

effekten af tripelsuperfosfat (TSP), på jorde med meget lav fosfortilgængelighed.

Restprodukter er således et godt alternativ til mineralsk fosfor til vedligeholdelse af jordens fosforstatus. Da nogle af produkterne har en høj førsteårsudnyttelse, kan der være potentiale i anvendelse på arealer med så lav fosforstatus, at der er behov for en stor førsteårs effekt.

Flerårseffekten af såvel fosfor i tripelsuperfosfat som restprodukter er beskeden. Der er observeret en lidt større eftervirkning af restprodukter end af tripelsuperfosfat, men effekten er mindre, end der opnås af tilført handelsgødning i det akutte år.

I 2013 blev der påbegyndt et GUDP-projekt for at belyse fosforvirkningen af forskellige restprodukter og for at finde fosforkilder, som kan erstatte indkøb af fosfor. Projektet gennemføres i samarbejde med blandt andet Aarhus Universitet, HedeDanmark og Eurofins Steins (se Oversigt over Landsforsøgene 2014, s. 258-260 samt 2015, s. 238-241). Forsøgene omfatter traditionelle landsforsøg kombineret med mere detaljerede forskningsforsøg, hvor følgende restprodukter er afprøvet: Slam (jern- og aluminiumfældet), struvit, kildesorteret organisk dagrenovation (komposteret), NovoGro, biochar fra dyrekogler og halmaske. Restprodukterne er afprøvet ved en dosering af fosfor på 60 kg pr. ha inden såning af vårbyg. Der er registreret første og andet års udbytte, fosforoptagelse i afgrøden gennem vækstsæsonen og ændring i jordens fosforindhold. I et enkelt forsøg er der udbyttemåling tredje år efter tildeling af restprodukterne. For at isolere fosforeffekten indgår der en blok B med tilførsel af 60 kg fosfor i tripelsuperfosfat pr. ha til alle behandlinger. Forsøgsplan for fosfortildeling er vist i tabel 37.

Eftervirkningsforsøg samt opsamling på tre års forsøg med fosfor fra restprodukter til vårbyg

Tre års forsøg med afprøvning af fosforvirkningen i forskellige restprodukter viser, at struvit, slam, komposteret husholdningsaffald og halmaske har en første års udbytteeffekt i vårbyg, svarende til 40 til 100 procent af fosfor-

TABEL 37. Forsøgsplan for dosering af fosfor.

Vårbyg	Blok A: Uden ekstra P			Blok B: + ekstra P i TSP		
	Kg P pr. ha, år 1	Kg P pr. ha, år 2	Kg P pr. ha, år 3	Kg P pr. ha, år 1	Kg P pr. ha, år 2	Kg P pr. ha, år 3
1. Ugødet med P	0	0	0	60	0	0
2. Tripelsuperfosfat	20	20	0	80	0	0
3. Tripelsuperfosfat	40	40	0	100	0	0
4. Tripelsuperfosfat	60	60	0	120	0	0
5. 60 P i slam 1 ¹⁾	60	0	0	60+60	0	0
6. 60 P i slam 2 ¹⁾	60	0	0	60+60	0	0
7. 60 P i struvit	60	0	0	60+60	0	0
8. 60 P i kompost (KOD)	60	0	0	60+60	0	0
9. 60 P i NovoGro i 2014	60	0	0	60+60	0	0
9. 60 P i halmaske i 2015	60	0	0	60+60	0	0
10. 60 P i biochar i 2014	60	0	0	60+60	0	0

¹⁾ Slam 1 er fældet med jern. Slam 2 er fældet med aluminium.

Der er søgt efter forsøgsarealer med lave fosfortal for at få et målbart udslag for tilførsel.

Der er udtaget et meget stort antal jord- og planteanalyser på parcel- og ledniveau, i alle forsøg. Blandt andet er der udtaget jordprøver før såning og efter høst for at undersøge effekten af restprodukterne på jordens fosforstatus, ligesom der er udtaget planteprøver i løbet af foråret og i høst for at undersøge koncentrationen af fosfor i planterne ved forskellig fosforgødskning.

Markforsøgene suppleres af et stort antal pottforsøg og en statistisk analyse, der udføres ved Aarhus Universitet, og som endnu ikke er afsluttet.

I 2016 er der gennemført to eftervirkningsforsøg og målt udbytte i et tredje års forsøg.

Forsøgsbehandlinger

Der er i alt gennemført fire første års forsøg, fire andet års forsøg og et tredje års forsøg. Vårbyg er gennemgående afgrøde i alle forsøg og år.

I forsøgene med måling af første års virkning blev der i to forsøg i 2014 udbragt følgende restprodukter: Henholdsvis jern- og aluminiumfældet slam, struvit, kildesorteret organisk dagrenovation, NovoGro og biochar fra dyrekogler, mens der i de to første års forsøg i 2015 ikke blev udbragt NovoGro og biochar, men derimod halmaske. Doseringen på 60 kg fosfor pr. ha er beregnet ud fra analyser af de forskellige produkter og giver en udbringningsmængde varierende fra 580 kg struvit pr. ha til godt 10 ton aluminiumfældet slam pr. ha. Produkterne er udbragt og nedpløjet umiddelbart før såning, og forsøgene er suppleringsgødsket med 140 kg kvælstof, 60 kg kalium og svovl for at isolere fosforeffekten af produkterne, da de indeholder forskellige mængder af øvrige næringsstoffer.

Som reference er der forsøgsled med stigende tilførsel af fosfor, fra 0 til 60 kg pr. ha tilført i tripelsuperfosfat. Med 60 P i blok B betyder det, at referencekurven udvides til 120 kg fosfor pr. ha i første års forsøgene.

I andet års forsøgene tilføres stigende fosfor i tripelsuperfosfat i referenceleddene i blok A led (0 til 60 kg fosfor pr. ha i forsøgsled 1 til 4). Denne referencekurve afspejler praksis, hvor der ikke er anvendt organisk gødning, og afgrødernes behov dækkes gennem en årlig fos-

Anvendte restprodukter

Spildevandsslam fældet med jern eller aluminium

Fosfat danner tungtopløselige forbindelser med de fleste metalioner, som anvendes for at fjerne fosfor fra spildevand. Ved tilsætning af jern- eller aluminiumchlorid udfældes fosforen som fosfat (FePO_4 eller AlPO_4), der bindes til slammet. Der er testet slamtyper fra to forskellige rensningsanlæg, der anvender kemisk fældning med henholdsvis jern og aluminium.

Struvit

Fosfor kan under rensning af spildevand udfældes som struvit (MgNH_4PO_4) ved tilsætning af ammonium og magnesium, inden slammet bliver udfældet. Reaktionen er meget effektiv og kan reducere fosforindholdet i slam med op til 95 procent. Den udfældede struvit er meget ren og fri for tungmetaller og lignende og kan anvendes på krystallform eller granuleres og udbringes som anden mineralisk gødning.

Kompost (KOD)

Komposten består af 50 procent kildesorteret, organisk dagrenovation, 25 procent have-/parkaffald og 25 procent sigterest fra dagrenovationskompost. Komposten indeholder 7 kg fosfor pr. ton og godt det dobbelte i organisk kvælstof.

NovoGro

NovoGro er et biprodukt fra fremstilling af enzymer og insulin. Produktionen er baseret på gæring af landbrugsprodukter som sukker, soja og majsmelet og indeholder 7 kg kvælstof pr. ton, 3,6 kg fosfor pr. ton og 12 procent calciumcarbonat (kalk).

Biochar fra dyrekogler (Animal Bone Char)

Biochar fra dyrekogler er fremstillet ved pyrolyse af kød- og benmel. Pyrolyse er en næsten iltfri forbrænding. Herved afdamper det organiske materiale, og restproduktet består af cirka 70 procent tricalciumfosfat eller hydroxylapatit ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), der kan anvendes som fosforgødning. Resten udgøres hovedsageligt af kulstofforbindelser.

Halmaske

Den anvendte aske er biobundaske fra Måbjergværket, som indeholder 23 kg fosfor pr. ton og 100 kg kalium.

fortilførsel. I blok B tilføres ikke yderligere fosfor, og blok B referencekurven afspejler således andet års virkningen af tilført fosfor i tripelsuperfosfat i intervallet 60 til 120 kg fosfor pr. ha. Forsøgene er gødet med rigelige mængder kvælstof, kalium og svovl.

Tredje års forsøget er kun tilført kvælstof, kalium og svovl.

Statistisk analyse

Forsøgsdesignet er forskelligt fra almindelige fuldt randomiserede forsøg, idet gentagelserne er inddelt i blokke med parvise behandlinger i blok A og B (split-blok design). Der er gennemført en særskilt statistisk analyse for at undersøge effekten af fosfortypen på kerneudbytte, fosforudbytte og Pt efter høst samt fosforkoncentrationen i planteanalyserne. I den følgende resultatopgørelse er der taget udgangspunkt i denne statistiske analyse for disse parametre. I første og andet års forsøgene gengives de samlede resultater af de fire forsøg i hver kategori, som viser statistisk sikre sammenhænge. Udbytteresultatet af tredje års forsøget gengives, selv om der ikke er signifikante forskelle mellem behandlingerne på ledniveau, men mellem blok A og B.

Resultater af førsteårsforsøgene

Forsøgsresultater for enkeltforsøg er vist i Oversigt over Landsforsøgene 2014 og 2015. Resultaterne er meget varierende mellem forsøgene, idet fosforresponsen går fra næsten ingen effekt til et signifikant merudbytte på

op til 17 hkg kerne pr. ha i et forsøg i Nordjylland på kold, hævet havbund med et lavt fosfortal på arealet. To af forsøgene, begge beliggende i Nordjylland på samme mark, havde udtalt udbytterespons for fosfor, både visuelt gennem dyrkningssæsonen og i det målte merudbytte. I de to øvrige forsøg i Østjylland lå udbytteresponsen for fosfortilførsel inden for 0 til 3 hkg kerne pr. ha. I tabel 38 vises resultaterne af alle fire første års forsøg for de otte forsøgslod, som går igen i alle fire forsøg.

Forsøgene viser, at der blev opnået signifikante merudbytter for tilførsel af stigende mængde fosfor. Hvis hele merudbyttet for affaldsprodukterne tillægges en fosforeffekt, kan det beregnes at struvit havde en fosforvirkning på næsten 100 procent, mens fosfor i slam fældet med jernforbindelser kun havde en effekt på 25 procent af effekten af tripelsuperfosfat, aluminiumfældet slam en effekt på 76 procent og kompost en fosforeffekt på 63 procent. Effekten af ekstra tilførsel af fosfor i blok B var signifikant og stammer langt overvejende fra forsøgene i Nordjylland. I ét forsøg i Nordjylland i 2015 var udslaget for fosfor meget stort, hvorfor beregning af fosforeffekt af affaldsprodukterne er sikrest i dette forsøg. Resultaterne af effektberegningen af fosfor i dette forsøg er vist i tabel 39.

I tabel 40 ses resultaterne af planteanalyser, udtaget i foråret ved vækststadiet 20. Koncentrationen af kvælstof og fosfor steg med stigende tilførsel af fosfor, ligesom restprodukterne havde en positiv effekt på indholdet.

TABEL 38. Første års virkning af fosfor i restprodukter til vårbyg. (N26)

Vårbyg	Blok A: Uden ekstra P					Beregnet fosforeffekt i forhold til tripelsuperfosfat, pct.
	Kar. for vitalitet st. 20	Kar. for lejesæd ved høst ¹⁾	Pct. råprotein i tørstof	Udbytte, kg P pr. ha	Udb. og merudb., hkg kerne pr. ha	
2014-2015. 4 forsøg						
1. 0 P i tripelsuperfosfat	4	0	11,2	16,4 a	55,6 a	
2. 20 P i tripelsuperfosfat	8	1	11,4	18,3 bcd	2,0 abc	
3. 40 P i tripelsuperfosfat	8	1	11,3	17,5 ab	3,9 bcd	
4. 60 P i tripelsuperfosfat	8	1	11,2	19,0 bcde	5,8 d	
5. 60 P i slam 1 ²⁾	6	1	11,6	18,1 abc	1,4 ab	24
6. 60 P i slam 2 ²⁾	8	1	11,6	18,2 bcd	4,4 cd	76
7. 60 P i struvit	7	1	11,6	21,0 fg	5,8 d	100
8. 60 P i kompost (KOD)	7	1	11,5	18,2 bcd	3,7 bcd	64
LSD				1,8	2,9	

	Udbytte, hkg kerne	Nedre konf.int.	Øvre konf. int.	Sign. grp.	
Blok A	58,7	33,2	84,2	a	
Blok B: + 60 P i tripelsuperfosfat	63,6	38,1	89,1	b	

¹⁾ Skala 0-10, 0 = ingen lejesæd.
²⁾ Slam 1 er fældet med jern. Slam 2 er fældet med aluminium.

TABEL 39. Første års virkning af fosfor i restprodukter i forhold til tripelsuperfosfat. (N26)

Vårbyg, forsøg 1	Værdital for P	95 pct. konfidensinterval	
Jernfældet slam	45	25	65
Aluminiumfældet slam	59	37	81
Struvit	100	68	138
Kompost (KOD)	42	23	62
Halmaske	40	21	59

TABEL 40. Planteanalyser fra udtagning i vækststadiet 20 i forsøg med første års virkning af fosfor i restprodukter. (N26)

Planteanalyser, juni	N, pct. i TS	P, pct. i TS	K, pct. i TS	Mg, pct. i TS	Mo, ppm i TS	Mn, ppm i TS
<i>2014-2015. 4 forsøg</i>						
0 P i tripelsuperfosfat	4,6	0,21	3,5	0,12	0,46	48
20 P i tripelsuperfosfat	4,8	0,22	3,1	0,11	0,47	54
40 P i tripelsuperfosfat	4,9	0,25	3,4	0,10	0,47	54
60 P i tripelsuperfosfat	5,0	0,25	3,4	0,12	0,45	48
60 P i slam 1 ¹⁾	5,0	0,22	3,5	0,13	0,44	54
60 P i slam 2 ¹⁾	5,1	0,24	3,4	0,13	0,56	55
60 P i struvit	4,9	0,23	2,9	0,16	0,64	55
60 P i kompost (KOD)	5,3	0,22	3,3	0,14	0,68	52

¹⁾ Slam 1 er fældet med jern. Slam 2 er fældet med aluminium.

For magnesium fandtes den højeste koncentration ved udbringning af struvit, som indeholder 10 procent magnesium. (Der er således udbragt omkring 60 kg pr. ha i forsøgsled 7.) Molybdæn forekom i højest koncentration i forsøgsled med aluminiumfældet slam, struvit og kildesorteret organisk affald, mens koncentrationen af mangan var på samme niveau for alle behandlinger.

Resultater af eftervirkningsforsøgene

I året efter udbringning af restprodukter blev der tilført stigende mængder fosfor i tripelsuperfosfat til forsøgs-

led 2 til 4, mens de øvrige forsøgsled ikke blev tilført fosfor. Se tabel 37.

I tabel 41 ses resultaterne af de fire eftervirkningsforsøg.

Der er opnået en signifikant effekt af tilførsel af 60 kg fosfor i tripelsuperfosfat til forsøget. Der kunne ikke registreres eftervirkning af fosfor tilført med tripelsuperfosfat i første forsøgsår selv op til en mængde på 120 kg fosfor pr. ha. Der blev heller ikke registreret en signifikant eftervirkning af restprodukter i blok A uden tilførsel af tripelsuperfosfat året før. Der var en tendens til eftervirkning af restprodukterne, hvor de er afprøvet i kombination med tilførsel af 60 kg fosfor i tripelsuperfosfat året før. På forsøgsarealet i Nordjylland, hvor der var meget stor fosforrespons i første forsøgsår i 2015, viser resultaterne samme tendens, som fremgår af alle fire forsøg med eftervirkning som vist i tabel 41.

I et forsøg med udbringning i 2014 (07-008-1415) blev der som gennemsnit opnået størst eftervirkning af NovoGro, men det er ikke signifikant, og forskellene er små.

Tredje års virkning

Forsøgsarealet i Nordjylland med stor fosforrespons er høstet forsøgsmæssigt i 2016. Udbyttet er gengivet i tabel 42. Der ses ikke signifikante udbytteforskelle mellem behandlingerne, men de højeste merudbytter er opnået i forsøgsled med slam og kan afspejle en eftervirkning af fosfor og organisk bundet kvælstof.

Derimod ses der en signifikant blokeffekt, idet udbyttet er signifikant større i blok B, hvor der er tilført 60 kg fosfor mere ved forsøgsstart i 2014.

TABEL 41. Andet års virkning af fosfor i restprodukter til vårbyg. (N27)

Vårbyg	Blok A: Uden ekstra P				Blok B: + 60 P i år 1
	P i pl.analyse st. 34, pct. i TS	Kar. for lejesæd ved høst ¹⁾	Pct. råprotein i tørstof	Udb. og merudb., hkg kerne pr. ha	Udb. og merudb., hkg kerne pr. ha
<i>2015-2016. 4 forsøg.</i>					
1. 0 P i tripelsuperfosfat ³⁾	0,31 a	0	10,6	50,2 abcde	49,6 bde
2. 20 P i tripelsuperfosfat ³⁾	0,32 a	0	10,6	7,1 acf	2,5 abcde
3. 40 P i tripelsuperfosfat ³⁾	0,32 a	0	10,5	6,2 abcdf	-2,3 e
4. 60 P i tripelsuperfosfat ³⁾	0,35 b	1	10,4	9,2 f	-0,1 bde
5. 60 P i slam 1 ²⁾	0,33 ab	0	11,1	0,6 abcde	5,0 abcdef
6. 60 P i slam 2 ²⁾	0,30 a	0	10,9	-0,1 abe	5,5 cdf
7. 60 P i struvit	0,30 a	0	10,7	2,0 abcde	4,0 abcdef
8. 60 P i kompost (KOD)	0,31 a	0	11,1	3,2 abcdef	2,6 abcde
LSD					7,9

¹⁾ Skala 0-10, 0 = ingen lejesæd.

²⁾ Slam 1 er fældet med jern, Slam 2 er fældet med aluminium.

³⁾ Tilførsel af tripelsuperfosfat kun i blok A.

TABEL 42. Tredje års effekt af tilførsel af restprodukter og fosfor i triplesuperfosfat. Forsøget er ikke tilført fosfor i tredje forsøgsår. (N28)

Vårbyg	Blok A: Samme P i led 1-4 i 2014 og 2015				Blok B: + 60 P i triplesuperfosfat i 2014			
	Kar. for lejesæd ved høst ¹⁾	Pct. råprotein i tørstof	Udbytte, kg N i kerne pr. ha	Udb. og merudb., hkg kerne pr. ha	Kar. for lejesæd ved høst ¹⁾	Pct. råprotein i tørstof	Udbytte, kg N i kerne pr. ha	Udbytte og merudb., hkg kerne pr. ha
2016. 1 forsøg								
1. 0 P i triplesuperfosfat	1	11,2	87	57,4	1	11,2	90	58,9
2. 20 P i triplesuperfosfat	1	11,2	90	1,7	1	11,1	87	-1,2
3. 40 P i triplesuperfosfat	1	11,1	86	-0,2	1	10,5	84	-0,1
4. 60 P i triplesuperfosfat	1	10,7	84	0,2	1	10,8	88	1,1
5. 2014: 60 P i slam 1 ²⁾	1	11,3	91	1,6	1	11,5	92	0,0
6. 2014: 60 P i slam 2 ²⁾	1	11,6	97	3,9	1	11,6	94	0,8
7. 2014: 60 P i struvit	1	11,7	93	0,8	1	11,5	92	-0,4
8. 2014: 60 P i kompost (KOD)	1	11,1	86	-0,4	1	11,2	92	1,6
9. 2014: 60 P i NovoGro	1	11,4	90	0,6	1	11,0	93	3,3
10. 2014: 60 P i biochar fra dyrekugler	1	10,9	84	-0,8	1	11,1	90	1,0
LSD				ns				ns

	Udbytte, hkg kerne	Nedre konf. int.	Øvre konf. int.	Sign. grp.
Blok A	58,1	57,1	59,1	a
Blok B: + 60 P i triplesuperfosfat	59,5	58,5	60,5	b

¹⁾ Skala 0-10, 0 = ingen lejesæd.
²⁾ Slam 1 er fældet med jern. Slam 2 er fældet med aluminium.

Sådan anvendes restprodukter

Mange restprodukter kan med fordel anvendes på landbrugsjord, hvis de overholder grænseværdier for tungmetaller og andre miljøfremmede stoffer og ikke giver anledning til forurening med plastik o.l.

Mange restprodukter har et højt fosforindhold og giver produktet en gødningsmæssig værdi. Tilgængeligheden af fosfor i restprodukter kan være betydeligt lavere end i fosfor i handelsgødning. Deklarationen bør derfor indeholde informationer om tilgængeligheden af fosfor i produktet.

På arealer med lav fosforstatus, hvor der kan forventes mangel på fosfor, hvis afgrøden ikke tilføres let tilgængelig fosfor, skal tilførsel af fosfor i restprodukter, suppleres med tilførsel af fosfor i handelsgødning, hvis fosfor i restproduktet er tungtopløseligt.