eller vandaks i søerne i at gro



Foto: Michael Strangholt



på dybere vand. Dels falder døde alger ned på bunden, hvor de er medvirkende årsag til, at ilten bliver forbrugt, når de døde alger omsættes, så der opstår iltsvind.

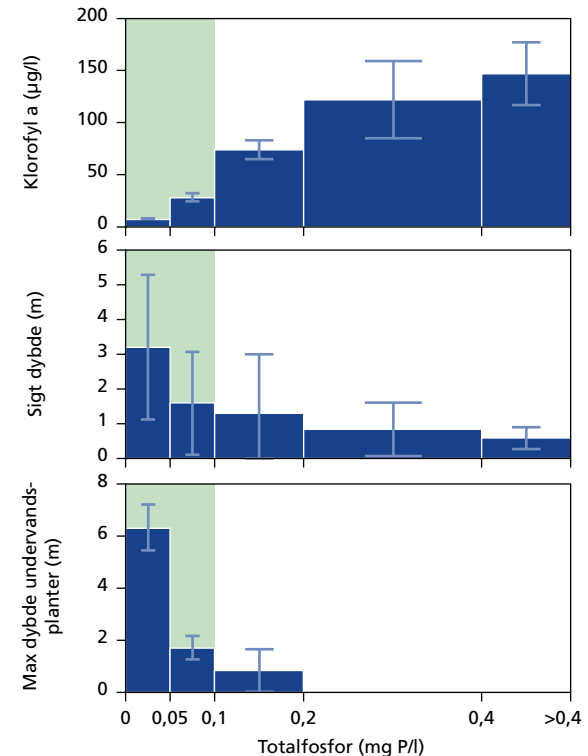
I vandløb påvirkes planter og dyr af mange faktorer. Fosfor har betydning for, hvilke planter der vokser i vandløbene og sammensætningen af de alger, som gror på vandløbsbunden. Derfor kan fosfor også påvirke muligheden for at nå miljømålene i vandløb.

Gennem årene har man derfor forsøgt at begrænse udledningerne af kvælstof og fosfor i bestræbelserne på at opnå et bedre vandmiljø, dels ved at forbedre rensningen af spildevand, og dels ved at mindske tabet fra markerne. Normalt betragtes fosfor som det mest begrænsende næringsstof i søerne. Det skyldes, at der generelt er overskud af kvælstof i søerne, og ydermere kan kvælstoffikserende cyanobakterier kompensere for eventuelt manglende kvælstof ved at fikserer frit kvælstof fra atmosfæren. Derfor er der i oplandet til søer sat krav om en mere effektiv spildevandsrensning end i andre områder.

Spildevandsrensningen omfatter alle størrelser punktkilder, selv det enkelte hus ude på landet. Der er dog også søer, hvor den interne fosforbelastning (den mængde fosfor, der er lagret og frigives fra søbunden) er så høj, at det især hen over sommeren kan blive kvælstof, der er det mest begrænsende næringsstof.

De overordnede sammenhænge mellem indholdet af fosfor i en sø og enkelte centrale biologiske parametre viser, at med et stigende fosforindhold øges mængden af alger (her målt som klorofyl), vandet bliver mere grumset (sigtdybden falder), og undervandsplanter vokser kun på lavt vand (Figur 13).

For det kystnære havmiljø har kvælstof størst betydning for regulering af algerne, men fosfor kan også spille en væsentlig rolle – især om foråret og særligt i de lukkede og mest ferske fjorde og kystområder.



Figur 13. Sammenhænge mellem søers fosforindhold og en række centrale biologiske forhold i søer. Øverste figur viser koncentrationen af klorofyl, der er et udtryk for mængden af alger i vandet. Den midterste figur viser sigtdybden, der er et udtryk for vandets klarhed. Nederste figur viser den maksimale udbredelse af undervandsplanter ved en given fosforkoncentration. Den grønne skravering hvor fosforkoncentrationen er mindre end 0,1 mg pr. l angiver det område, hvor undervandsplanter kan være dominerende i lavvandede søer og vandet er klart.

## 8 Fosforregulering

Der er i 2017 gennemført en direkte regulering af den mængde fosfor, der må udbringes på landbrugsjorden i form af fosforlofter for forskellige gødningstyper (afhænger af husdyrart). Indtil da var fosforudbringningen indirekte reguleret via harmonikravet (og det tidligere skærpede harmonikrav for de fleste dyretyper udover kvæg), hvor der var fastsat grænser for mængden af husdyrgødning, der måtte tilføres udbringningsarealet, på baggrund af husdyrgødningens kvælstofindhold. De nye fosforlofter fastsætter, hvor meget fosfor der må udbringes på udbringningsarealet for forskellige gødningstyper uafhængig af kvælstofindholdet.

Fosforlofterne for de forskellige gødningstyper bliver gradvist skærpet over de kommende år (Tabel 3). Der er endvidere indført et skærpet fosforloft, der gælder uanset gødningstypen i oplande til en række søer svarende til ca. 22 % af landbrugsarealet. I 2022 skal der igen tages stilling til fosforlofterne for de enkelte gødningstyper, mens det gennemsnitlige beskyttelsesniveau er fastlagt frem til 2025 (Tabel 3).

Tabel 3. Lofter for udbringning af fosfor (kg P pr. ha) for de forskellige gødningstyper indført i 2017. Der gælder generelle lofter på 78 % af landbrugsarealet (G) og skærpede lofter i oplande til søer svarende til 22 % af landbrugsarealet (S). For 2022 og 2025 er kun det gennemsnitlige beskyttelsesniveau blevet fastlagt.

Gødningstype, kg P/ha	Før 1. august 2017	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	
		G	S	G	S	G	S	G	S	G	S
	Harmonikrav og skærpet harmonikrav										
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)	Inkl. P-klasser 32,2	34,7 kg P/ha (fra 2018)		34,1 P/ha		33,2 kg P/ha		32-33 kg P/ha		30-31 kg P/ha	

## 9 Tiltag til bedre udnyttelse af fosfor

### 9.1 Muligheder og udfordringer for at reducere udskillelsen af fosfor i husdyrproduktionen

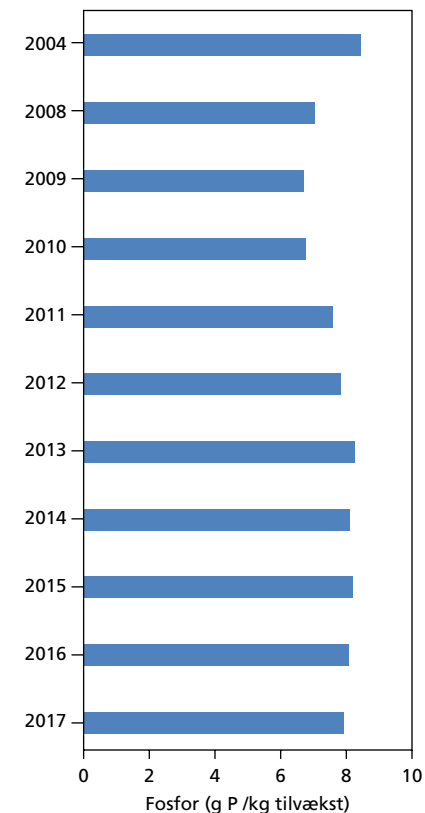
Ca. 70% af den mængde fosfor, der tilføres planteproduktionen, stammer fra husdyrgødning. En af måderne at nedbringe fosfortilførslen til landbrugsjorden er således at reducere den mængde fosfor, som husdyrene udskiller i gødningen. Dette har betydning for, hvor stor en mængde fosfor, der er til rådighed for planteproduktionen og dermed for mulighederne og behovet for en eventuel omfordeling af fosfor i Danmark.

Gennem årene er udskillelsen af fosfor fra husdyrene blevet reduceret markant. Det er bl.a. sket gennem mindsket foderforbrug (forbedret fodereffektivitet) og gennem ændringer af fodringen fx ved brug af mikrobiel fytase (se boks 1) i foderet til fjerkræ og grise i den konventionelle produktion. Eksempelvis er udskillelsen af fosfor reduceret med omkring 25% hos slagtegrise siden 1996 (Figur 14).

Mælk er en anden stor animalsk produktion, der har haft tilsvarende udvikling, idet der er sket et fald i udskillelsen af fosfor på godt 30% pr. kg produceret mælk siden 1996. For slagtekyllinger er der alene i perioden fra 2011 til i dag sket et fald på 11% pr. kg tilvækst.

I 2005 blev der som et led i aftalen om Vandmiljøplan III indført en afgift på foderfosfat med det formål at give incitament til at tilsætte mikrobiel fytase til foder og reducere brugen og importen af foderfosfat. Mikrobiel fytase tilsættes nu i stort omfang til foder til konventionel grise- og fjerkræproduktion. Forbruget af foderfosfat er reduceret med 25% og ligger nu på omkring 13.000 ton pr. år. Der er netop truffet politisk beslutning om at fjerne afgiften på foderfosfat med virkning fra 2019 under henvisning til, at de nye fosforlofter (se afsnit 8) fremover varetager afgiftens oprindelige formål. Det skyldes, at en bedre fodringseffektivitet i forhold til fosfor som noget nyt indgår som en mulighed for at imødekomme fosforarealkravet.

Mulighederne for at reducere husdyrenes udskillelse af fosfor er ikke fuldt udtømte. Overordnet er mulighederne for reduktion knyttet til primært tre spor (i) øget fordøjelighed af fosfor i foderstofferne, (ii) forbedret tilpasning af foderets indhold af fordøjeligt fosfor til dyrenes aktuelle behov og genetiske potentiale, mens (iii) andre tiltag herunder genetisk fremgang har varierende potentiale.



Figur 14. Udviklingen i udskillelsen af fosfor, g pr. kg tilvækst hos slagtegrise fra 2008-2017. 2004 er indsat som referenceår.

# BOKS 1

## Husdyrenes fosforudnyttelse

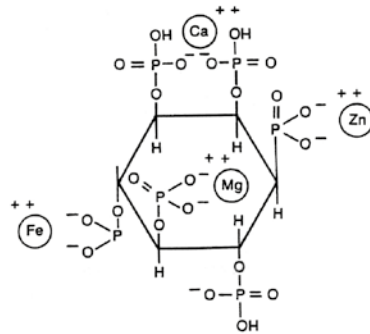
Husdyrenes fosforudnyttelse er den procentvise andel, som husdyrene tilbageholder/aflejrer i kroppen/mælk/skind/æg mv. af den mængde fosfor, de får via foderet. Udnyttelsesgraden afhænger af husdyrart og kategori, og beregningerne viser, at den aktuelt varierer mellem 7 og 49%. Det betyder tilsvarende, at udskillelsen kan være mellem 51 og 93% af den mængde fosfor, dyrene æder med foderet.

## Indhold af fosfor i husdyrgødning

Det samlede indhold af fosfor i husdyrgødning er beregnet til omkring 43.000 tons fosfor, som fordeler sig med ca. 39% fra kvæg, 47% fra grise, 6% fra fjerkræ, 7% fra mink og 1% fra heste.

## Fytat

Langt den største del af det fosfor, der findes i korn og oliefrø, findes i form af den kemiske forbindelse fytat. Enmavede husdyr (som grise og fjerkræ) har vanskeligt ved at nedbryde fytat og dermed udnytte det fosfor, der er bundet deri. Dette er en væsentlig årsag til, at der gennem tiderne er blevet brugt foderfosfat som tilskud til husdyrfoder.



## Sådan virker fytase

Fytase er et enzym, som findes i kerner og frø. Siden 1990'erne er der kommercielt blevet fremstillet mikrobiel fytase med det formål at tilsætte det til foderet til primært grise og fjerkræ. Enzymerne har den egenskab, at de fremmer nedbrydningen af fytat, så fosfatet frigøres og kan udnyttes af husdyrene. Det medfører, at udnyttelsen af fosfor i foderet stiger, hvorved behovet for tilsætning af foderfosfat falder. Brugen af mikrobielt fremstillet fytase er ikke tilladt i økologisk produktion.

## Støbsætning og vådfodring

Alle enzymer kræver fugtigt/vandigt miljø for at virke. Tiden, som fytase har til rådighed til nedbrydning af fytat i mave-tarmkanalen, er meget begrænset, når foderet fodres tørt. Derfor er der i de senere år arbejdet med at forlænge den tid, som fytase har at virke i. Hvis foderstofferne befugtes eller støbsættes inden udfodringen, aktiveres nedbrydningen af fytat, før foderet ædes af dyrene. Tilsvarende vil vådfodringssystemer, hvor foder og vand/væske blandes inden fodring, også bidrage til, at nedbrydningen af fytat starter, før grisene æder foderet. Derved vil dyrene kunne udnytte en større andel af fosforet i fytat, og tilsætningen af foderfosfat kunne reduceres.

## Management

Det er en balancegang at sikre husdyrene den mængde fosfor, der er livsnødvendig for dem, og samtidig begrænse den mængde, der udskilles med gødningen mest mulig. Det kræver sikker viden og præcision i hele kæden: Fra foderfremstilling (råvarekendskab, blandesikkerhed), udtagning af prøver til analyse (repræsentative prøver af foderstoffer og -blandinger), kemiske analyser (forskellige metoder til bestemmelse af fosfor), foderoptimering tilpasset dyrenes behov afhængig af genetisk potential/biologisk respons og foderstoffernes indhold, til udfodringssystemer og fodermanagement på de enkelte bedrifter.

Stærkere fokus på management i hele kæden vil kunne bidrage til at begrænse den store variation, der ses i fosforudnyttelse og -udskillelse på ellers sammenlignelige bedrifter.

- (i) Der er over de seneste to årtier sket en øget anvendelse af enzymet fytase, som findes i varierende mængde i nogle foderstoffer, men som også kan tilsættes foderet i form af mikrobiel fytase, hvorved dyrenes optagelse af fosfat øges (fjerkræ og grise). Brugen af mikrobiel fytase har bidraget til at reducere forbruget af foderfosfat med 25 % siden 2004. Med de nye lofter for udbringning af fosfor til markerne, forventes det, at anvendelsen af mineralsk foderfosfat vil falde yderligere, da den nye fosforregulering indeholder muligheden for, at bedrifter med en bedre fodringseffekt i forhold til fosfor end normtallet (husdyrgødning), kan medregne dette i opgørelsen af det nødvendige udbringningsareal til overholdelse af bedriftens fosforloft. Dette kan opnås ved at øge fordeligheden af fosfor i plantefoderstofferne fx ved at bruge større doseringer af mikrobiel fytase eller ændre i udfodringsformen (fx vådfodring eller støbsætning se boks 1).
- (ii) Fodringsanbefalingerne som er givet for at sikre sundhed og vækst og for at undgå mangelsymptomer ved for lille tilførsel af fosfor, omfatter to grundlæggende elementer – det eksperimentelt bestemte behov og en sikkerhedsmargin, der lægges oven i det bestemte behov. Sikkerhedsmarginen er bl.a. nødvendig for at tage højde for manglende viden om variation i indhold og fordøjelighed af fosfor i det aktuelle foder, samt afvigelser mellem dyrenes fosforbehov bestemt under eksperimentelle forhold og det fosforbehov, der reelt iagttages i praksis. Det er især denne sikkerhedsmargin, som kan danne grundlag for en yderligere reduktion i fodringsanbefalingerne og dermed bidrage til yderligere nedsættelse af mængden af udskilt fosfor. For at kunne reducere margenen yderligere kræves imidlertid en meget specifik viden om de enkelte dyrearters behov for fosfor på forskellige stadier i produktionen og variationen i foderets fosforindhold. Denne viden er ikke umiddelbart til stede i dag, ligesom fodringsanbefalingerne forventes at skulle tilpasses i takt med, at der opnås avlsmæssig fremgang for øget produktivitet fx foderforbrug pr. kg tilvækst og mælkeydelse.

- (iii) De væsentligste andre tiltag, som kan reducere fosforudskillelsen, er avlsarbejde, nye fodringssystemer (vådfodring), superdosering af fytase og management (se boks 1).

I praksis vil en sammenstyknings af elementer fra de tre hovedpunkter skulle bruges for at øge husdyrenes udnyttelse af fosfor og reducere indholdet i gødningen. Mulighederne er ikke ens for alle typer husdyr. En forbedret foderudnyttelse vil som hovedregel være en mulighed for alle husdyr, mens optimeret brug af mikrobiel fytase primært er brugbart hos fjerkræ og grise i stedet for tilskud af foderfosfat. Drøvtyggerne får som regel ikke tilskud af foderfosfat, ligesom der heller ikke tilsættes fytase til foderet, idet den mikrobielle fermentering i vommen sørger for tilstrækkelig omsætning af fytat (se boks 1). Det skal nævnes, at mulighederne for forbedringer ikke er ens hos konventionel og økologisk produktion. Især er den økologiske produktion af fjerkræ og grise udfordret, da der ikke må bruges mikrobielt fremstillet fytase.

## 9.2 Tekniske muligheder og omkostninger ved at flytte husdyrgødning over større afstande

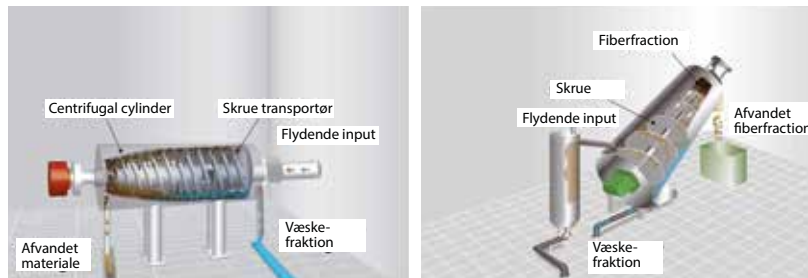
Fosfor findes i overskud i store dele af Jylland, mens der er et underskud af fosfor på Sjælland og Lolland/Falster (se tidligere afsnit og Figur 7). Det er derfor nærliggende at se på muligheder – og barrierer – for at flytte fosfor fra Jylland til de østlige øer for herved at øge udnyttelsen af fosfor i Danmark.



Omkring 6 % af fosfor i husdyrgødning findes i fast fjerkrægødning, der har en relativ høj koncentration af fosfor. Derfor er det økonomisk set oplagt, at transportere denne gødningstype over større afstande.

Over 80 % af husdyrgødningen findes som gylle, hvor koncentrationen af fosfor er lav pga. det lave tørstofindhold. Flytning af fosfor i gylle over større afstande er billigere, hvis den faste del af gyllen, hvor en stor del af fosforindholdet findes, skilles fra den flydende del. Herved forbedres mulighederne for at fragte den faste del og dermed det meste fosfor over længere strækninger. Den flydende del, som er rig på kvælstof, kan udnyttes lokalt.

Det findes en lang række tekniske løsninger til at skille den faste del fra gyllen – fra simple presser og centrifuger (Figur 15) til mere avancerede metoder som membranteknik, inddampning mv. (se boks 2). De avancerede metoder er effektive i forhold til opkoncentrering af fosfor men til gengæld omkostningstunge. Derfor er vurderingen, at det på nuværende tidspunkt kun er de simple metoder, der har en driftsøkonomi, som kan gøre en separation attraktiv, og at det forudsætter, at separationen finder sted på store fællesanlæg for at mindske driftsomkostningerne.



Figur 15. Dekantercentrifuge (tv) og skruepresse-teknologier (th), som pt. anses for økonomisk attraktive.

## BOKS 2

### Teknologier til behandling af gylle

**Biologiske metoder:** Mest anvendt er bioforgasning. Bioforgasning foregår på biogasanlæg, hvor gyllen opvarmes, og tørstoffet deri omsættes under iltfrie forhold under frigivelse af gassen metan. Gassen opsamles og kan efter rensning indgå i energiforsyningen. Processen ændrer i sig selv ikke på fosforindholdet i gyllen, men gyllen blandes ofte med andre typer biomasser (som fx madaffald eller spildevandsslam), der også bidrager med fosfor, og som kan ændre på det afgassede slutprodukts forhold mellem kvælstof og fosfor. Forholdet mellem kvælstof og fosfor i produktet er vigtigt, idet det helst skal matche afgrødens behov, for at begge næringsstoffer udnyttes optimalt ved den efterfølgende udbringning på markerne af slutproduktet.

**Presser:** Vådfraktionen og det faste stof skilles ad ved en simpel presning af gyllen. Effektiviteten i at udskille fosfor er forholdsvis lille, men øges med øget indhold af tørstof.

**Dekantercentrifuge:** Gyllen centrifugeres ved høj hastighed, hvorved de faste dele af gyllen sedimenteres. Der produceres en tørstoffrig del, som indeholder størstedelen af gyllens fosfor.

**Membranteknik:** Mest effektiv ved behandling af en væske efter en mekanisk adskillelse (presse eller centrifuge). Kan i princippet producere næsten rent vand ved at fjerne alle næringsstoffer mv., men det er en omkostningstung proces.

**Inddampning:** Vandet i gyllen fjernes ved afdampning ved høj temperatur. En forudgående mekanisk fjernelse af partikler er nødvendig. Det er en omkostningstung proces.

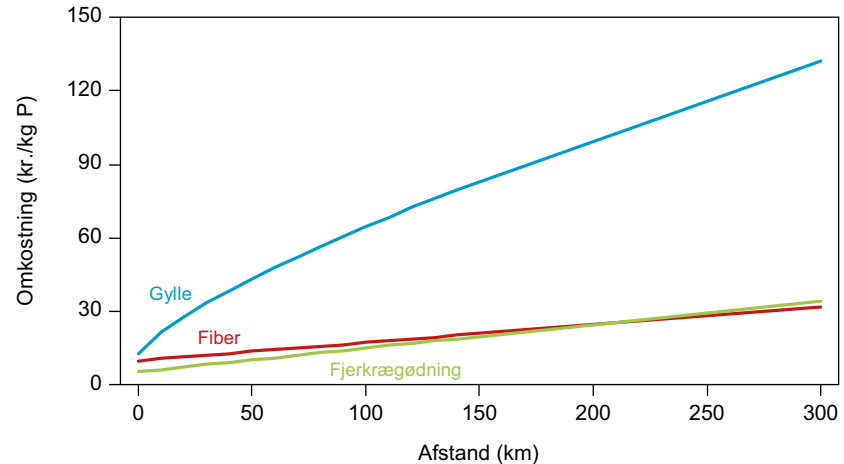
**Kemisk fældning:** Fosforet udfældes ved at tilsætte kemiske stoffer. Herved samles fosfor i større partikler, som så kan udfældes eller fjernes mekanisk fx med presser. Processen har en høj effektivitet med hensyn til fjernelse af fosfor.

**Afbrænding af fast gødning:** Ved en afbrænding samles fosfor i asken. Herved fremkommer et produkt, som er nemt og billigt at flytte. Til gengæld tabes alt kvælstof og organisk stof til luften. Anvendes i dag stort set ikke i Danmark, men er mere almindeligt i Nederlandene.

De fosforprodukter, der kommer ud af de forskellige behandlingsmetoder, er til sammenligning i denne redegørelse set i forhold til prisen på handelsgødningsfosfor (2018). Det er gjort for at vise den potentielle værdi af gødningsprodukterne, hvis de kunne afsættes til markedsværdi og illustrere, hvor langt det ud fra et økonomisk synspunkt, i dag kan svare sig at transportere produkterne.

En omfordeling af fosfor inden for landet er nødvendig, såfremt den samlede mængde fosfor skal anvendes mere optimalt og i sidste ende gøre brugen af handelsgødningsfosfor overflødig eller meget lille. I den sammenhæng er indholdet af fosfor i gødningens faste fraktion, der har det største fosforindhold, afgørende for, hvor langt det kan betale sig at transportere denne faste fraktion.

I dag behandles ca. 20 % af gyllen på biogasanlæg, hvor der sker en mikrobiel omsætning af tørstoffet i gyllen ved produktion af biogas. Gassen opsamles og udnyttes til energi eller sendes ud i naturgasnettet, mens den afgassede gylle, der stadig indeholder fosfor og kvælstof, udbringes på markerne som gødning. Til trods for en betydelig værdi af produktet, kan produktionen og afsætningen af denne afgassede fraktion imidlertid være en omkostning for biogasanlæggene, der typisk afholder hele udgiften. Det er tilfældet for den andel af det afgassede materiale, som leverandøren af gyllen ikke ønsker at modtage igen, og som heller ikke kan afsættes til planteavlere i nærområdet.



Figur 16. Omkostning til produktion (fiber), transport og udbringning (fiber, gylle, fjerkrægødning) pr. kg fosfor sat i forhold til transportafstand. Omkostningen er ikke fratrukket værdi af næringsstofferne.

Den manglende villighed til at betale for gødningsproduktet gør, at biogasanlæggene i enkelte tilfælde har en samlet udgift på op til 20 kr. pr. kg fosfor, der afsættes til planteavlere ved afstande på op til 100 km, hvis gyllen opkoncentreres. Hvis der skal transporteres fosfor over større afstande, eksempelvis mellem Jylland og Sjælland, vil denne udgift være ca. 30 kr. pr. kg fosfor, hvis den afgassede gylle opkoncentreres, mens omkostningen vil være langt højere uden anvendelse af opkoncentreringsteknikker (Figur 16).

I Figur 16 er vist omkostningen ved at producere, transportere og udbringe 1 kg fosfor – enten som gylle eller som en fast fraktion. På trods af, at der er relativt høje produktionsomkostninger forbundet med fremstilling af fiberfraktionen, er de samlede omkostninger ved produktion og udbringning på niveau med omkostninger for udbringning af husdyrgødning. Det skyldes, at

Tabel 4. Fosforkilder knyttet direkte til husdyrproduktion og sammenlignet med handelsgødning. For teknologisk modenhed og gødningsværdi er der angivet kvalitative vurderinger fra "----"(meget dårlig) til +++ (meget god).

	Teknologisk "modenhed"	Gødnings-værdi af P i slutproduktet	Gødningsværdi*	Økonomi/ Omkostninger**	Nettoværdi***
Handelsgødnings P	+++	+++	12 kr./kg P	12 kr./kg P	0 kr./kg P
Direkte udbringning af flydende husdyrgødning (10 km)	+++	+++	57 kr./ton	30 kr./ton (22 kr./kg P)	27 kr./ton (23 kr./kg P)
Direkte udbringning af husdyrgødning (100 km)	+++	+++	57 kr./ton	74 kr./ton (64 kr./kg P)	-17,2 kr./ton (-14,3 kr./kg P)
Fast fraktion ved bioforgasning og separation (100 km transport)	++	+++	160 kr./ton	175 kr./ton (15 kr./kg P)	-15 kr./ton (-1,5 kr./kg P)
Direkte udbringning fjerkrægødning (100 km transport)	+++	+++	262 kr./ton	112 kr./ton (15 kr./kg P)	150 kr./ton (20 kr./kg P)

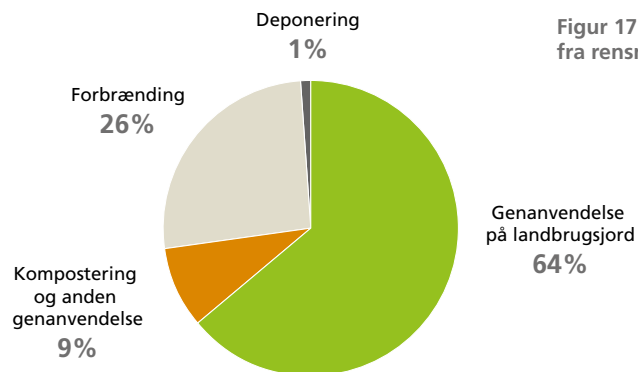
\*Værdi er regnet med handelsgødningspriser (2018) som referencer og anslåede gødningsværdi i marken. \*\*Omkostninger dækker lagring, udbringning, transport, produktion og afsætning af fiber. \*\*\*Nettoværdi er gødningsværdi af kvælstof, fosfor og kalium fratrukket omkostninger, hvor positive værdier betyder, at der er en gevinst i forhold til at bruge fosfor fra handelsgødning mens negative værdier betyder, at det er dyrere end at anvende handelsgødning.

der er mere fosfor i fiberfraktionen, hvilket gør omkostninger til udbringning pr. kg fosfor væsentligt lavere end for husdyrgødning.

Sammenlignes omkostningerne for fosfor indkøbt som handelsgødning (i 2018: 12 kr. pr. kg fosfor) med fosfor fra bioforgasning/separation, før der påregnes omkostninger til transport og udbringning, er prisen for 1 kg fosfor som handelsgødning og som separeret fiber fra et biogasanlæg nogenlunde ens. Indregnes udgifter til såvel transport som udbringning af fiberdelen, bliver fosfor fra fiber langt dyrere end fosfor fra handelsgødning (Figur 16).

Omkostningerne afbilledet i Figur 16 er ikke fratrukket værdien af næringsstoffer i produktet. Hvis værdien af næringsstoffer, herunder kvælstof, indregnes, vil der være en nettogevinst forbundet med udbringning af gyllen i nærområdet (Tabel 4). Skal gyllen transporteres over længere afstande, er det dog klart fiberfraktionen, der er mest omkostningseffektiv grundet de lavere transportomkostninger (Figur 16; Tabel 4).

I Tabel 4 er værdien af næringsstoffer indregnet i nettoværdien, der således afspejler en situation, hvor der er villighed til at betale for gødningsproduktets reelle værdi. Når værdien af næringsstoffer indregnes, er der en stor gevinst ved den direkte udbringning af husdyrgødning i nærområdet, som derfor er meget konkurrencedygtig i forhold til handelsgødningsfosfor. Ligeledes er direkte udbringning af fjerkrægødning konkurrencedygtig med handelsgødningsfosfor selv ved meget lange transportafstande. Skal man



Figur 17. Anvendelse af slam fra rensningsanlæg i 2016.

derimod transportere gylle over længere afstande, kan det svare sig at opkoncentrere fosforet først.

En stigende andel af husdyrgødningen tilføres biogasanlæg, hvor det anvendes sammen med organiske affaldsressourcer. Hvis man fremadrettet ønsker at transportere fosfor over større afstande, spiller de gødningsbaserede biogasanlæg en meget vigtig rolle i håndtering af næringsstoffer fra landbrug og det øvrige samfund. På biogasanlæg kan man behandle tilstrækkeligt store mængder til, at det kan betale sig at installere separationsanlæg og dermed minimere transportomkostningerne.

### 9.3 Bedre udnyttelse af fosfor i spildevand

Husdyrgødningen udgør ca. 80 % af den potentielle "indenlandske" fosforressource, dvs. uden indregning af handelsgødningsfosfor. De resterende 20 % består af en række mindre kilder, hvor spildevandsslam og kildesorteret organisk dagrenovation (KOD) udgør næsten 18 af disse 20 %. De øvrige mindre kilder omtales ikke yderligere her, men disse kan have stor lokal betydning.

I dag udbringes ca. 2/3 af spildevandsslammet fra rensningsanlæg på landbrugsjord (Figur 17). Hvis slammet ikke lever op til de fastsatte kvalitetskrav for fx indhold af tungmetaller, bliver det enten afbrændt eller deponeret. Af den udbragte mængde spildevandsslam er 1/3 behandlet på slambaserede



Foto: Linda S. Sørensen

Tabel 5: Opsummering af strategier og værdikæder for fosforrecirkulering fra visse typer spildevand og husholdnings-/industrielt bioaffald. Kvalitative vurderinger fra "– – –" (meget dårlig) til "+ + +" (meget god). Omkostningerne er udgiften forbundet med prisen for fremstilling af det endelige gødningsprodukt. I forhold til direkte udbringning af spildevandsslam er transportomkostninger inkluderet i omkostningsberegningen.

Strategi*	Teknologisk modenhed	Gødningsværdi (1. år) af produktet	Økonomi/omkostninger
Bioforgasning af spildevandsslam og udbringning på mark	+ + +	+ + Langsom frigivelse af P	– –
Direkte udbringning af spildevandsslam	+ + +	+ / + + (afhænger af metode) Langsom frigivelse af P	45 kr. pr kg P
Mineralisering af spildevandsslam	+ + +	+ / + + Langsom frigivelse af P	–
Biologisk P-fjernelse og struvitudfældning	+ +	+ + + (Bio-P) + + + (struvit; langsom frigivelse af P)	32-40 kr. pr. kg P i slam
Forbrænding af industriel bioaffald og P-ekstraktion fra aske	+ + +	+ + + (dog afhængig af teknologien)	+ Teknologi er (tæt på) markedsmoden
Bioforgasning & kompostering af organisk husholdningsaffald	+ + +	+ + (lav P-indhold)	+

\* Beskrives i Husdyrs fosforudnyttelse og fosfors værdikæde fra husdyrgødning, bioaffald og spildevand – Faglig baggrundsrapport for fosforvidenssyntesen”, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi 2019.



biogasanlæg. Ligesom for de gyllebaserede biogasanlæg er der for renselanlæggenes en betydelig udgift forbundet med at afsætte slammet, idet der ikke er villighed hos modtageren til at betale for hverken transport, udbringning eller næringsstofferens værdi. Derfor er der interesse for metoder, der kan benyttes til at nyttiggøre fosfor fra spildevandsslam og i den aske, der opstår ved afbrænding af slammet. Der findes allerede nu en række teknologier, der kan benyttes til dette, herunder mineralisering af slammet (en biologisk proces, hvor slammet nedbrydes af mikroorganismer i et jordbassin tilplantet med fx tagrør), udfældning af struvit (et fosforholdigt mineral, der kan udfældes fra spildevand og anvendes som gødningsprodukt med en betydelig markedsværdi) fra vandfasen og ekstraktion af fosfor fra slamasken. Selvom produktionsprisen pr. kg fosfor for disse produkter i enkelte tilfælde er på niveau med prisen på fosfor fra handelsgødning, kan denne ressource ikke dække behovet for gødning i dansk landbrug.

I Tabel 5 vurderes en række teknologier til behandling af affald inkl. spildevandsslam i forhold til teknologisk modenhed (det vil sige umiddelbar anvendelighed), gødningsværdi samt omkostninger ved fremstilling af det endelige gødningsprodukt. Det har ikke været muligt at vurdere omkostningerne på alle fraktioner i Tabel 5, men hvor det har været muligt, ligger omkostningerne pr. kg fosfor væsentligt over omkostningerne forbundet med brug af handelsgødning (ca. 12 kr. pr. kg fosfor) og frasepareret fosfor i gylle. Det er værd at bemærke, at omkostningerne ved struvit-fremstilling er omtrent af samme størrelsesorden som omkostningerne ved at udbringe spildevandsslam. Da struvit modsat spildevandsslam desuden har en vis markedsværdi, er der her et potentiale for en mere rentabel udnyttelse af fosforressourcen i spildevandsslammet.

#### 9.4 Bedre udnyttelse af fosforreserven i landbrugsjorden

Der er gennem mange år akkumuleret fosfor i den danske landbrugsjord, og denne ophobning fortsætter i de områder af landet, hvor der er overskud i fosforbalancen (Figur 7). Der er således en betydelig fosforreserve i jorden, som kan udnyttes i forbindelse med planteavl. Dette sker allerede i de dele af landet, hvor der er få husdyrbrug. Fra et miljømæssigt synspunkt kan det være relevant at nedbringe jordens fosforindhold i områder, hvor fosforindholdet er stort, og hvor risikoen for tab til vandmiljøet er høj. Dette kunne gøres ved at undlade at gødske i sådanne områder, hvorved der tæres på jordens fosforreserver. Det vil på langt sigt mindske risikoen for tab af fosfor fra disse jorde.

# 10 Sammenligning med Nederlandene

Nederlandene har i forhold til Danmark en endnu mere intensiv husdyrproduktion, og står derfor med betydeligt større udfordringer i forhold til håndtering og fordeling af gylle.

Der har gennem en årrække været en meget stram regulering af udbringningen af fosfor i Nederlandene, bl.a. fordi den samlede gødningsproduktion er det dobbelte af den danske, mens landbrugsarealet er mindre. Nederlandene har derfor et større fordelingsproblem, da der er stor afstand mellem husdyrproduktionen og de arealer, der kan modtage husdyrgødningen. Det har ført til meget høje omkostninger (75-125 kr. pr. ton gødning) til at behandle og transportere fosfor. Det har også betydet, at der fx afbrændes store mængder gødning fra fjerkræproduktionen. I Nederlandene afholdes omkostninger til bortskaffelse af husdyrgødning af den enkelte landmand. De høje omkostninger, som landmændene i Nederlandene betaler for "at komme af" med husdyrgødningen, giver helt andre muligheder for at få økonomi i de miljøteknologiske løsninger, som kan nedbringe transportomkostningerne.

Man har også i Nederlandene fokus på at reducere udskillelsen af fosfor fra husdyrene for derigennem at reducere den mængde, som skal udbringes på markerne. De relative niveauer af fosforudskillelse pr. dyr i Danmark og Nederlandene er sammenlignelige. Derimod kan man ikke direkte sammenligne de beregnede normtal, der beskriver udskillelsen af næringsstoffer i gødningen for specifikke husdyrkategorier. Det skyldes, at der i Nederlandene anvendes en anden opgørelsesmetode og datagrundlag ved beregning af normtallet end i Danmark.



Foto: Michael Strangholt



# 11 Barrierer og perspektiver for optimal udnyttelse af de danske fosforressourcer

## 11.1 Barrierer

Der er en række barrierer for, at der kan opnås en balance i det årlige fosforregnskab i Danmark, og at der dermed ikke, eller kun i meget lille omfang, vil være behov for at importere fosfor i til brug for gødsningen.

- Skævheden i fordelingen af fosfor inden for landets grænser er en afgørende barriere for et bedre fosforregnskab set på landsplan. Den skæve fosfortildeling på landbrugsjorderne afspejles også i jordens fosforindhold, hvor den forstærkes år efter år, således at der fortsat sker en akkumulering af fosfor i jorden i områder med mange husdyrbrug, mens der i områder med planteavl uden husdyrproduktion tæres på jordens fosforreserve.
- Forholdet mellem kvælstof og fosfor i de produkter, der skal udbringes på landbrugsjorden, skal gerne matche afgrødernes behov, så kravet til udbringningsareal for husdyrgødning og indkøb af handelsgødning mindses mest muligt. For biogasanlæg betyder det, at de har svært ved at håndtere meget fosforholdige affaldsprodukter, da det medfører et højere fosforindhold i biogasyggle, der giver behov for et større udbringningsareal, når biogasygllen skal udbringes direkte.
- Der er i dag ikke nogen villighed på næringsstofmarkedet til at betale den reelle pris for de næringsstoffer, der findes i separeret gylle fra biogasanlæggene.
- Prisen på handelsgødningsfosfor er stadig så lav, at kun meget simple separationsteknikker er rentable og kun med en afsætning inden for en begrænset afstand fra fx et biogasanlæg.

- Visse specialafgrøder vil stadig bedst kunne dyrkes med tilførsel af handelsgødningsfosfor.
- Tekniske løsninger til at fraseparere fosfor i aske fx fra forbrænding af slam eller affald skal forbedres.
- Indhold af bl.a. tungmetaller og andre uønskede stoffer, herunder også mikroplast, er eller kan blive en barriere for anvendelse af visse typer affald og slam i landbruget.
- En del af de strategier og teknologiske løsninger til recirkulering af fosfor, der nævnes i denne rapport, kan have en række negative sideeffekter i forhold til fx klima og miljø. Det gælder bl.a. fremstillingen af biogas og kompostering af affald, der kan medføre udledning af ammoniak og lattergas og den øgede transport og dermed CO<sub>2</sub> udledning, der følger af en bedre omfordeling af fosforressourcen.

## 11.2 Perspektiver

Det må forventes, at incitamenter til en bedre fordeling mellem Vest- og Østdanmark af den samlede fosformængde i Danmark kan være nødvendig, hvis man ønsker en bedre udnyttelse af den nationale fosforressource.



Foto: Linda S. Sørensen

Der vil selv med en uændret husdyrproduktion kunne ske en reduktion af den samlede fosformængde i husdyrgødningen som følge af forbedret produktivitet, bedre optagelse af fosfor i dyrene og bedre viden om de enkelte dyrearters behov. Det forudsætter, at der fortsat arbejdes med disse aspekter forskningsmæssigt og i praksis. Det er dog næppe en udvikling, der i væsentlig grad vil kunne bidrage til at reducere den nationale skævhed i fosforressourcer, men det vil kunne påvirke forholdet mellem kvælstof og fosfor i gødningen fra nogle dyregrupper i fordelagtig retning. Flytning af fosfor fra husdyrgødning fra vest til øst vil derfor også i fremtiden være den væsent-

ligste udfordring for en bedre udnyttelse af de samlede fosforressourcer, der findes inden for landets grænser. Fodringsmæssige tiltag vil kunne bidrage til en mere lokal og regional fosforbalance i de husdyrrige områder.

I forhold til nødvendigheden af at bruge handels-gødningsfosfor som startgødsning for specialafgrøder som fx majs, udvikles og afprøves der i øjeblikket lovende teknikker til at øge fosfortilgængeligheden. Det er derfor forventningen, at gylle kan erstatte handelsgødning til majs indenfor en kortere årrække.

Prisen for mineralsk fosfor forventes at stige, efterhånden som de nemt udvindelige forekomster udtømmes. Såfremt denne forventning holder stik, vil flere og pt. mere omkostningstunge teknikker, som kan understøtte en bedre fordeling og genindvinding af fosfor, blive rentable. Det kræver dog, at der er den fornødne villighed hos aftagerne til at betale for værdien af fosfor i alternative gødningskilder. Der vil givet over de næste 10-20 år ske en udvikling af eksisterende og nye teknologier til at opkoncentrere fosfor i rene mulige produkter fra såvel husdyrgødning som andre affaldsprodukter, der kan afsættes som gødning til landbruget med fuld værdi af de næringsstoffer, som produkterne indeholder. En meget fordelagtig udviklingsretning vil være teknikker, som i højere grad kan nedbringe vandindholdet i den fosforholdige fraktion på bl.a. biogasanlæggene. Nedsatte omkostninger pr. kg transporteret fosfor sammen med en stigende pris på mineralsk fosfor vil øge rentabiliteten i en fraseparering af fosfor.

Genindvinding af ressourcerne i bioaffald – herunder også fosfor – vil fortsætte de kommende år, men det vil næppe være værdien af fosfor i bioaffaldet, der vil drive denne udvikling. Det ikke udnyttede potentiale i bioaffald er betydeligt og vil formentlig kun lokalt kunne bidrage til at udfase handelsgødningsfosfor. Udgiften til recirkulering af fosfor kan reduceres ved at etablere lokale biogasanlæg til kombineret biogas- og gødningsproduktion fra lokale fosforholdige affaldsprodukter. På den måde undgår man at transportere or-



ganisk affald fra regioner med et behov for fosfor til områder med et fosforoverskud, for derefter at transportere det bioforgassede materiale tilbage til områder med fosforunderskud (lav husdyrintensitet).

Der findes i dag en del fosforholdige restprodukter fx aske fra afbrænding, som ikke lever op til kvalitetskravene for udbringning, fx aske på dyrkningsjord (i forhold til fx indhold af tungmetaller). Sådanne restprodukter bør lægges på lager, indtil der findes teknologiske/økonomiske muligheder for at udnytte dem. I dag anvendes sådanne produkter ofte i bygningskonstruktioner eller eksporteres til store udenlandske affaldsdepoter, hvorved fosforet tabes.

Ovenfor nævnte tiltag vil være med til at sikre en bedre udnyttelse af den del af den danske fosforressource, som årligt kan omfordeles. Samtidig kan det bidrage til at reducere det årlige fosforoverskud, så Danmark som helhed kommer tæt på balance i det årlige fosforregnskab. Men tiltagene vil ikke umiddelbart reducere den mængde fosfor, der findes i landbrugsjorden i

forvejen, og som har afgørende betydning for, hvor meget fosfor der udledes til vandmiljøet. Udledningerne til vandmiljøet vil derfor kun påvirkes meget perifert og næppe målbart af disse tiltag. En reduktion i de umiddelbare udledninger til vandmiljøet kræver derfor andre virkemidler, som skal målrettes en opsamling af den fosfor, som tabes fra dyrkningsarealerne via dræn eller overfladeafstrømning. Denne indsats mod tab af fosfor til vandmiljøet bør rettes mod de arealer, hvorfra risikoen for fosfortab er størst. Dertil kommer en indsats, der sigter mod en situation, hvor størrelsen af den indenlandske fosforgødningsressource og mulighederne for en bedre fordeling af denne, gør det muligt at dosere mindre fosfor til afgrøderne, end de bortfører, der hvor jordens fosforstatus er unødvendig høj.

Alt i alt findes en række barrierer, men samtidig også et stort miljømæssigt potentiale og på sigt muligvis også et økonomisk potentiale i forhold til at optimere udnyttelsen af de danske fosforressourcer og begrænse fosforoverskuddet og risikoen for fosfortab til vandmiljøet. Der kan dog være en række sideeffekter for miljø og klima ved mange af de beskrevne strategier og teknologiske løsninger, som i mange tilfælde kan håndteres. Det er derfor vigtigt, at der foretages en samlet konsekvensanalyse, hvor disse elementer inddrages og kvantificeres, inden man beslutter sig for en bestemt strategi.



Foto: Britt Henriksen





Fosfor er en begrænset ressource, som levende organismer er afhængig af, men som også kan være et miljøproblem, hvis det ender i vandmiljøet. I Danmark importerer vi fosfor til brug i landbrug og industri, men der findes muligheder for at genanvende fosfor i højere grad end i dag. Det kræver imidlertid et grundigt overblik over muligheder og barrierer i det samlede fosforkredsløb. En række forskere ved Institut for Agroøkologi, Institut for Bioscience, Institut for Husdyrvidenskab, Institut for Ingeniørvidenskab samt Institut for Miljøvidenskab ved Aarhus Universitet har for Miljø- og Fødevareministeriet samlet den vigtigste viden på området i to videnskabelige rapporter fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet. Denne pjece er en syntese af rapportens vigtigste pointer. Syntesen samler den tilgængelige viden om fosfor. Og ikke mindst afdækker pjecen muligheder og barrierer i forbindelse med en øget genanvendelse af den fosforressourcen i Danmark.