
Arbejdsnotat til "Fremtidens landbrug 2.0":

Forebyggelse af fosfortab i fremtidens landbrug – elementer til en præventiv miljøpolitik

Mikael Skou Andersen og Marianne Thomsen

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab

15.12.2020



Forebyggelse af fosfortab i fremtidens landbrug

– elementer til en præventiv miljøpolitik¹

Af Mikael Skou Andersen og Marianne Thomsen, Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet²

1. Indledning

Det akkumulerede fosfor-overskud på Danmarks landbrugsjord igennem det 20. århundrede udgør godt 4 millioner tons fosfor, svarende til ca. 1,4 tons fosfor per hektar (Andersen et al., 2016, p. 32). Siden 1980 har det årlige overskud og dermed tilførslen til jorden været faldende, men der akkumuleres fortsat fosfor i jordpuljen i størrelsesordenen 15.000 tons P årligt, bl.a. som følge af lav plantetilgængelighed i det organisk bundne fosfor.

I de senere år har fosfortabet i dansk landbrug desuden igen været stigende – fra 4,4 kgP/ha i 2015 hvor landbrugspakken blev vedtaget til 5,9 kgP/ha i 2017 og helt op til 9,3 kgP/ha i 2018, der dog var et dårligt høstår. I 2009 under finanskrisen var fosfortabet blot 0,3 kgP/ha (Blicher-Mathiesen et al., 2019 p. 151).

Anvendelsen og tabet af fosfor repræsenterer både et resurse-problem og et forurenings-problem. Samtidig er det også et økonomisk problem som adresseret nedenfor.

Det er et resurse-problem, fordi de globale fosfor-reserver er begrænsede og langsomt udtømmes. Det er et forureningsproblem fordi fosfor-tabet til jorden gradvist føres videre og medfører eutrofiering i de ferske vande, særligt søerne, ligesom de bidrager til eutrofieringen i fjorde, kystvande og det åbne hav i Østersøen. Kun 20% af søerne og 2% af kystvandene er i god miljøtilstand (OECD, 2019, p. 84). Danmark lever ikke op til kravene i EU's Vandrammedirektiv, og udledningerne bidrager til at 97% af Østersøen er ramt af eutrofiering (HELCOM, 2018).

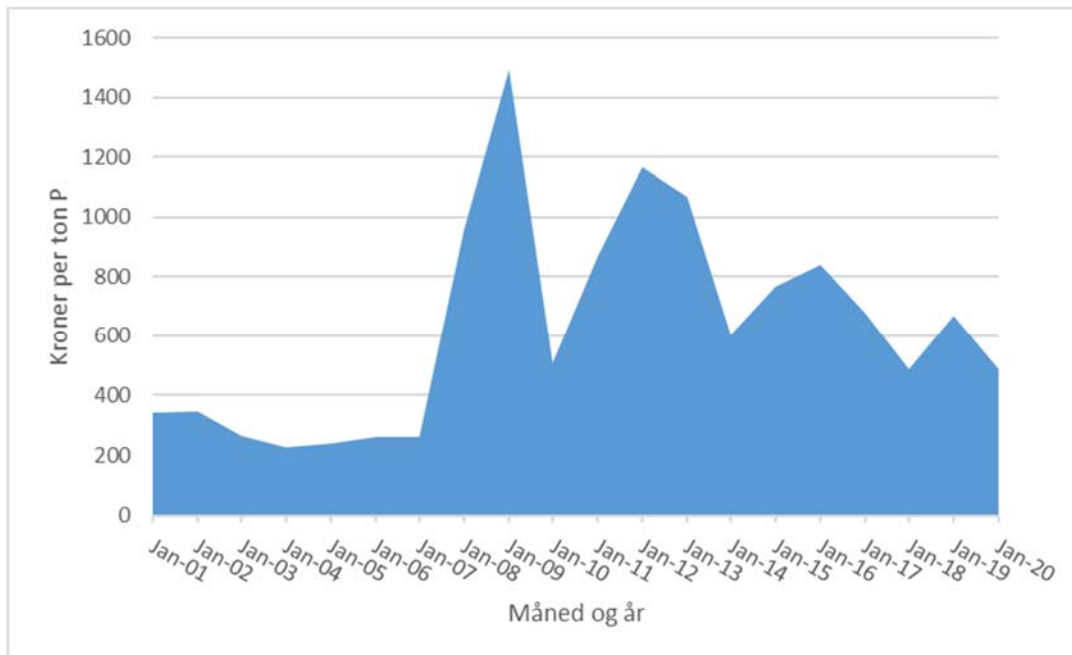
I takt med at ressourcen udtømmes anvendes råfosfat med et højere indhold af cadmium. Cadmium er et tungmetal der ophobes i landbrugsjorden, hvorfra det optages af planterne, således at fødevarer indholdet af cadmium stiger (Marini et al., 2020). Indtag af cadmium øger forekomsten af knogleskørhed og forskellige kræftformer, ligesom der er andre effekter som er belastende for menneskers sundhed (Pizzol et al., 2014).

Fosfor-tabet har endvidere en økonomisk dimension – idet import og indkøb af fosfor i mineralisk gødning og animalsk foder i takt med den stigende knaphed vil medføre stigende

¹ Dette arbejdsnotat er udarbejdet som bidrag til projektet "Fremtidens landbrug 2.0: Recirkulation af fosfor". Projektet koordineres af Rådet for Grøn Omstilling og er støttet af Velux Fonden.

² Marianne Thomsen er professor i industriel økologi og cirkulær økonomi og Mikael Skou Andersen er professor i policy analyse.

omkostninger for landbruget. Prisen på råfosfat på verdensmarkedet præges af store udsving og er fordoblet i forhold til for 15 år siden³. For det seneste opgjorte år anslås udgiften til fosfor handelsgødning for dansk landbrug at udgøre cirka 180 millioner kroner, mens råvareprisen for foder-fosfat er under 10 millioner kroner.



Figur 1: Prisen på råfosfat (Casablanca) i kroner per ton (Kilde: indexmundi.com).

Fosfor er et lumsk forureningsproblem, idet fosforpuljen i jorden ikke afgiver fosfor til overfladevandene efter nogen simpel formel. Samspelet mellem fosfortabet på marken, fosforpuljen i jorden og emissionen afhænger af jordtypen, nedbørsmængderne, terrænets hældning m.m. Det organisk bundne fosfor (fx i husdyrgødning) frigives kun langsomt, men partikulært bundet fosfor bliver revet med af vejr og vind i 'stød', hvorved den samlede fosfortilførsel til vandområderne dels bliver vanskelig at beregne, dels bliver meget betinget af de helt lokale forhold. Data- og viden grundlaget om spredningsvejene er stadig spinkelt (Andersen og Heckrath, 2020).

Beregninger med data for gødningsanvendelsen viser, at der er et fosfor overskud fra landbrugsdriften på omkring 80% af arealerne. Overskuddet og dermed tabet til rodzonen er mest markant i Jylland samt på Fyn og Bornholm, mens det på Sjælland og Lolland-Falster overvejende er negativt (se afsnit 3).

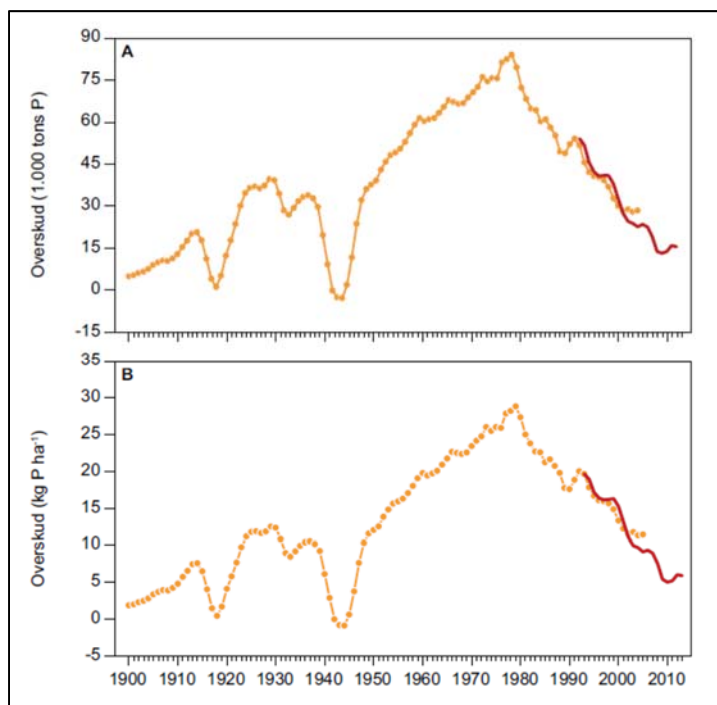
Af den samlede danske fosfor emission til vandområderne på 2.500 ton P anslås dyrkningsbidraget fra landbruget at udgøre ca. 660 ton P (2015-2017 data). Heraf vurderes godt halvdelen at hidrøre fra dyrkede lavbundsjorder (Andersen og Heckrath, 2020). Dertil kommer

³ <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=rock-phosphate&months=240>

imidlertid erosion fra vandløbs-brinkerne på 644 ton P, hvortil dyrknings-bidraget ikke er kvantificeret – men da landbruget dækker 60% af landet er det utvivlsomt betydende.

Dyrkningsbidraget fra landbruget til fosfor-emissionen til vandområderne svarer til ca. 1% af det årligt tilførte fosfor på marken, hvilket afspejler at fosfor dels er vigtig for plantevæksten, dels bindes hårdt til jorden. Dyrkningsbidraget til fosfor-emissionen kan imidlertid også sættes i forhold til fosfor-overskuddet dvs. tabet til landbrugsjordens rodzone. Af dette fosfor-overskud udgør emissionen til vandmiljøet i gennemsnit ca. 4,4%. Fosfor-overskuddet (tabet) beregnes som forskellen mellem den tilførte mængde fosfor til dyrkningsarealet og den mængde som fraføres med de høstede afgrøder. I hvilket omfang tabet bliver til emission til vandområderne afhænger af komplicerede jordbundstekniske forhold, men jo mere jorden mættes med fosfor jo større er risikoen for udvaskning og at denne forøges.

Formålet med dette bidrag til projekt 'Fremtidens Landbrug' er at identificere og vurdere egnede tiltag og relevante styringsmidler til at forebygge tabet af fosfor i landbruget. Det sker ud fra en tankegang om, at det er bedre og billigere at forebygge end efterfølgende at skulle reparere på skaderne. Mens Thomsen et al. (2015), Miljøstyrelsen (2019) og Poulsen et al. (2019) analyserer teknologiske løsninger til en bedre udnyttelse af nationale fosforressurser, gennemgår Andersen et al. (2020) og Bruhn et al. (2020a; 2020b) tekniske virkemidler som sigter mod at tilbageholde eller neutralisere den fosfor der allerede er tabt. Disse virkemidler er ofte omkostningstunge, hvorfor det er væsentligt at vurdere mulige tiltag som kan forebygge yderligere opbygning af fosforoverskud i jord.



Figur 1. Fosfor-overskud fra år 1900-2013 (Andersen et al., 2016, p. 13).

2. Fosfor-lofterne i gældende regulering

Som følge af landbrugspakken af 2015, der gav landbruget mulighed for at gødske mere intensivt med kvælstof, opstod der afledte problemer med doseringen af fosfor (P). Dette skyldes at det givne forhold mellem N og P i husdyrgødningerne medfører en risiko for, at der med en højere kvælstof-kvoteføres alt for rigelige mængder af P set i forhold til hvad planterne kan udnytte.

Nitratdirektivet foreskriver et balance-princip, hvorefter der ikke må tilføres mere kvælstof end planterne kan udnytte, men direktivet rummer ikke en tilsvarende bestemmelse angående fosfor. Imidlertid angiver Vandrammedirektivets Artikel 4.1(a)iv, at medlemslandene er forpligtet til gradvist at reducere forureningen af vandmiljøet, og idet fosfor er optaget på direktivets bilagsliste (se annex VIII) over de vigtigste forurenende stoffer, omfatter denne reduktionsforpligtelse fosfor.

I forbindelse med EU-Kommissionens gennemgang af landbrugspakken måtte Danmark derfor skærpe sin regulering af fosfor, hvilket skete med indførelse af egentlige fosfor-lofter der angiver overgrænser for hvor store mængder fosfor der må udbringes på landbrugsarealerne (se tabel 1). Desuden skal landbrugsbedrifterne i forbindelse med det lovpligtige gødningsregnskab aflægge særskilt regnskab for fosfor-anvendelsen.

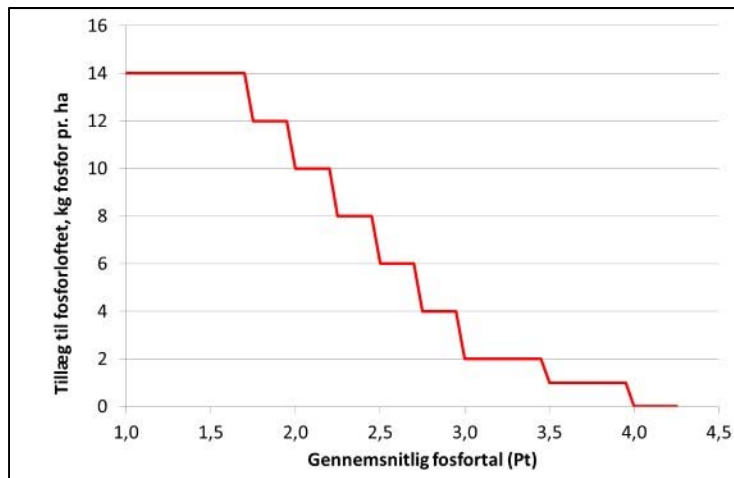
Høstår	2018	2019	2020	2021	2019 -2021
	Gene relt	Gene relt	Gene relt	Gene relt	Skær pet
fosforloft					
Fjerkræ og kødædende pelsdyr	43	43	35	35	30
Slagtesvin	39	39	39	35	30
Søer og smågrise	35	35	35	35	30
Kvægbrug og andre dyrearter.	30	30	30	30	30
Kvægbrug 2,3DE	35	35	35	35	35
Spildevandsslam og a. org. gødn.	30	30	30	30	30
Halmaske og lignende*	30?	30	30	30	30
Handelsgødning	30	30	30	30	30

Tabel 1: Fosfor-loft (kgP/ha) i de forskellige gødningstyper (Kilde: L114).

Lofterne gælder fosfor tilført fra såvel husdyrgødning og handelsgødning som fra anden organisk gødning (bioaffald, slam fra renseanlæg m.v.) på landbrugets dyrknings-arealer.

Fosfor-lofterne indføres gradvist frem mod 2021 (se tabel 1). Fuldt indfaset vil fosfor-lofterne være på 30-35 kgP/ha, men differentieret efter husdyrholdet. I de særligt udpegede og fosforfølsomme oplande til de større søer gælder et skærpet fosforloft for fjerkræ-, mink- og svinegødning. Et skærpet loft gælder dog ikke for de kvægbrug som nyder godt af en speciel dansk undtagelse fra Nitratdirektivet, idet disse brug kan udbringe op til 35 kgP/ha, også i de særligt følsomme sø-oplande.

Fosfortallet udtrykker ophobningen af fosfor i jorden. Ved laveste fosfortal kan der udbringes 14 kgP/ha ekstra set i forhold til fosforlofterne (se figur 2), men der er mulighed for at anvende ekstra fosfor på jorder med et fosfortal på helt op til 4. Det vil dog højst være muligt at udbringe op til 45 kgP/ha når fosfor-lofterne er fuldt indfaset i 2021.



Figur 2: Fosforloft tillæg ifølge L114 når fosfor-tallet er middel eller lavt.

Fosfor-lofterne gælder som udgangspunkt for den samlede fosfor-mængde. Under Østersø (Helsingfors) Konventionen har parterne, inklusiv Danmark, imidlertid i forbindelse med vedtagelsen af Baltic Sea Action Plan i 2007 og tilhørende ændringer i selve Konventionen forpligtet sig til et fosforloft for husdyrgødningen på 25 kgP/ha. Dette fosforloft fremgår af Annex 3 (regulation II, item 7) til Konventionen, og annexet er ifølge Art. 28 en integreret og derfor en for parterne retligt bindende del af den samlede Konvention (Bohman 2017, p. 122)⁴. I denne forbindelse er det værd at bemærke, at foruden de ni Østersø-lande er også EU-Kommissionen part til Konventionen.

Konventionens loft på 25 kgP/ha tilført husdyrgødning korresponderer med en forventet fraførsel i sædskifter på lerjorde i størrelsesordenen 24-27 kgP/ha. På sandjorde er det imidlertid kun kvægbrug der nærmer sig dette niveau, idet svine- fjerkræ- pelsdyr- og blandede bedrifter med typiske sædskifter normalt kun frafører 19-22 kgP/ha (Knudsen et al. 2015, p. 65).

De i Danmark indførte fosfor-lofter er særdeles lempelige og forpligtelsen under Konventionen kan ikke anses for opfyldt.

De danske fosfor-lofter er implementeret i loven om gødningsanvendelse som et krav om et bestemt harmoni-areal. Arealer uden et gødningsbehov kan ikke medregnes, ligeledes ikke

⁴ "The Contracting Parties shall integrate the following basic principles into national legislation or guidelines and adapt them to the prevailing conditions within the country to reduce the adverse environmental effects of agriculture. Specified requirement levels shall be considered to be a minimum basis for national legislation." See part 2 of <https://helcom.fi/about-us/convention/annexes-to-the-convention-2/annex-iii/>.

arealer hvor husdyrgødning under normale forhold ikke må eller kan udbringes. Fosfor-lofterne beregnes på bedriftsniveau og gødningen kan derfor på markniveau tildeles forskelligt, hvormed nogle mark-arealer kan opnå højere fosfor-tildeling end lofterne angiver.

Det fremgår af forarbejderne til loven (L114) at fosforlofterne, når de er fuldt indfaset, ikke skulle ændre afgørende på den indirekte fosforbegrænsning der fulgte af de tidligere harmoniregler for kvælstof. Disse regler indebar som udgangspunkt et loft på kvælstoftildelingen svarende til 170 kgN/ha, dog 140 kgN/ha for svinebedrifter henholdsvis 230 kgN/ha for kvægbrug med dispensation. Med de gældende normtal for fosfor-indholdet i husdyrgødningen indebar dette de-facto fosforlofter for de forskellige typer af husdyrgødning. Knudsen et al. (2015) angiver disse de-facto lofter som vist i tabel 2; eksempelvis 34-35 kgP/ha for svinebedrifter.

Dyretype	Enhed	Nuværende normer pr. enhed		Dyr pr. DE	Maks. harmoni-gældende, DE/ha	Kg P/DE, uden P reduktion	Tilførsel ved fuld harmoni, kg P/ha	Ton husdyrgødning pr. kg P
		Kg N ab lager	kg P ab lager					
Slagtesvin	10	25,7	6,5	36,8	1,4	23,99	34	0,80
Søer + smågrise	1	32,6	9,1	2,73	1,4	24,87	35	1,07
Kvæg, stor race*1)	1	176,5	26,4	0,56	1,7	14,77	25	1,59
Kvæg, stor race*1)	1	176,5	26,4	0,56	2,3	14,77	34	1,59
Kvæg, økologisk	1	158,9	24,6	0,58	1,4	14,31	20	1,54
Mink	1	4,0	1,1	29,0	1,4	30,45	43	0,45
Slagtekyllinger	1000	36,3	11,4	3020	1,4	34,43	48	0,12
Økologiske høns	100	52,2	21,7	170	1,4	36,90	52	0,08

¹Malkekøer inkl. årsopdræt

Tabel 2. De facto fosfor tilførsel ved fuld udnyttelse af de tidligere harmonikrav for kvælstof (fra Knudsen et al., 2015).

De nye fosforlofter (se tabel 1) vil fuldt indfaset og set i forhold til de tidligere de-facto lofter indebære reduktioner for fjerkræ (-13 kgP/ha) og mink (-8 kgP/ha), mens blandede husdyrbrug (får/geder/kvæg) får en lille lempelse (+3 kgP/ha). Den miljømæssige effekt af fosfor-lofterne består endvidere i udpegningen af de skærpede områder med følsomme søer, hvor kravene er 5 kgP/ha strammere. Disse reduktioner forudsætter dog at lovens muligheder for at dosere kraftigere ikke udnyttes af bedrifterne (se ovenfor).

Lovbemærkningerne anfører, at der frem mod 2025 vil ske en gradvis reduktion i fosfortilførslen med husdyrgødning til landbrugsarealet, der angives at skulle falde fra et gennemsnit på 34,7 kgP/ha til 33,2 kgP/ha i 2021 og endeligt til 30-31 kgP/ha i 2025. Denne progression er formentlig anført for at honorere Vandrammedirektivets krav. Der redegøres imidlertid ikke i lovbe-mærkningerne nærmere for hvorfor og hvordan der skulle ske et yderligere fald efter år

2021, hvor indfasningen af fosfor-lofterne er fulden. Beregningen for 2021 medtager desuden ikke muligheden for at dosere ekstra på arealer med lavt fosfortal uden for de følsomme områder. Fra 2022 hvor de reviderede vandplaner ventes at foreligge, varsler lovforslaget dog en anledning til revision af fosforlofterne.

Aktuelt er det de større søer målsat i vandplanerne, som udgør grundlaget for udpegningen af de fosfor-følsomme områder, hvor der gælder skærpede fosfor-lofter (ca. 22-24% af arealerne). Der findes knap 800 søer i Danmark, som er større end 5 hektar, men der findes over 150.000 småsøer og vandhuller, som er over 100 m² (Andersen et al., 2016 p. 54) hvoraf kun en brøkdel (ca. 4.000) er kortlagt mht vandkvalitet. Mindre søer i habitat-områderne, der ikke er med i vandplanerne, samt hensynet til fosfor-påvirkede fjorde indebærer, at udpegningen af de følsomme områder må anses for konservativ og at den med tiden formentlig må udvides.

I forlængelse af fosfor-lofterne er den tidligere miljøafgift på foder-fosfat i 2019 blevet ophævet. Afgiften udgjorde 4 kr/kgP i foderblandinger, og blev indført som en tilskyndelse til at optimere på tilsætningen af fosfor i foderet, idet der typisk udskilles og tabes 60-80% af dette fosfor med afføringen fra dyrene (Poulsen et al., 2019, p. 70). Der skete som følge af afgiften i årene fra 2005 et fald på ca. 25% i forbruget af foderfosfat (Poulsen et al., 2019).

I forbindelse med OECD's environmental performance review af Danmark, der problematiserede afskaffelsen af denne og andre grønne afgifter (OECD, 2019, p. 134), blev det anført, at den nye regulering med fosforlofter skulle sikre en tilsvarende tilskyndelse til at reducere anvendelsen af foder-fosfat.

Det gælder imidlertid kun i det omfang, at bedrifterne er placeret på jorde med højt fosfortal og samtidigt udnytter harmoni-arealerne for husdyrhold mere end ca. 80%, idet det så bliver vanskeligt at indfri fordelene ved den højere tilladte kvælstoftildeling med landbrugspakken samtidig med at fosfor-loftet overholdes. Det skal her nævnes at især svinebedrifterne i forbindelse med landbrugspakken fik en større kvælstof-kvota qua en forhøjelse af den tilladte kvælstoftilførsel fra 140 kgN/ha til 170 kgN/ha.

I modsætning hertil giver en afgift en vedvarende tilskyndelse til at optimere på fodringen for alle bedrifter, og dermed et væsentligt stærkere samlet incitament til at reducere anvendelsen af foderfosfat og dermed forebygge akkumuleringen af fosfor i landbrugsjorden.

3. Det regionale fosfortab

I et DCE-notat (Andersen og Rolighed, 2016) er der foretaget en opdeling af landbrugets fosfortab til det dyrkede areal på hovedvandoplande. Som det fremgår af tabel 3 er fosfortabet (til rodzonen) størst i de vandoplande der udleder til Nordsøen, nemlig i gennemsnit 7 kgP/ha. På øerne og i den del af Jylland der udleder til farvandet forbundet med Østersøen er fosfortabet

til jorden lavere, nemlig i gennemsnit 4,3 kgP/ha for de vandoplande der er noteret for et tab.⁵ Herudover er der 8 vandoplande på Sjælland og Lolland-Falster hvor fosfortabet er negativt, dvs der fjernes mere med afgrøderne end der tilføres. I alt tabes ifølge opgørelsen ca. 9.436 ton fosfor på årsplan til landbrugsjorden i Danmark⁶. Opgørelsen der er publiceret i 2016 er imidlertid foretaget på grundlag af data for 2013.

	Fosfortab 2013 Ton P	Hektar	Fosfortab 2013 kgP/ha	Fosfortab 2017 kgP/ha anslået
Vadehavet	1894	274.466	6,9	9,4
Nissum Fjord	651	93.039	7,0	9,6
Ringkøbing Fjord	1638	197.408	8,3	11,4
Kruså-Vidå	326	75.723	4,3	5,9
N-Kattegat	191	31.862	6,0	8,2
Lillebælt/Jylland	249	138.586	1,8	2,5
Limfjorden	2870	478.413	6,0	8,2
Mariager Fjord	122	31.976	3,8	5,2
Randers Fjord	400	181.974	2,2	3,0
Djursland	131	50.232	2,6	3,6
Aarhus Bugt	-15	37.705	-0,4	-0,3
Horsens Fjord	30	49.246	0,6	0,8
Skagerrak	574	95.586	6,0	8,2
Lillebælt/Fyn	120	62.915	1,9	2,6
Odense Fjord	100	66.940	1,5	2,1
Storebælt	40	36.790	1,1	1,5
Det Sydfynske Øhav	-32	46.006	-0,7	-0,4
Kalundborg	-174	52.793	-3,3	-2,1
Isefjord og Roskilde	-221	100.460	-2,2	-1,4
Øresund	-73	16.221	-4,5	-2,8
Køge Bugt	-163	46.606	-3,5	-2,2
Smålandsfarvandet	-658	219.228	-3,0	-1,9
Østersøen	-337	71.646	-4,7	-3,0
Bornholm	99	33.138	3,0	4,1
Jylland, VEST	4.700	672.498	7,0	9,6
Jylland, ØSTERSØ	4.375	1.026.013	4,3	5,8
Fyn	260	166.645	1,6	2,1
Sjælland og øerne	-	-	-	-
Bornholm	99	33.138	3,0	4,1
Faktisk tab, brutto	9.436	1.898.294	5,0	6,8

Tabel 3: Fosfortab til landbrugsjorden i hovedvandoplandene (Kilde: Andersen og Rolighed, 2016; samt egne beregninger for 2017).

Siden 2013 er der sket en betydelig stigning i fosfortabet til rodzonen. DCE's landovervågningsrapport viser, at det nationale fosfortab fra 2013 til 2018 er øget til 9,3 kgP/ha. 2018 var dog et dårligt høstår pga tørken, derfor tages der i det følgende udgangspunkt

⁵ Ca. ¾ af Danmark afvander til Østersøen.

⁶ Blicher-Mathiesen et al. (2019, p. 151) angiver 12.000 tons for 2013.

i P-balancen for 2017 der ligeledes udviser en stigning i forhold til 2013, svarende til ca. 3.500 ton P⁷. Det ændrer dog ikke afgørende ved det overordnede billede, nemlig at fosfortabet per hektar er størst i Jylland og med et vist dræn på landbrugsjordens fosforpulje på Sjælland.

Fosfortabet per hektar er således mindre i de vand-oplevelde som udleder til farvandene omfattet af Østersø-konventionen. Danmark har ifølge den seneste Baltic Sea Action Plan fra 2013 et reduktionsmål på 38 ton P årligt for udledningerne af fosfor til Østersøen, og dette mål er endnu ikke opfyldt. Umiddelbart virker det ikke som nogen voldsom reduktionsmålsætning, men når det tages i betragtning at den årlige udledning i middel vil svare til 4,5% af den mængde fosfor der tabes til rodzonen⁸, så må det alt andet lige ansås at kræve en reduktion på ca. 850 tons P i tabet til rodzonen at opnå en reduktion i udledningen på 38 tP/år. Det kan sammenholdes med et samlet rodzone-fosfortab fra landbruget i de vandområder i Danmark der afledte til Østersøen på ca. 4.734 ton P i 2013 (jf tabel 3).

Andre Østersø-lande har ifølge Eurostat reduceret deres fosfortab til rodzonen til 1,5 kgP per hektar eller mindre (se tabel 4). Finland er dog opgjort til 4,7 kgP/ha, mens Danmark ifølge Eurostat taber 7 kgP/ha – noget mere end ifølge DCE's nationale opgørelse. Ifølge Eurostat's data er det blandt EU-landene kun Malta og Cypern, der har et højere fosfortab per ha end Danmark.

	1997-2003 Kg N/ha	2015-17 Kg N/ha	Change Kg N/ha	Change %	1997-2003 Kg P/ha	2015-17 Kg P/ha	Change Kg P/ha	Change %
DK	127	⁸ 80	-47	-37	13.1	⁸ 7.0	-6.1	-47
DE*	103	70	-33	-32	3.1	-3.3	-6.5	-206
EE	⁸ 36	⁸ 22	-14	-39	-5.0	⁸ -7.0	-2.0	-40
FI	61	49	-12	-20	9.3	4.7	-4.6	-50
LV	14	25	+11	+80	0.4	1.3	+0.9	+211
LT	34	⁸ 25	-9	-27	5.5	⁸ 1.0	-4.5	-82
PL	43	47	+4	+8	3.7	1.5	-2.2	-60
RU**	144	⁸ 130	-14	-9	10.5	16.5	+6.0	+57
SE	52	35	-17	-33	2.3	0.7	-1.6	-71

1997-2003 is BSAP baseline. *DE: national; **RU: Baltic Sea catchment; ⁸EE: base year 2004; DK, EE, LT: 2015 data only; RU: no 2017 data. Sources: Eurostat and own calculations based on Russia's Federal State Statistics Service by Knoema.com

Tabel 4: Tab af næringsstoffer til rodzonen per hektar landbrugsareal i Østersø-landene (Kilde: Thorsøe et al., 2021)⁹.

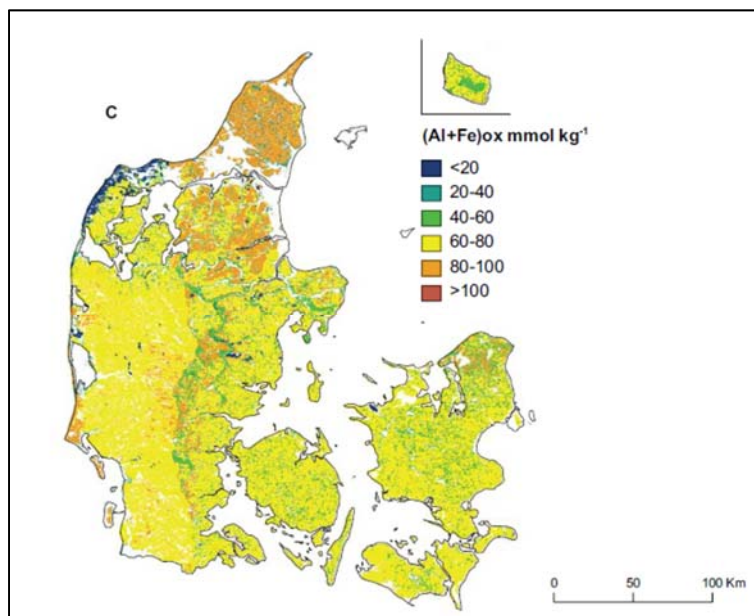
Der er dog også mulighed for at opfylde målsætningen i Østersø-konventionen ved mere målrettede tiltag i landbruget, eller ved at reducere andre kilder til fosfor-udledning, for eksempel fra industri og rensesanlæg eller fra spredt bebyggelse og sommerhusområder.

⁷ Blicher-Mathiesen et al. (2019, p. 151) angiver et samlet tab til rodzonen på 15.400 ton P for 2017.

⁸ Dyrkningsbidraget til udledningen på 660 tP udgør 4,5% af tabet på ca. 15.000 tP til marken.

⁹ Landbrugsarealet i Nordvest Rusland er halveret siden 1990'erne, men der er høj koncentration af husdyr.

På grund af Østersø-konventionen forekommer det ikke som en hensigtsmæssig løsning at overskydende fosfor fra de fire vand-oplande i det vestlige Jylland (som udleder til Nordsøen) eksporteres til Østersø vand-oplandene. Desuden er kapaciteten i underjorden for at optage fosfor på Sjælland og øerne generelt ringere end i det vestlige Jylland, se figur 3. Fyn og Østjylland har rigelige mængder husdyrgødning, der ved en bedre fordeling kan substituere kunstgødningen som anvendes dér.¹⁰



Figur 3. Fosforbindings-kapaciteten (lav<60) i de dybere jordlag (50-75 cm) vurderet ud fra indholdet af jern- og aluminiumoxider (Kilde: Andersen et al., 2016, p. 26).

Den reguleringsmæssige udfordring om at forebygge fosfortab fra landbruget består derfor både i at omfordele anvendelsen af fosfor, men også i helt generelt at reducere gødskningen med fosfor på landbrugsarealerne.

Den i fosfor-loven (L114) forudsete reduktion i den tilladte gødskning på bedrifts-niveau fra et gennemsnit på 34,7 kgP/ha til 30-31 kgP/ha i 2025 er ikke ledsaget af en absolut reduktionsmålsætning i tons. Rent teoretisk ville reduktionen i gødskningen kunne andrage op til 4.000 ton P (til marken) i Østersø vandoplandene, hvis hver eneste hektar præsterer fosforlovens reduktion. Imidlertid befinder 70% af svine husdyrenhederne sig på 6% af de danske svinebedrifter, der udgør i alt 2322 (Knudsen et al., 2015, p. 17) og på de øvrige bedrifter forekommer effekten af sænkede fosforlofter derfor at være tvivlsom. Det faktiske potentiale

¹⁰ Der tilføres fra kunstgødning i gennemsnit 9 kgP/ha på Sjælland og Lolland-Falster og 4 kgP/ha i Jylland og på Fyn og (Andersen og Rolighed, 2016).

vil kunne opgøres når de lovpligtige fosfor-regnskaber (for 2020) er afleveret, idet man da vil kunne se fordelingen på bedriftsniveau.

Ud fra det moderate fosfortab i Østersø vandoplandene vil de sænkede fosfor-lofter på bedriftsniveau fra 2022, som stipuleret i loven, næppe være tilstrækkelige til at levere en samlet fosfor-reduktion af den nødvendige størrelse til at landbruget alene kan sikre opfyldelse Danmark's reduktions målsætning under Østersø-konventionen på 38 ton P.

I betragtning af de enorme fosfor puljer der er opbygget i landbrugsjorden ville det uden tvivl være hensigtsmæssigt i en årrække at trække mere på disse, dvs stile efter negative fosfortab (hvor tilførslen er mindre end fraførslen gennem afgrøderne). Fosforloven angiver imidlertid ikke nærmere retningslinier for beregningen af tabet og der skal ikke aflægges regnskab for tabet på bedriftsniveau, kun for tilførslen.

4. Recirkulering af indenlandske fosfor resurser

I Danmark udgør fosfor i spildevandet i størrelsesordenen 5.000 ton P årligt (Miljøstyrelsen, 2013; Jensen et al., 2015; Rubæk et al. 2018). I dag akkumuleres det meste af denne fosfor i slammet fra spildevand, og 65% af dette slam udbringes på landbrugsarealer (Miljøstyrelsen, 2020). Fosforgødningsværdien¹¹ af slam fra anlæg med avanceret biologisk spildevandsrensning kombineret med kemisk støttelefældning ligger på mellem 15-70%, (Jensen et al., 2015; Rubæk et al., 2018), mens struvit udfældet fra vandfase på de danske renseanlæg har fuld plantetilgængelighed (Rubæk et al., 2018).

I lyset af den globale knaphed er den indenlandske fosfor resurse af stigende interesse. Ved at mobilisere denne resurse og dæmpe efterspørgslen fra udviklede lande på virgin fosfor vil prispresset på råfosfat aftage, hvilket bl.a. vil være til fordel for udviklingslandene.

STRUBIAS er en samlebetegnelse der står for STRUvit, Blochar og forbrændings ASke, som er de tre vigtigste resurse strømme til recirkulering af indenlandsk fosfor (Huygens et al., 2019). En række STRUBIAS teknologier er opsummeret i DCE's videns-syntese (Poulsen et al., 2019), mens en detaljeret gennemgang kan findes i en rapport fra EU-Kommissionens Joint Research Center (Huygens et al., 2019).

STRUBIAS teknologiernes tekniske og markedsmæssige potentiale undersøges for tiden endvidere i en række udviklings- pilot- og demonstrationsprojekter.¹²

¹¹ Den del af fosforen som er umiddelbart plantetilgængelig efter udbringning, beregnet som mineralsk fosfor gødningsækvivalent (MFE), mens resten har en ringe førsteårs virkning

¹² Aquagreen teknologien (<https://www.vandcenter.dk/nyheder/2020/09-innovativ-pyrolyse-teknologi>) er eksempelvis i stand til at levere et biochar-baseret gødningsprodukt med høj plantetilgængelighed af fosfor og ved substitution af mineralsk handelsgødning et negativt carbon footprint på 4-10 kg CO₂eq per ton behandlet aktiv slam fra de danske renseanlæg. Teknologien udnytter energiindholdet i slammet til at drive en pyrolyse proces

En veletableret teknologi er struvit udfældning fra spildevand, der gør det muligt at producere fosfor på ren mineralsk form ($MgNH_4PO_4$) med høj gødningsværdi, svarende til eller bedre end konventionel handelsgødning¹³ (Jensen et al., 2015; Rubæk et al., 2018) og med et minimalt indhold af cadmium og andre tungmetaller (Pizzol et al., 2014). Teknologien er demonstreret i en lang række lande over de seneste 10 år, herunder i Danmark.¹⁴

Mens de teknologiske udfordringer ved processerne efterhånden er løst, har det vist sig vanskeligere at finde stabil afsætning for struvit til en pris der er konkurrencedygtig. Omkostningen ved recirkuleret fosfor gennem struvit ligger et pænt stykke over verdensmarkedsprisen på fosfor. Der er relativt store investeringer forbundet med teknologien (4 mio. kr. for et renseanlæg på 100.000 PE), og trods besparelser på slambehandling, vedligehold og kemi har det været vanskeligt for de danske operatører at få forrentet denne teknologi. Struvitten skal integreres i gødningsprodukter med konventionelle blandingsforhold mellem N og P for at finde afsætning, hvilket er teknisk muligt men dette og de begrænsede mængder påvirker afregningen.¹⁵

Mens det første niche-marked for gødningsprodukter med struvit-fosfor var parker og private haver, er mulighederne for at forsyne økologiske jordbrug rykket i fokus. Økologerne må ikke anvende kunstgødning og vil gerne undgå husdyrgødning fra konventionelle landbrug, så her har alternative gødningsprodukter et muligt marked. Mens struvit er godkendt i Danmark som gødning til det konventionelle landbrug, kræver det imidlertid en særlig godkendelse til økologisk brug fra EU (NaturErhvervstyrelsen, 2016).

Risikofaktorerne ved gødning fra spildevand er fornylig blevet analyseret grundigt, og resultaterne dokumenterer at de ikke er større end ved anvendelse af almindelig husdyrgødning (Magid, 2019). Den nye EU gødningsforordning (2019/1009) åbner desuden for at biogødning kan finde anvendelse, eventuelt som komponent i anden gødning. Trods en positiv udtalelse fra EGTOP¹⁶ vurderer Økologisk Landsforening, at EU godkendelse til økologisk brug stadig har lange udsigter.¹⁷ Dertil kommer spørgsmålet om hvorvidt økologerne er villige til at betale en merpris for struvit som fosforgødningsprodukt. I dag afsættes det meste spildevandsslam til landmænd uden betaling fra disse, ligesom økologerne formentlig højst betaler for transport af gyllen, og dermed ikke svarende til næringsstofindholdet i husdyrgødningen.

Et andet muligt nichemarked for struvit-gødning kunne være til frø-producenter, idet f.eks. hørfrø og solsikkefrø udviser høje cadmium koncentrationer ved brug af konventionel

under hvilket der opsamles mikro-forureninger i form af tungmetaller, imens de organiske forureninger destrueres, og gødningsværdien for de optimerede biochar produkter er sammenlignelig med superortofosfat.

¹³ <https://www.ft.dk/samling/20161/almdel/mof/spm/749/svar/1413189/1767382/index.htm>

¹⁴ <https://stateofgreen.com/en/partners/aarhus-vand/solutions/from-wastewater-to-valuable-fertiliser/>

¹⁵ <https://www.thesourcemagazine.org/resource-recovery-challenge-finding-market-product/>

¹⁶ EU Expert Group for Technical Advice on Organic Production

¹⁷ <https://nyheder.okologi.dk/mark-og-stald/forskere-blastempler-brug-af-biogodning-i-okologisk-landbrug>

handelsgødning (Kymäläinen and Sjöberg, 2006).¹⁸ Merprisen for struvit fosfor er dog ikke umiddelbart konkurrencedygtig i forhold til omkostningen for at rense råfosfat til lavere cadmium-indhold (ca. 20-50 øre/kgP, jf. Huygens et al., 2019 p. 302). Aarhus Vand har fundet afsætning til en kunde der kan betale cirka 20 kr/kgP for struvit til fremstilling af et særligt gødningsprodukt, hvilket balancerer med omkostningerne, dog uden forrentning af investeringerne (K. Lumbye Jensen, Aarhus Vand, pers. medd.).

Struvit med fosfor og næringsstoffer fra spildevandet kan imidlertid finde andre anvendelser, for eksempel i industrien, eksempelvis til mørtel, cement eller måske batterier (jf. fodnote 20).

En del af spildevandsslammet sendes til forbrænding, bl.a. på grund af for højt indhold af tungmetaller, og asken herfra indeholder 5-10% fosfor. Der er væsentlig flere restriktioner på anvendelse af aske som gødning, men det er teknisk muligt at udvinde indholdet af fosfor, og der har længe været bestræbelser på at modne teknologierne¹⁹. Generelt har omkostningerne til udvinding af fosfor fra aske været vurderet til at være prohibitivt høje, ca. 74 kr/kgP iflg. Poulsen et al. (2019, p. 40). En dansk udviklet teknologi (Crystal-P) er demonstreret på laboratorieskala (Ottosen et al., 2018); processen er en vådkemisk proces, hvor asken opløses i saltsyre således at der kan udvindes 70-80% af fosforindholdet. Asken har også anvendelsesmuligheder som input til cementproduktion eller som erstatningsmateriale i beton, men økonomien i dette er ubeskrevet (Oberender et al., 2013).

Trods de lovende teknologiske muligheder ved recirkulering af fosfor, så ændrer det ikke afgørende på den overordnede balance i forhold til landbrugsjorden, hvor der tilføres for store mængder. Store dele af spildevandsslammet tilføres allerede i dag markerne, men ved at tilføre det på en mere plantetilgængelig form kan det bidrage til at reducere fosfortabet, idet der vil være større sikkerhed for gødnings-værdien. Hvis det antages at bedrifterne i dag sætter fosforgødningsværdien af spildevandsslammet lavt (25% plantetilgængeligt), samt at de større spildevandsanlæg (60%) rentabelt kan udvinde struvit svarende til 40%²⁰ af fosforindholdet vil der være et potentiale for at substituere handelsgødningsfosfor på cirka 1.000 tP årligt (5.000 tP x 60% x 40% x 75%).

5. Tekniske virkemidler til forebyggelse af fosfor mættede jorde

5.1. Biogas fællesanlæg

Et samarbejde mellem svinebedrifter og kvægbrug kan bidrage til en bedre udnyttelse af gødnings-kvoterne for N og P, idet de forskellige husdyrkategorier har forskelligt indhold af N og P i gødningen (Knudsen et al., 2015). Kvæg har et lavere P til N forhold end svin, og

¹⁸ https://www.foedevarestyrelsen.dk/Selvbetjening/Guides/Kend_kemien/Sider/Vaer-opmaerksom-paa-cadmium-i-solsikkefroe-hoerfroe-og-skaldyr.aspx

¹⁹ https://markedsmodningsfonden.dk/sites/default/files/media/spildevand_behovsbeskrivelse.pdf

²⁰ Jf. driftserfaringer på Marselisborg og Herning renseanlæg, se Balslev (2018)

gødsningen på kvægbedriften vil derfor blive begrænset af kvælstof-loftet, mens gødsningen på svinebedriften vil blive begrænset af fosfor-loftet. Hvis de udveksler gødning vil begge bedrifter være i stand til at udnytte de tilladte lofter fuldt ud.

Imidlertid er der en transport-omkostning knyttet til denne udveksling. Derfor formoder Knudsen et al. (2015) at kvæg-bedriften snarere vil søge at komme ind under undtagelsesreglen om 230 kgN/ha, hvorved der bliver plads til begge næringsstoffer, mens svine-bedriften vil forsøge at optimere på foderet, således at det ikke støder mod fosfor-loftet. Knudsen et al. (2015) nævner dog ikke, at betingelserne for at opfylde kvægundtagelses-reglen involverer ekstra omkostninger, herunder til etablering af efterafgrøder og udtagning af jord-analyser, ligesom det ikke er gratis at optimere på svinefoderet.

Hvis det imidlertid er sådan at begge bedrifter sender deres husdyrgødning til et biogas fællesanlæg vil der allerede være taget højde for transport-behovet. Når biogas anlægget returnerer gødningen til bedrifterne vil det som udgangspunkt være gennemsnittet af de indgåede inputs der bestemmer udnyttelsesprocenterne for kvælstoffet. Idet der ofte vil blive tilført kommunal organisk dagrenovation (KOD) eller restprodukter fra levnedsmiddelindustrien i biogas fremstillingen, vil det nominelle gennemsnit normalt blive lavere end den rent faktiske mulighed for at udnytte kvælstoffet i digestatet, og herved får landbruget en økonomisk fordel idet behovet for harmoni-arealer reduceres (Vinther et al., 2012). Dækningsbidraget fra planteavl er endvidere typisk negativt eller ringe i de husdyrintensive (ofte sandede) egne af Danmark, således at kravet om harmoni-arealer ikke kun belaster soliditeten²¹ men også driften.

I 2018 var det ca. 20% af gyllen der blev sendt til biogas anlæg, men andelen forventes at blive forøget ud fra målsætningen om at nå 50%. Et biogas fælles anlæg vil have tilstrækkeligt store mængder til behandling til at gøre gylleseparation økonomisk muligt. Ved at fraseparere næringsstofferne i en fiberfraktion formindskes omkostningerne til at transportere dem over længere afstande. Hvis fiberfraktionen kan afsættes til planteavlsbrug vil det kunne bidrage til at fortrænge import af kunstgødning, og dermed reducere den samlede fosfortilførsel til landbrugsjorden i Danmark. Forudsætningen for at kunne afsætte fiberfraktionen til planteavl vil imidlertid typisk være at disse opnår en pæn økonomisk gevinst ved at substituere en del af deres kunstgødningsforbrug, idet husdyrgødning i store mængder er vanskelig at dosere helt så præcist som kunstgødning.

I dag er markedsforholdene sådan, at i områder med rigelig husdyrgødning vil planteavlere typisk ikke betale for at modtage denne. I områder hvor der er mere beskedne mængder husdyrgødning som skal afsættes, vil planteavlerne ofte være villige til at afholde omkostningerne til transport og udbringning helt eller delvis. I begge tilfælde får planteavleren en økonomisk gevinst, nemlig forskellen mellem hvad der skulle være betalt for den tilsvarende mængde næringsstoffer i kunstgødning og de eventuelt afholdte omkostninger ved at modtage

²¹ Soliditet beskriver forholdet mellem egenkapitalen og lånekapitalen.

husdyrgødningen. Såfremt et biogas fællesanlæg kan separere og eksportere fiberfraktionen er der altså mulighed for et win-win; færre omkostninger til harmoni-arealer på husdyrbruget og færre omkostninger til kunstgødning hos planteavleren.

Forudsætningerne for at begge parter bliver stillet bedre er dog at transaktionsomkostningerne ved separering, handel og transport ikke overstiger den mulige gevinst samt at disse omkostninger og gevinster fordeles hensigtsmæssigt mellem parterne. Biogas anlæggene er ofte forsigtige med at overtage ansvaret for at finde afsætning til husdyrgødningen, derfor er det også af betydning med mekanismer og aktører til at sikre udvekslingen på markedet.

Såfremt et gylle separationsanlæg installeres ved et biogas fællesanlæg vil udnyttelsen blive bedre og omkostningen reduceret. Separering med skruepresse er mindre effektiv end separering med en dekantercentrifuge, og netto-omkostningerne er af Knudsen et al. (2015) opgjort til henholdsvis 22.000 kr og 49.000 kr årligt ved de to teknologier for en bedrift med 100 dyreenheder og 71 hektar.

Knudsen et al. (2015) har indregnet et økonomisk tab for bedriften for de næringsstoffer der udskilles hvis gødning separeres. For en hel del større bedrifter vil det imidlertid kun være bekvemt at råde over mindre gødning, idet behovet for harmoni-arealer derved formindskes. Knudsen et al. (2015) anfører, at arealet ved 100 dyreenheder kan nedsættes fra 71 ha til hhv 62 ha og 42 ha ved anvendelse af henholdsvis skruepresse og dekantercentrifuge – dvs med hhv 9 ha og 29 ha. Det forudsætter dog at der kan findes arealer at eksportere de fraseparerede næringsstoffer til.

Den økonomiske værdi af et reduceret behov for harmoni-arealer afhænger især af jordprisen, dækningsbidraget ved planteavl samt omkostningen for eventuelle gylle-aftaler. Harmoni-arealer uden for egen bedrift kan sikres enten ved forpagtning eller ved en særskilt gylle-aftale.

Såfremt gyllen har været igennem et separerings-anlæg vil fiber-fraktionens volumen være reduceret og det vil dermed være billigere at transportere per enhed næringsstof, hvilket kan gøre det rentabelt at transportere over længere afstande. Såfremt det herved er muligt at nå til områder hvor planteavlerne er villige til at betale for at modtage gyllen kan det være muligt at få dækket transportomkostningerne ind helt eller delvis, dvs opnå en indtægt ved salg af fiber-fraktionen. Dette og mange andre forhold ved gylle-aftaler afhænger dog ganske meget af de konkrete og lokale forhold.²²

Værdien af fiber-fraktionen ved dekanter-separering kan i ovennævnte case og med de aktuelle næringsstofpriser og udnyttelsesprocenter for husdyrgødning beregnes til ca. 38.000 kr. Fra dette beløb skal trækkes transportomkostningerne som Knudsen et al. (2015) sætter til 36 kr/ton (lang transportafstand ca 10 km), og da fiberfraktionen kun udgør 10% af gyllens

²² <https://landbrugsavisen.dk/avis/gylleaftale-billigere-end-separering;>
<https://svineproduktion.dk/publikationer/kilder/notater/notater/0333#:~:text=Den%20samlede%20pris%20med%20gylleudl%C3%A6gger,ton%20gylle>

volumen dvs. ca. 60 tons er transportomkostningen blot ca. 2.100 kr. Såfremt planteavleren kun skal betale transporten tilfalder der ham en ganske pæn økonomisk gevinst i form af næringsstofferne – spørgsmålet er derfor om planteavleren ville være villig til at betale den 'normale' transportomkostning gældende for almindelig, ikke-separeret gylle, dvs. for 600 tons eller ca. 21.000 kr ?

Forskellen mellem de to beløb ville kunne anvendes til at dække en væsentlig del af separerings-omkostningen ved dekanter-centrifugen. Planteavleren ville stadig opnå en pæn økonomisk gevinst (ca. 17.000 kr.) set ift anvendelse af kunstgødning. Men da separerings-omkostningen i sig selv udgør 40.000 kr. årligt vil der stadig være en ikke ubetydelig udgift for husdyrproducenten. Separeringen vil kun ske hvis husdyrproducenten kan spare det resterende beløb på det formindskede behov for harmoni-arealer – dvs ved at eje mindre jord eller ved at frasige sig forpagtningsaftaler.

Det kan være vanskeligt at få planteavl på sandede jorder til at forrente sig og dækningsbidraget på JB1+JB3 var i 2017 negativt (601-683 kr/ha) hvormed værdien af at kunne udfase 29 ha sandet harmoniareal vil være ca. 18.000 kr. på årsbasis. Det er med andre ord tæt på at separeringen vil kunne balancere økonomisk for husdyrproducenten såfremt denne har forpagtet sandede jorder eller kan afhænde sådanne.²³ Men det forudsætter en større initial investering (ca. 800.000 kr.) samt at der er aktører som er villige til at påtage sig denne risiko for en forrentning på netto 4%.

Da differencen mellem næringsværdien på 38.000 kr og transportomkostningen brutto (evt incl separering) på 21.000 kr er på 17.000 kr. vil det med den af Knudsen et al. (2015) angivne marginalomkostning til transport per ton på 1 kr/km med en fiber-fraktion på kun 60 ton være muligt at nå planteavlere i væsentlig længere afstand inden der nås et break-even. Med en mere forsigtig beregning angives op til 80 km (Poulsen et al, 2019). Dermed skulle det være muligt at nå til områder hvor der er planteavlere som vil afholde transportudgifter m.v. for at modtage husdyrgødning, f.eks. i Østjylland eller på Fyn.

Det må imidlertid tages med i betragtning at de eksterne omkostninger for kørsel med lastbil (infrastruktur, ulykker, forurening mv) ifølge Transportministeriets enhedspriser udgør ca. 4,5 kr. per km, hvilket forøger transportomkostningerne. Viden-syntesen angiver en omkostning på 12 kr/km for transporter med fiber og fjerkrægødning, der altså forøges med godt 1/3, hvilket forkorter den rentable transportafstand tilsvarende. Gødningens værdi fraregnet omkostningerne kan derfor ikke begrunde kørsel meget længere end godt 30-45 kilometer. Transport over Storebælt vil endvidere medføre en stor ekstraomkostning til bropenge (ca. 60 kr/ton fiber, dvs 8-15 kr/kgP fiber for hhv svin og kvæg). Hvis det samfundsøkonomisk skal give mening må indtjeningen på husdyrproduktionen være i stand til at forrente disse omkostninger.

²³ <https://landbrugsavisen.dk/avis/prisen-p%C3%A5-milj%C3%B8omkostninger-skal-ned>

Afgift på handelsgødning-fosfor vil kunne gøre det mere interessant for planteavl-producenter at aftage fiber og fjerkrægødning, men den skal formentlig være ganske kraftig, jævnfør at planteavlerne i dag aftager husdyrgødning uden beregning eller eventuelt ved at afholde transportomkostningerne – de betaler ikke for selve gødningsværdien.

Spørgsmålet er slutteligt hvor i landet man realistisk set kan afsætte en fiber-fraktion fra eventuel separering? Ud fra de regionale data for kunstgødningsforbruget opregnet til 2017, jf. tabel 3, vil der blot kunne fortrænges ca. 500 ton P i Østjylland og det samme på Fyn når fosfortabet samtidig skal neutraliseres. På Sjælland og Lolland-Falster med deres højere kunstgødningsforbrug på 9 kgP/ha er det teoretiske potentiale 4.500 ton P; udlignes tillige de negative fosforbalancer øges det til ca. 5.500 ton P. Men Sjælland er som nævnt for langt væk fra fosfor-overskuddene i transportafstand.²⁴ En anden mulighed ville være at sende det jyske næringsstofoverskud sydpå til Tyskland, hvor der er negative fosforbalancer, men da Slesvig-Holsten har høj husdyrtæthed og andre delstater har besværliggjort import af husdyrgødning, forekommer det heller ikke at være en realistisk mulighed i større skala.²⁵

Mulighederne i et samarbejde mellem kvæg- og svinebedrifter som via biogas fællesanlæg får nivelleret næringsstofmængderne til de tilladte niveauer ('designer-gødning') bygger tillige på, at landbrugspakkens forhøjede kvælstofkvoter for svinebedrifterne fastholdes, hvilket kan konflikte med behovet for at opfylde målene for god vandkvalitet, særligt i fjord-oplandene.

Overskuddet af næringsstoffer er ganske stort i Jylland, og separerings-teknologien rummer den risiko, at der blot overføres større mængder fosfor fra Vestjylland til Fyn og Østjylland, hvorved fosfortabet til Østersøen vil stige. En meget omhyggelig omfordeling af husdyrgødning til erstatning af kunstgødning internt på Fyn og i Østjylland kan imidlertid yde et vist bidrag til at opfylde Danmarks reduktionsforpligtelse under Baltic Sea Action Plan. Investeringer i dekanteringsanlæg bør placeres ved biogasfællesanlæg der geografisk dækker det relevante område.

Når der sker separering ved et biogasanlæg reduceres ammoniakfordampningen i forhold til den sædvanlige ved udbringning af afgasset gylle. Ifølge Poulsen et al. (2019, p. 33) kan denne beregnes til 0,375 kg TAN per ton afgasset gylle. Da ammoniakfordampningen har negative eksterne omkostninger har reduktionen samfundsøkonomisk værdi. Med en NH₃-emission på 21% af TAN (jf Kai et al, 2018) og en beregningsværdi for ammoniak på 25,50 kr/kg (jf Andersen, Brandt og Frohn Rasmussen, 2019) opnås en gevinst på 2 kr. per ton gylle. Gevinsten udgør 12 kroner per ton gylle når effekten af dansk ammoniakforurening i udlandet medregnes, hvilket er relevant da Danmark ikke opfylder sin reduktionsforpligtelse i henhold til NEC-direktivet. Denne gevinst kan begrunde at der ydes støtte til separationsteknologi, jf. EU's statsstøtteregler. Da der i blandet svine- og kvæggylle er 0,9 kg P per ton, svarer den

²⁴ <https://landbrugsavisen.dk/avis/gylle-kan-k%C3%B8res-langt>

²⁵ <https://www.noz.de/deutschland-welt/niedersachsen/artikel/689798/niedersachsen-legt-gulle-transporte-aus-holland-an-die-kette>

estimerede gevinst til henholdsvis 1,80 og 10 kr per kg P i den afgassede gylle (Knudsen et al., 2015). Tilskud af denne størrelse kan forbedre økonomien i et dekanteringsanlæg med 2-10.000 kr. årligt.

5.2. Foder-fosfat reduktioner

En forebyggende indsats overfor fosfortabet må nødvendigvis reducere mængderne af input til landbrugsdriften. Mens det forrige afsnit vurderede mulighederne for at formindske forbruget af kunstgødnings-P ved at substituere med husdyrgødning, ser dette afsnit på mulighederne for at formindske mængderne af P i husdyrenes foder.

Mineralsk fosfor tilsættes i foderblandingerne til især grise, fjerkræ og ungvæg som et nødvendigt næringsstof for husdyrene²⁶. Da fosfat er vigtig for dyrenes vækst har der ligesom for kunstgødning været en tendens til at forsikrings-tilsætte ekstra mængder. Dyrenes mulighed for at optage fosfatet er imidlertid ikke optimale, og en høj andel kommer ud i den anden ende. Ved at øge optagelsen og nedsætte tabet kan fodringen optimeres, dette kan ske ved forskellige metoder. Ved vådfodring øges den fordøjelige mængde fosfor, mens der ved tilsætning af fytase enzymer sker en forøgelse af den biologiske omsætning.²⁷

I de fleste vegetabiliske fodermidler er ca. 70-80 % af fosforindholdet bundet i fytat. Denne del er for nogle dyrearter i praksis svært tilgængelig uden fytase til at frigøre fosfationen fra deres binding til fytat. Fytase er betegnelse for en række enzymer, som katalyserer processen hvorved det fosfat, der er bundet i fytat frigøres og kan optages af dyrene. Fytasen muliggør derfor, at dyrene kan udnytte det ellers utilgængelige fosfor, og derved reducere behovet for tilsætning af mineralsk (letoptageligt) fosfor til foder. Fytase findes naturligt i flere kornarter som rug, hvede, tritikale og byg. Alternativet til tilsætning af fytase er tilsætning af mineralsk fosfor, så man opnår den samme mængde fordøjeligt fosfor. Der skal tilsættes 1,5 gram fosfor fra monocalciumfosfat for at tilføre grisene 1,0 gram fordøjeligt fosfor. Det svarer til, at en fytasetilsætning i dobbelt dosis i færdigfoder vil erstatte ca. 1,5 gram fosfor pr foderenhed. Omregnet til fosfor pr ha svarer dette til 15 kg fosfor ved 1,4 dyreenhed slagtesvin pr ha.

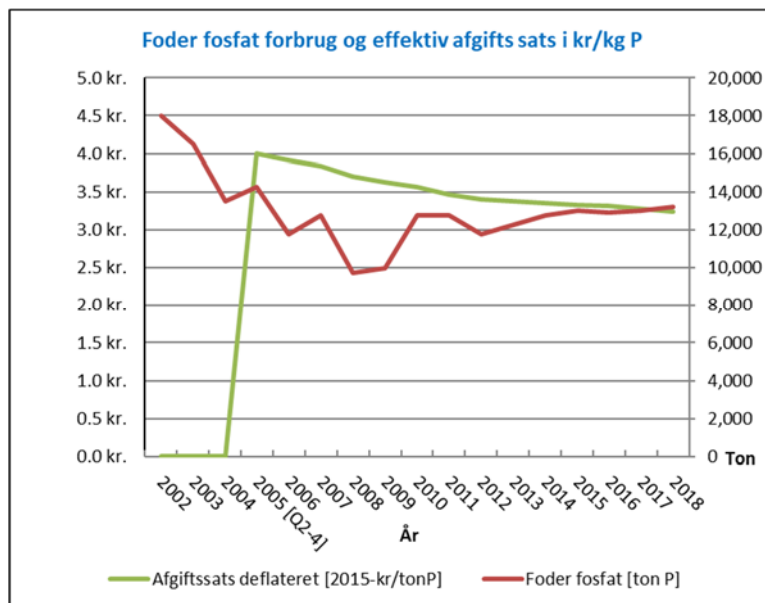
I foder helt uden fytase-aktivitet beregnes fordøjeligheden af plantefosfor typisk til ca. 30 procent og denne stiger til ca. 50% ved normal fytasedosis og til ca. 60% ved dobbelt fytasedosis. Eksperimentelle fordøjelighedsforsøg har vist, at fordøjeligheden kan være 5–10% højere end de angivne beregnede værdier. Hvis alt fytat bliver spaltet af fytase, kan man teoretisk nå en fordøjelighed på ca. 75% af plantefosfor, svarende til fordøjeligheden af fosforsyre. Det er lykkedes at opnå en fordøjelighed af plantefosfor på 75% i forsøg på AU når

²⁶ <https://anis.au.dk/aktuelt/nyheder/vis/artikel/kan-fytase-forbedre-udnyttelsen-af-fosfor-i-foderet-til-malkekoeer/>; <https://landbrugsavisen.dk/kv%C3%A6g/fodringsfors%C3%B8g-malkek%C3%B8er-udnytter-fosfor-bedre-med-fytase-i-foderet>

²⁷ <https://www.berlingske.dk/business/danmark-toever-med-regler-om-fosfat>

man har fermenteret foder i 12-16 timer samtidig med tilsætning af fytase. Ved dette niveau vil man helt kunne undgå tilsætning af mineralsk fosfor i foder til slagtesvin.

L&F Svineproduktion vurderede i 2018 at det var muligt at øge fytase doseringen til 250% på grund af faldende priser, mens andre mener man kan gå op til 3-400% af standard dosis²⁸. L&F Svineproduktion beregnede endvidere at svineproducenten kan spare op til 6 kr per slagtegris ved høj dosis og en lavere norm for fosforindholdet i foderet.²⁹ Besparelsen hidrører både fra billigere foder samt fra lavere behov for harmoniarealer samt kunstgødning, idet gødningslofterne bedre kan overholdes. Mineralsk foderfosfat er imidlertid sidenhen blevet billigjort gennem afskaffelsen af afgiften på foderfosfat i 2019.



Figur 4. Afgiftssats på foder fosfat i faste priser (2005) sammenholdt med forbruget af foder fosfat i landbruget.

I årene fra 2015-2019 hvor svineproduktionen var nogenlunde stabil holdt provenuet fra foderfosfat afgiften sig konstant, hvilket tyder på, at der ikke skete nogen yderligere forøgelse i brugen af fytase i perioden. Det kan skyldes manglende opmærksomhed efter den første tid efter afgiftens indførelse, hvor man anbefalede dobbelt fytase dosis. Det kan også spille ind at afgiften på 4 kr/kgP ikke var indeksreguleret og derfor gradvis blev udhulet af prisudviklingen (se figur 4) samt af prisfaldet på råfosfat (se figur 1). Men der er også vedvarende forestillinger blandt producenterne om, at fytase og dermed mindre mineralsk fosfor i foderet kan give

²⁸ <https://landbrugsavisen.dk/svin/seks-gode-r%C3%A5d-til-bedre-udnyttelse-af-fosfor>;
<https://landbrugsavisen.dk/avis/svin/nye-fosforkrav-rammer-svineproducenter-forskelligt>

²⁹ <https://landbrugsavisen.dk/svin/neds%C3%A6t-m%C3%A6ngden-af-fosfor-uden-produktionstab>

benproblemer hos husdyrene pga fosformangel. Dette afvises imidlertid fuldstændigt af dyrlæger som har analyseret viden-grundlag og data (Høgedahl og Pagh, 2009)³⁰.

Såfremt det antages at svineproducenterne i dag anvender standard fytase-tilsætning og der ved overgang til dobbelt dosis kan ske en forbedring i dyrenes optag på 10%, så er potentialet for reduktion i foderfosfat-forbruget i størrelsesordenen 1.300 ton P. Ved forudgående fermentering af foderet kan forbedringen øges med yderligere 15%, dvs. ca. 2.000 ton P, men det vil formentlig kræve større investeringer i nye foder systemer. Såfremt det antages at reduktioner i foderfosfat forbruget på marginalen vil slå igennem 1:1 på fosfor overskuddet, så er det samlede reduktionspotentiale på anslået 3.300 ton P, hvilket viser at forbedrede fodringsmetoder med de her beskrevne tilgange kan yde et væsentligt bidrag til reduktion af fosfortabet, større end separations-teknologi. Fytase kan dog ikke anvendes i det økologiske landbrug.

5.3. Behov for reduktioner i husdyrtætheden ?

Hvis fosfortabet på aktuelt 6-7 kgP/ha svarende til 15.000 ton P årligt skal ned under 1 kgP/ha (som i Sverige) for at forebygge fosformætning af jordene, så vil det med 2,5 million hektar i Danmark indebære at det årlige tab skal ned på omkring 2.500 ton P – og dermed er der et reduktionsbehov på 12.500 ton P. Potentialet ved bedre udnyttelse af fosfor i spildevand er ca. 1.000 ton P (jf. afsnit 4), mens separationsteknologi kan muliggøre en reduktion på op til 1.000 ton P i vest-Danmark (jf. afsnit 5.1), og forbedret foderstyring har et potentiale på op til 3.300 ton P (jf. afsnit 5.2). Der savnes derfor reduktioner i størrelsesordenen 7.200 ton P.

Teoretisk set er der endvidere et potentiale på Sjælland og Lolland-Falster for at modtage i størrelsesordenen 4.500 ton P til erstatning af kunstgødning ved langtransport af fosfor fra de husdyrtætte områder i Jylland. Desuden kunne man ved at udligne de negative fosfor balancer modtage yderligere 1.000 ton P. Langtransport af fosfor fra Jylland til Sjælland vil kunne komme i stand hvis husdyrproducenterne er villige til at afholde omkostningerne til at eksportere deres overskydende næringsstoffer. Værdien af næringsstofferne er nemlig, som det fremgår ovenfor, ikke i sig selv tilstrækkelig til at opveje transporten – det er husdyrproduktionen som sådan der skal kunne forrente dette, eventuelt understøttet af en afgift på fosfor.

Men selv hvis dette skulle falde ud efter de mest optimistiske forudsætninger, så reterer der en årlig manko på ca. 1.700 ton P. Så store reduktioner vil fordre nye teknologiske landvindinger³¹ – eller at husdyrtætheden reduceres. Det sidste har været et tabu indtil nu i Danmark, men ikke i Holland hvor der i flere omgange har været droslet ned på husdyrproduktionen.

³⁰ https://svineproduktion.dk/Publikationer/Kilder/lu_erfa/2011/1107.aspx

³¹ Muslinge produktion kan eliminere 60-170 kgP/ ha, ålegræs 32 kgP/ha samt tang og søsalat under 12 kgP/ha, idet det er hektar på søterritoriet (Bruhn et al., 2020a).

En reduktion på 1.000 ton P kan anslås at modsvare en reduktion i husdyrholdet svarende til 55.000 dyreenheder, hvis det er ligelig fordelt på kvæg og svin. Til sammenligning udgør 1,5 million mink cirka 50.000 dyreenheder, og på grund af et højt fosforindhold i gødningen ville en varig reduktion i denne størrelsesorden nedbringe fosfortilførslen med 1.550 ton P. For at den nedsatte tilførsel bliver modsvaret af en tilsvarende nedgang i emissionerne til vandområderne skal reduktionen dog være hensigtsmæssigt geografisk fordelt på landbrugsarealet.

Ifølge den seneste opgørelse var det kun 6% af landbrugsarealet i Danmark der udviste et lavt fosfortal (>2), næsten halvdelen af jorderne ligger allerede højt (>4). Fosfortabet er størst på de jorder der har det mest intensive husdyrhold (Andersen et al., 2016, p. 31). Da kvælstofudledningerne også skal reduceres for at opfylde Vandrammedirektivet, ligesom landbrugets klimaaftryk skal reduceres, er der brug for at se fordomsfrit på det samlede husdyrhold, herunder om det er tilrådeligt at genoptage minkavl.

6. Eksterne omkostninger ved fosfor tabet

Fosfor transporteres via vandløbene til vore søer og videre ud til fjord og hav. Fosfor virker her som et næringsstof der giver uønsket algevækst og eutrofiering. Det er særligt i de ferske vande at fosfor giver problemer, men også i fjorde med lav saltholdighed, for eksempel Randers fjord. Østersøen er følsom over for fosfor, idet de nordlige dele har lav saltholdighed, og fosfor transporteres over lange afstande med havstrømmene når det først når ud i havet. Da vandudskiftningen i Østersøen går meget langsomt (ca. 30 år) og fosfor ikke nedbrydes er der kronisk skadelige effekter på havmiljøet.

Ved eksterne omkostninger forstås sådanne der påføres tredjepart som følge af en transaktion på markedet mellem to eller flere parter – eksempelvis forurening fra opdræt af husdyr med henblik på salg af madvarer. Såfremt disse eksterne omkostninger bliver prissat ved en afgift vil de kunne blive indregnet i prisen på produkterne, således at efterspørgslen på disse afstemmes efter de faktiske omkostninger ved at fremstille varen. Af denne grund er der betydelig interesse for at opgøre eksterne omkostninger.

Det er veldokumenteret, at eksterne omkostninger som følge af eutrofieringen påføres forskellige grupper i samfundet. Eutrofieringen gør vandet uklart og grumset, så sigtddybden reduceres, hvilket forringer og ændrer fiskebestanden, gør det mindre attraktivt som badevand og i det hele taget reducerer den rekreative værdi, både for fastboende og turister. Sigtddybden er endvidere bestemmende for udbredelsen af ålegræsset, der er den vigtigste parameter for opgørelsen af den økologiske vandkvalitet under Danmarks implementering af Vandrammedirektivet.

Der findes en række studier som påviser hvordan den rekreative økonomiske værdi direkte påvirkes af vandets sigtddybde (se Andersen et al., 2019). Huspris-undersøgelser, som der er adskillige af, har afdækket hvordan værdien af ejendomme beliggende langs vandkanten af søer og fjorde forringes når sigtddybden reduceres. Survey-undersøgelser har ligeledes afdækket, at

badegæster og andre som har rekreativ nytte af vandmiljøet, er villige til at betale for god miljøkvalitet med klart vand og god sigtddybde.

I det EU-støttede forskningsprojekt EPI-WATER blev der på grundlag af model-beregninger af effekten på sigt-dybden foretaget en opgørelse over de eksterne omkostninger ved fosforforureningen (Hansen et al, 2009). Projektet fandt en omkostning på €4.19/kgP (31 kroner/kgP) tilført marken. Omkostningen blev beregnet ud fra den negative påvirkning af huspriserne ved reduceret sigtddybde, som estimeret ud fra værdisætnings studier. Huspris-effekten er interessant fordi den giver et indikation for betalingsviljen for rent og klart vand. Værdien for badegæster og andre ikke-fastboende blev ikke medtaget, idet det lå uden for projektets resurse-mæssige ramme. Sidstnævnte vil ofte være hypotetisk, da værdien ikke kan aflæses direkte i markedet, men forudsætter omfattende surveys.

En tilsvarende analyse baseret på denne metode er fornyligt anvendt til beregninger af de eksterne omkostninger ved forureningen af fjordene, og er i den forbindelse publiceret i et internationalt tidsskrift (Andersen et al, 2019). Her var det dog kvælstofs eksterne omkostninger der blev beregnet.

Beregningen og metoden er i forbindelse med nærværende artikel gentaget for en større ferskvandssø i Danmark, ligeledes på grundlag af huspris-effekten. Ganske vist påvirkes huspriserne kun nogle få procent af en ændring i sigtddybden forårsaget af fosfor forureningen, men dette bliver alligevel til en ikke ubetydelig sum. Vi finder her en ekstern omkostning på 32 kroner per kg P tilført afgrøderne, henholdsvis på 150 kroner per kg P tabt til rodzonen. Beregningen kontrollerer for effekten af fosfor ophobet i sø-sedimentet.

Forudsætninger	Beregning
Ændring i fosfor tilførsel for at reducere med 20 ugP/l og nå god vandkvalitet Landbrug 970 kgP/år Punktkilder 479 kgP/år (Secchi dosis-respons: Jeppesen et al 1999)	ugP/l per tonP _(tilført sø) : 13,803 ugP/l per tonP _(tilført afgrøder) : 0,134 (A1) ugP/l per tonP _(rodzonetab) : 0,612 (A2)
Huspris-effekt Samlet ejendomsværdi: 1,5 mia. kr. Annueret over 30 år 3,52% per mSecchi (Gibbs et al 2002)	mSecchi per ugP/l: 0,0318 (B) Kroner per mSecchi ³² 7.514.332 (C)
Resultater	Kr per kg P (tilført afgrøder) 32 (A1 x B x C) Kr per kg P (tabt til rodzonen) 150 (A2 x B x C)

Tabel 5. Beregningsforudsætninger ved estimering af de eksterne omkostninger ved fosfor emission til en større dansk sø.

³² Secchi dybde = sigt dybde. Efter Pietro Angelo Secchi der opfandt målemetoden.

Tabel 5 præsenterer beregningsforudsætningerne i opgørelsen af eksterne omkostninger ved fosfor forurening af en ferskvandssø.

På grundlag af denne beregning kan eksempelvis størrelsen af en afgift på foder-fosfat kvalificeres. Såfremt det antages at kun 2/3 af foder-fosfatet optages af dyrene, vil den sidste 1/3 blive tilført afgrøderne som gødning. Hvis afgiften skal påhvile salget af foderfosfat burde den således udgøre 1/3 af den opgjorte eksterne omkostning på 32 kroner per kg P tilført, dvs ca. 10 kr per kg P. Da der imidlertid er stor forskel på effektiviteten i husdyrenes optagelse af foder-fosfat (se afsnit 4.2) er det ikke nødvendigvis den mest hensigtsmæssige model for en afgift. Desuden må der antages at være yderligere eksterne omkostninger for andre end husejerne ved søen.

Når fosfor tilføres i form af handelsgødning indeholder det typisk sporstoffer fra cadmium – EU tillader op til 60 mg cadmium per kg fosfat, mens Danmark har en lidt lavere grænse på 48 mg. Den danske grænseværdi er rent teknisk specificeret som 110 mg cadmium/kg ren P. Cadmium indholdet i landbrugsjorden er i løbet af de sidste hundrede år blevet fordoblet som følge af et stort forbrug af handelsgødning og det stiger fortsat, hvilket også afspejles i fødevarerne (Marini et al., 2020). Cadmiums negative effekter på den menneskelige organisme blev kvantificeret af Pizzol et al. (2014) som angav estimater for eksterne omkostninger. Når disse opregnes til den aktuelle danske værdi for tab af statistiske leveår fås en eksternalitet på 10,43 kr per gram cadmium, hvilket for handelsgødnings-P med et indhold svarende til den danske grænseværdi bliver til 1,15 kr/kg P. Det skal i denne sammenhæng nævnes, at struvit produceret fra spildevand har lavere cadmium indhold end den handelsgødning som importeres i Danmark (Pizzol et al., 2014).

7. Modeller for en afgift på fosfor

På baggrund af de foregående afsnit vurderes i det følgende hvilke modeller for en afgift på fosfor der kan opstilles og hvad deres fordele og ulemper er.

Inden disse modeller omtales vil den hidtidige praksis med at afgiftsbelægge fosfor kort blive omtalt. Foder-fosfat afgiften på 4 kr/kgP der eksisterede fra 2005-2019 har været omtalt ovenfor, men derudover har der siden 1996 som en del af afgiftsgrundlaget for spildevandsafgiften været opkrævet afgift på fosfor der udledes fra renseanlæg og virksomheder med særskilt udledning. Afgiften var oprindeligt på 110 kr/kg P, men blev i 2009 hævet til 165 kr/kgP. Dette skete som led i en større skattereform hvor energiafgifterne fik tilføjet en automatisk indeksering med inflationen. Spildevandsafgiften på fosfor blev imidlertid ikke omfattet af denne indeksering og satsen er ikke blevet reguleret i de sidste 10 år. Spildevandsafgiften understøtter renseanlæggenes bestræbelser på at reducere næringsstoffetab med udledning af det rensede spildevand, ved brug af teknologier til udnyttelse af fosfor i spildevand igennem opkoncentrering i slammet hhv. struvit-udfældning fra vandfasen (Strandmark et al., 2004; Jensen et al., 2015; Thomsen et al. 2015).

Foder-fosfat afgiften blev ved sin indførelse kompenseret gennem en nedsættelse af landbrugets grundskyldspromille, derved blev afgiftsprovenuet på ca. 50 mio. kroner neutraliseret gennem en tilsvarende lempelse i grundskylden. Da foder-fosfat afgiften blev fjernet ved finansloven i 2018 skete der imidlertid ikke nogen tilbagejustering af grundskyldspromillen.

I forbindelse med midtvejsevalueringen af Vandmiljøplan-3 blev der gennemført en særskilt analyse af behovet for at ændre på foder-fosfat afgiften i en ministeriel arbejdsgruppe med deltagelse af videns-personer fra erhvervene. Udvalget var blevet bedt om at overveje to alternative afgiftsmodeller; dels en fordobling af satsen til 8 kr/kgP, dels en konjunktur-bestemt afgift, der blev reguleret efter den til enhver tid gældende verdensmarkedspris på foderfosfat. Derudover blev flere andre virkemidler vurderet; vidensformidling, minimumskrav til fytase-indholdet i foderet, nye fodernormer samt tiltag målrettet dambrug.

Det fremgår, at arbejdsgruppen endvidere overvejede at udvide foder fosfat afgiften til også at omfatte alle de vegetabiliske fodermidlers fosforindhold. Det ville sikre at skift i fodertyper bliver adresseret, herunder brug af fosfor-rige fodermidler som rapskage og solsikkestrå. Videns-grundlaget for fastlæggelse af fosforindholdet i de forskellige vegetabiliske fodermidler blev på daværende tidspunkt vurderet til at være for svagt, men der findes i dag gennemsnitsværdier for de vigtigste fodertyper som vil kunne lægges til grund i fravær af deklareringer³³. Endelig omtalte arbejdsgruppen en fjerde afgiftsmodel hvor der kun opkræves afgift på fosfor-overskuddet (dvs fosfor-tabet). Det ville kunne ske ud fra de gældende fosfor-normer og et gødningsregnskab der inkluderer fosfor, om end der ifølge arbejdsgruppen ville være behov for at differentiere mellem forskellige jordtyper og i forhold til udnyttelsesprocenterne for husdyrgødning og anden organisk gødning.

Analysearbejdet blev afsluttet netop som fosfatpriserne toppede og inden finanskrisen, der lagde en dæmper på disse, slog igennem i efteråret 2008. Af denne og andre grunde var der ikke politisk interesse for at skærpe reguleringen af fosfor i forlængelse af arbejdsgruppens udredning.

Fordelen ved at fokusere en afgift på foder-fosfat er, at det udgør et centralt bidrag til fosfortabet, men svagheden er, at en række andre kilder til fosfortab fra landbruget negligeres. Foruden den vegetabiliske fosfor er der også fosfor i kunstgødning. Når disse andre kilder ikke er omfattet af en afgift vil der være risiko for at der på sigt kan ske en u hensigtsmæssig substitution.

Da det ikke er anvendelsen af fosfor men tabet der udgør et miljømæssigt problem, så er det mest hensigtsmæssigt at afgiften pålægges tabet. Det vil give de rigtige incitaments-virkninger i forhold til at tage de teknologier i brug som nedsætter tabet, eksempelvis optimering af foderet og separering af gyllens fosfor-fraktion.

³³ Feedipedia. Animal feed resources information system. Se <http://www.feedipedia.org/>.

En afgift på fosfortabet vil svare til den model for pant på kvælstof som er skitseret i Hansen (1999). Den indebærer at der svares afgift på indkøb af fosfor i både foder og kunstgødning og gives fuld refusion for de fosfor-mængder der fraføres den enkelte bedrift via produkterne. Satsen for en afgift på fosfortabet til rodzonen der modsvarer de estimerede eksterne omkostninger ville være betydelig. Såfremt det vurderes, at kontrol-omkostningerne for foder-optimering og fosfor separation er lavere end denne, kan afgiften dog sættes på et lavere niveau svarende til de marginale kontrol-omkostninger ved den ønskede reduktion.

Der forefindes i dag en udførlig vejledning udarbejdet af Eurostat (2013) som foreskriver hvordan fosfortabet skal beregnes. I Danmark beregner DCE hvert år fosfortabet efter en lignende metode. Landbrugsbedrifterne aflægger efter fosfor-loven særskilt regnskab for deres tilførsel af fosfor til bedriften. Dette regnskab er baseret på antallet af husdyr og norm tal for fosforindholdet, som dog kan korrigeres for foder med lavere værdier end gennemsnittet. De data som skal anvendes for at beregne fosfor-tabet konkret for den enkelte bedrift er til rådighed ved afregningerne for indkøbt foder, afgrøder samt husdyr.

Fodermidler der fremstilles og forbruges internt på bedriften skal ikke vurderes særskilt, da det kun er det eksterne input af fosfor der er nødvendigt for at beregne fosfor-balancen. Ved handel mellem bedrifter af foder vil det imidlertid være nødvendigt at deklarerer fosfor-indholdet.

De forskellige jordtyper har varierende evne til at binde fosfor, men med den pulje af fosfor der over de sidste hundrede år er blevet akkumuleret i dansk landbrugsjord, er det ikke hensigtsmæssigt at have for stor tillid til fortsat bindingskapacitet. Man kunne imidlertid godt forestille sig at en afgift på fosfor blev gradueret efter fosfortallet på den enkelte bedrift, således at der ved dokumenterede og lave fosfortal sker en procentuel reduktion i afgiftssatsen. Fosfortallene skal allerede i dag dokumenteres i gødningsregnskabet.

En yderligere effekt af at udforme afgiften med fosfor-tabet som afgiftsgrundlag vil være, at på bedrifter hvor der sker en netto fraførsel af fosfor vil der være mulighed for at få overskud på ordningen – dvs få refunderet mere end der som udgangspunkt erlægges i afgift/pant. Dermed vil afgiftssystemet understøtte at fosfor-puljerne gradvist reduceres, ikke gennem udvaskning men ved at de nyttiggøres i landbrugsprodukterne. Det kunne overvejes at kanalisere en del af EU's landbrugsstøttemidler til landbruget gennem et fosfor pantsystem.

I tillæg til dette tilsiger opgørelsen af de eksterne omkostninger ved cadmium at handelsgødnings-P pålægges en afgift efter cadmium indholdet. Afgiften vil være på ca. 1 krone per kg P hvis der tillades et bundfradrag på 20 mgCd/kgP. Afgiften vil understøtte bestræbelserne på at øge udnyttelsen af husdyrgødning og spildevands-fosfor som har lave koncentrationer af cadmium og andre tungmetaller.

På helt kort sigt kan det være nødvendigt at genindføre foder-fosfat afgiften for at bremse stigningen i fosfortabet, gerne med en højere afgiftssats der bedre flugter med de estimerede eksterne omkostninger. Fordelen er at lovgivningen hurtigt kan genetableres og det

administrative system er velkendt. At indføre et mere omfattende system med afgift/pant på fosfor-tabet vil kræve tid til at justere lovgivningen og foretage konsekvensberegninger som er nødvendige for at finjustere et sådant system, og er derfor kun en realistisk mulighed indenfor nogle år. Afgift på kunstgødning ud fra cadmium og/eller fosfor indholdet kan indføres med kort varsel.

Som alternativ til at nivellere en fosfor-afgift efter opgjorte eksterne omkostninger kan man vælge at fastlægge satsen ud fra de politiske målsætninger og den adfærdsændring der skal til for at opnå disse. Da det kan være vanskeligt at vide hvordan reaktionen vil være på en given afgiftssats er det imidlertid ikke så ligetil.

8. Reguleringsmæssige behov

Som nævnt ovenfor er Danmark under vandrammedirektivet forpligtet til gradvist at reducere forureningen af vandmiljøet med fosfor for at opnå god vandkvalitet, og herudover har Danmark under Østersø-konventionen forpligtet sig på et konkret loft (25 kgP/ha) over tilførslen af husdyrgødnings-fosfor til landbrugsjorden. I forbindelse med den forestående revision af fosfor-loven og de deri angivne fosfor-lofter skal der her peges på nogle reguleringsmæssige behov og muligheder.

I betragtning af det høje danske fosfor-overskud per hektar, der i EU kun overgås af Malta og Cypern, og de meget høje lofter der er angivet i fosfor-loven, er der behov for at sænke disse lofter, således at tilførslen af fosfor kommer til at balancere med planternes behov. Muligheden for at dosere over lofterne, der aktuelt er meget vidtgående (op til 45 kgP/ha) bør indskrænkes betydeligt og alene reserveres de arealer hvor fosfortallet er lavt, dvs under 2, hvilket er mindre end 6% af landbrugsarealet. Østersø-konventionens særskilte loft på husdyrgødningen bør snarest implementeres for de ca. 70 procent af landet der afvander til Østersøen, og der bør ikke tillades mere end højst 5 kgP/ha fra andre kilder. Det må overvejes gradvist at implementere et tilsvarende loft på husdyrgødnings-P i de sidste 30 procent af landet for at beskytte de ferske vande. Ved at definere et loft for andre kilder skabes et behov og efterspørgsel på bedre fordeling af husdyrgødnings-P.

Foruden den alt for høje husdyrtæthed i store dele af landet er en medvirkende årsag til den høje dosering at en del fosfor ikke er umiddelbart plantetilgængeligt, derfor er der behov for at recirkulere indenlandske fosfor ressourcer med STRUBIAS teknologier som kan forbedre tilgængeligheden. Større kommunale og industrielle anlæg der renser spildevand må tilskyndes til at indvinde fosfor som struvit eller lignende, hvilket omkostningseffektivt og teknologineutralt bedst sker gennem en forhøjelse af spildevandsafgiften. Som minimum bør denne reguleres med den økonomiske udvikling siden den seneste forhøjelse i 2009, dvs. øges fra 165 kr/kgP til 225 kr/kgP. Det er noget højere end den her opgjorte eksterne omkostning på 150 kr/kgP for fosfor emissioner, der imidlertid er partiel og ikke omfatter alt.

På grund af den relativt store fosfor-emission fra lavbundsarealerne, der udgør ca. 7% af det samlede landbrugsareal, er der her behov for en særlig regulering, eventuelt et decideret et forbud mod udbringning af husdyrgødning. Men eftersom lavbundsarealerne ligger relativt spredt i landskabet vil det ikke være nemt at kontrollere, medmindre det kombineres med dyrkningsmæssige restriktioner, sådan at arealanvendelsen er transparent. Restriktionerne bør samordnes med klimareguleringen, idet lavbundsarealerne står for en høj andel af drivhusgasudslippet fra landbruget. DCE skønner, at godt halvdelen af dyrkningsbidragets fosforemission hidrører fra lavbundsarealerne, men de tilgængelige data viser at de varierer meget lokalt og at den faktiske andel derfor er ganske usikker (Andersen et al., 2020).

For at begrænse tabet af fosfor på dyrkningsarealerne er der behov for at regulere anvendelsen. Det sker mest omkostningseffektivt og teknologineutralt gennem en afgift på alt input af fosfor til landbruget. Den tidligere afgift på foder-fosfater bør derfor genindføres, og afgiftsgrundlaget bør udvides til at gælde også fosfor i vegetabilsk foder, ligesom at kunstgødnings-fosfat bør omfattes. Afgiftssatsen der i 2005 blev fastsat til 4 kr/kgP bør justeres med den økonomiske udvikling til mindst 5,5 kr/kgP, og gradvist optrappes med 1 krone om året indtil der er opnået en rimelig balance mellem tilførsel og fraførsel af fosfor til afgrøderne.

Da det imidlertid ikke er anvendelsen af fosfor, men tabet, der skaber de miljømæssige problemer, bør der ydes refusion for den mængde fosfor der optages af planterne. Den landmand der forstår at balancere tilførslen med behovet vil derfor ikke opleve en afgiftsmæssig belastning. Der vil med andre ord være tale om et pant-system for fosfor.

Et sådant system vil forudsætte at de eksisterende fosfor-regnskaber på bedrifterne udvides til at omfatte ikke blot tilførsel men også fraførsel af fosfor. Sidstnævnte kan angives med standard værdier hvis der ikke foreligger konkrete analyser, og af hensyn til usikkerheden herved bør der formentlig tillades et bundfradrag svarende til et tilladeligt tab på 1 kgP/ha.

Landbrugsbedrifter der er i stand til at tære på den store fosfor-pulje i jorden (1,4 ton P per hektar) vil som følge af systemet modtage større refusioner end de skal svare i afgift. På den måde vil der blive en kompensation til planteavlere som ved at afstå fra de traditionelt høje gødskningsniveauer oplever at få mindre udbytte, ligesom der formodes at ske en omfordeling fra husdyrbedrifter med høj værditilvækst til andre dele af landbruget. Bedrifter med lavt fosfortal (<2) kompenseres. I det omfang pant-systemet giver underskud, vil det kunne finansieres helt eller delvis gennem omlægningen af EU's landbrugsstøtte, hvor 20-30 procent af grundtilskuddene fra 2022 forventes omlagt til 'green schemes' der defineres af det enkelte medlemsland.

Da fosfor i spildevandsslam eller heraf afledte produkter må antages at hidrøre fra fosfor som til dels allerede er afgiftsbelagt tidligere i kredsløbet (ved fremstillingen af landbrugsvarer) bør der svares en reduceret afgift/pant for udbringning af denne, vægtet efter forholdet mellem industrispildevand og husholdningsspildevand på anlægget, samt importerede fødevarers andel i fosforet.

Som supplement til pantsystemet på fosfor bør det endvidere overvejes at pålægge kunstgødningsfosfor en særskilt afgift i henhold til indholdet af tungmetallet cadmium. Afgiftssatsen bør som tidligere omtalt være på cirka 10 kr per gram cadmium, hvilket ved fosfor med det maksimale cadmium-indhold vil svare til cirka 1 kr/kgP. Det vil fremme fremstilling, import og anvendelse af lav-cadmium kunstgødningsfosfor, sådan at akkumuleringen i dyrkningsjorden og optaget i afgrøderne bremses, og helbredsvirkningerne mindskes. Et afgiftsfrit bundfradrag på 20 mg Cd vil være hensigtsmæssigt.

Samlet vil sådanne reguleringer gøre det mere attraktivt for investeringer i separations-anlæg til husdyrgødning som gør det muligt at fremstille en fiber-fraktion med højt fosfor-indhold, hvilket igen vil forbedre fordelingen og anvendelsen af husdyrgødnings-P. Det vil give sikkerhed for biogas-anlæg der foretager sådanne investeringer, fordi der vil blive mindre efterspørgsel på kunstgødnings-P og større efterspørgsel på alternativer. Da separeringen også giver positive effekter for kvælstof-anvendelsen i form af reduceret ammoniakfordampning og højere kvælstofudnyttelse vil det som omtalt i afsnit 5.1 kunne begrunde en vis offentlig støtte til de investeringer som det vil indebære.

Referencer

- Andersen, H.E. og Rolighed, J., 2016. Ændret husdyrregulering: Effekter af loft for tilførsel af fosfor med husdyrgødning. Notat fra Aarhus Universitet: DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 46 s.
- Andersen, H.E., Baatrup-Pedersen, A., Blicher-Mathiesen, G., Christensen, J.P., Heckrath, G., Nordemann Jensen, P. (red.), Vinther, F.P., Rolighed, J., Rubæk, G. & Søndergaard, M. 2016. Redegørelse for udvikling i landbrugets fosforforbrug, tab og påvirkning af Vandmiljøet, Teknisk rapport nr. 77, Aarhus Universitet: DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 86 s. <http://dce2.au.dk/pub/TR77.pdf>
- Andersen, H.E. og Heckrath, G. (redaktører) 2020. Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark, Videnskabelig rapport nr. 397, Aarhus Universitet: DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.
- Andersen, H.E., Rubæk, G.H., Hasler, B. & Jacobsen, B.H. (redaktører) 2020. Virkemidler til reduktion af fosforbelastningen af vandmiljøet, Videnskabelig rapport nr. 379, Aarhus Universitet: DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 284 s. <http://dce2.au.dk/pub/SR379.pdf>
- Andersen, M.S., Frohn, L.M., Brandt, J., 2019. Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 3.0. Notat, Aarhus Universitet: DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 22 s.
- Andersen, M.S., Levin, G. and Odgaard, A.V., 2019. Economic benefits of reducing agricultural N losses to coastal waters for seaside recreation and real estate value in Denmark, Marine Pollution Bulletin 140, 146-156. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.010>
- Balslev, P., 2018. Phosphogreen Technology, IWA Sweden seminar, Malmö 11. April. https://www.svensktvatten.se/globalassets/utbildning/konferenser-och-seminarier/2018/180411-iwaswe_p/peter-balslev_phosphogreen_iwa-p_2018-04-11.pdf

Blicher-Mathiesen, G., Holm, H., Houlborg, T., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2019. Landovervågningsoplande 2018. NOVANA. Videnskabelig rapport nr. 352, Aarhus Universitet: DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 241 s. <http://dce2.au.dk/pub/SR352.pdf>

Bohman, B., 2017. Transboundary law for social-ecological resilience, Dissertation for the Doctoral degree, Stockholm University: Dept. of Law. 464 p. <https://su.diva-portal.org/smash/get/diva2:1064529/FULLTEXT01.pdf>

Bruhn, A., Rasmussen, M.B., Pedersen, H.B. & Thomsen, M. 2020a. Høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat – status på viden om miljøeffekter og økonomi. Notat, Aarhus Universitet: DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 17 s. https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_20.pdf

Bruhn, A., Flindt, M.R., Hasler, B., Krause-Jensen, D., Larsen, M.M., Maar, M., Petersen, J.K. og Timmermann, K., 2020b. Marine virkemidler – beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag, Videnskabelig rapport nr. 368, Aarhus Universitet: DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 126 s. <http://dce2.au.dk/pub/SR368.pdf>

Eurostat, 2013. Nutrient Budgets EU-27, Norway, Switzerland. Luxembourg: European Commission

Gibbs, J.P., Halstead, J.M., Boyle, K.J., Huang, J.-C., 2002. An hedonic analysis of the effects of lake water clarity on New Hampshire lakefront properties. *Agric. Resour. Econ. Rev.* 31(1), 39–46.

Hansen, L.G., 1999. A Deposit-Refund System Applied to Nitrogen Emissions from Agriculture, *Environmental Economics and Policy Studies* 2, 241-237.

Hansen, M.S., Andersen, M.S., Carstensen, J., Kronvang, B., Thodsen, H., Andersen, H.E., Audet, J., Kaste, Ø., Saloranta, T.M., Barton, D. and Bakken, T.H., 2009. Impact pathway modelling of agricultural nutrients in six European catchments, EXIOPOL DII.2.a-2 Part A, Venice: FEEM.

HELCOM 2018. Second holistic assessment. Helsinki.

Huygens D, Saveyn HGM, Tonini D, Eder P, Delgado Sancho L., 2019. Technical proposals for selected new fertilising materials under the Fertilising Products Regulation (Regulation (EU) 2019/1009), Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Høgedahl, P. og Pagh, J. 2009. Er fytase skyld i benproblemer ? *Maskinbladet, Hyologisk* 4. december, pp 18-19.

Jensen, MD, Tyghsen, P, Thomsen, M, Martinsen, L & Hasler, B 2015, Bæredygtig udnyttelse af fosfor fra spildevand. Miljøprojekt 1661, ISBN nr. 978-87-93283-94-7

Jeppesen, E., Martin Søndergaard, Brian Kronvang, Jens P. Jensen, Lars M. Svendsen & Torben L. Lauridsen, 1999. Lake and catchment management in Denmark, *Hydrobiologia* 395/396, pp. 419–432.

Kai, P., Nyord, T., Hansen, M.N., 2018. Tab fra lagre af husdyrgødning, i P. Lund (red.), *Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning – normtal 2018*, Aarhus Universitet: DCA.

Knudsen, L., Birkmose, T., Rolighed, J., Andersen, H.E., Jacobsen, B. 2015. Analyse af bedriftsøkonomiske konsekvenser og ændret fosforoverskud på typebedrifter ved scenarier for ændret fosforregulering, Skejby: SEGES. 67 s.

Kymäläinen, H. and Sjöberg, A., 2006. Cadmium content of Finnish linseed and estimated consumer intake, *Agricultural and Food Science* 15(1) 3-11.

L114 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, Folketinget 2016-17, Folketingstidende A.

Magid, J., 2019. En vurdering af indholdsstoffer i gylle fra kvæg, svin og biogødning fra spildevand, Institut for Plante- og Miljøvidenskab, Københavns Universitet.

Marini, M., Angouria-Tsorochidou, E., Caro, D., Thomsen, M., 2020. Daily intake of heavy metals and minerals in global food trade – a case study of four Danish dietary profiles, *Journal of Cleaner production* 124279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124279>

Miljøstyrelsen, 2013. Innovationspartnerskab for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam fra spildevandsforsyninger. Miljøprojekt 1460. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2013/01/978-87-92903-82-2.pdf>

Miljøstyrelsen, 2019. Potentialer og barrierer for øget fosforudnyttelse i vandsektoren. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 32, Odense.

Miljøstyrelsen, 2020. Affaldsstatistik 2018. Miljøprojekt 2133. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2020/05/978-87-7038-183-3.pdf>

NaturErhvervstyrelsen, 2016 Arbejdsgruppen om bedre adgang til næringsstoffer for økologer. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tvaergaende/Oekologi/Bedre_adgang_til_næringsstoffer_for_oekologer_-_Rapport_fra_arbejdsgruppen_-_September_2016.pdf

Oberender, A., Andreasen, P., Tørsløv, J., Stubsgaard, A. og bagge, L., 2013. Innovationspartnerskab for anvendelse af fosfor fra spildevand og spildevandsslam fra spildevandsforsyninger, Miljøprojekt nr. 1460, Kbh: Miljøstyrelsen.

OECD 2019. Environmental performance review: Denmark, Paris.

Ottosen, A.R., Jensen, P.E. og Ottosen, L., 2018. Genanvendelse af fosfor fra slamaske, Miljørapport nr. 1983, Odense: Miljøstyrelsen.

Pizzol, M., C.R. Smart, J., Thomsen, M., 2014. External costs of cadmium emissions to soil: a drawback of phosphorus fertilizers. *Journal of Cleaner Production* 84, 475-483. doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.080

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. Videnskabelig rapport nr. 325, Aarhus Universitet: DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 84 s. - <http://dce2.au.dk/pub/SR325.pdf>

Rubæk, G.,H., Askegaard, M., Christiansen, N.H., 2018. Gødningsværdi af fosfor i restprodukter. DCA rapport nr. 141, Aarhus Universitet. https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport141_2.pdf

Strandmark, L., Nielsen, L.K., Erichsen, E.H. og Pedersen, A.B., 2004. Samfundsøkonomisk analyse af spildevandsafgiften – revideret udgave, Miljøprojekt nr. 976, Kbh: Miljøstyrelsen.

<https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2004/87-7614-503-4/pdf/87-7614-504-2.pdf>

Thomsen, M, Ottosen, T & Nyrup Drejer, L 2015, Analyse af potentialer for ressourceudnyttelse i vand- og spildevandsforsyningen. Miljøministeriet, Naturstyrelsen. 978-87-7091-954-8.

<https://ecoinnovation.dk/media/130961/analyse-af-potentialer-for-ressourceudnyttelse-i-vand-og-spildevandsforsyningen.pdf>

Thomsen, M., 2016. Wastewater treatment and discharge, Scientific Report from DCE no. 193, Aarhus University: Danish Centre for Environment and Energy.

Thorsøe, M., Andersen, M.S., Brady M.V., Graversgaard, M., Kilis, E., Pedersen, A.B., Pitzén, S. and Valve, H. et. al., 2021, Promise and performance of agricultural nutrient management policy to protect the Baltic Sea, Accepted for publication in Ambio.

Vinther, F.P. Kristensen I.S. og Sørensen, P., 2012. Notat om effekt af udnyttelsesprocent for afgasset gylle, Aarhus Universitet: DCA.

Om projektet ”Fremtidens landbrug 2.0: Recirkulation af fosfor”

Rådet for Grøn Omstilling (tidligere Det Økologiske Råd) har i samarbejdet med forskere og eksperter gennemført projektet *Fremtidens Landbrug* i perioden 2012 til 2021. I perioden 2017–2021 har de arbejdet på at udbrede den tværfaglige analyse og de konkrete løsningsforslag til også at omfatte fosforproblematikken. Arbejdet har været centreret omkring de to hovedoverskrifter – fosfor-ressourcen og forureningen med fosfor.

Et overskud i fosforkredsløbet skaber problemer for natur og vandmiljø i de udviklede lande, mens mangel på fosfor er en barriere for en øget fødevareproduktion i udviklingslande. Samtidig er fosfor en begrænset ressource, der forventes at være brugt op indenfor en begrænset årrække. Problemet er yderligere forstærket af, at vi risikerer en afhængighed af fosfor fra Marokko, der har et relativt højt indhold af det sundhedsskadelige tungmetal cadmium.

Behovet for at øge den globale fødevareproduktion til en voksende verdensbefolkning, gør derfor de svindende fosforressourcer til et globalt problem. Projektet fokuserer derfor på, hvordan bæredygtige danske løsninger kan medvirke til at løse de globale bæredygtigheds-målsætninger.

Projektet opererer med et scenarie med to målsætninger:

- Udfasning af fosfor-import i proteinfoder
- Udfasning af import af mineralsk fosforgødning

Hermed tænkes den danske animalske produktion reduceret til, hvad der svarer til potentialet for dansk foderproduktion, herunder en erstatning af sojaprotein med alternative proteinkilder, f.eks. græsprotein.

Fosforproblematikken er fortsat relateret til helhedsanalysen fra første del af projektet med fokus på synergiløsninger. Det primære fokus på bedre fordeling af fosforressourcerne vil dermed også indbefatte løsninger, der kan sænke udslip af klimagasser, forbedre vandmiljø og jordfrugtbarhed, mindske skader på biodiversitet og menneskelig sundhed samt forbedre den økonomiske bæredygtighed.

Læs mere om projektet *Fremtidens Landbrug* på www.fremtidenslandbrug.dk og om Rådet for Grøn Omstillings arbejde omkring landbrug på <https://rgo.dk/vi-arbejder-for/landbrug-i-balance/>

Projektet er støttet af Velux-Fonden.