

Fosforgjødsling bestemt av P-AL

Annbjerg Øverli Kristoffersen¹ & Anne Falk Øgaard²

¹NIBIO Korn og frøvekster, Apelsvoll, ²NIBIO Jordressurser og arealbruk, Ås
annbjorg.kristoffersen@nibio.no

Siden 2007 har det blitt jobbet systematisk med fosfornormene i landbruket. Det ble gjennomført en normreduksjon til korn, gras, potet og grønnsaker. For korn og gras lå prinsippet om balansegjødsling til grunn for normreduksjonen (Kristoffersen *et al.* 2008). Innen ulike grønnsakskulturer har arbeidet med fosfornormene pågått frem til 2018.

For korn ble fosfornormen redusert med 0,6 kg P/daa; fra 2 til 1,4 kg P/daa for 400 kg korn/daa. For gras ble normen redusert fra 2,1 til 1,6 kg P/daa for 470 kg TS/daa. For potet ble normen redusert fra 4,5 til 3,5 kg P/daa for 3 t/daa. For grønnsaker er det ulike normer for ulike vekster, men i snitt er det ca. 40 % lavere fosforanbefaling til grønnsaker med de nye normene (Riley *et al.* 2012).

I tillegg til reduksjonen i fosfornormen, ble det større korreksjon av fosforgjødselmengden utfra jordas fosforstatus. Jord med høye P-AL-verdier utgjør en betydelig forurensningskilde for vann og vassdrag. P-AL 5-7 anses som optimalt nivå når det skal tas hensyn til både plantedyrking og miljø. Ved dette nivået anbefales det å gjødsle korn og gras etter balanse, det vil si gjødsle med like mye fosfor som det som fjernes med avlingen. Ved P-AL 7-14 kan jorda dekke en del av plantenes behov, og ved P-AL >14 kan jorda dekke hele fosforbehovet. For at fosforinnholdet i jorda skal nærme seg det optimale nivået, anbefales det svakere fosforgjødsling ved P-AL høyere enn 7. Ved P-AL over 14 er anbefalingen at fosforgjødsling kan utelates helt. Analysemetoden P-AL ekstraherer ca. 5-30 % av den totale mengden fosfor i jorda, avhengig av jordtype og P-AL-nivå. Flere forsøk i korn har vist relativt god sammenheng mellom avlingsrespons for fosfor og P-AL-nivå i jorda (Kristoffersen 2013). Resultatene har også vist at jorda i stor grad kan forsyne plantene med nok fosfor når P-AL er over 14.

Planterøttene tar opp fosfor fra jordvæska. Mengden fosfor i jordvæska er mye lavere enn plantenes

behov, kun 0,01-0,1 kg P/daa, og det er derfor behov for en etterfylling til jordvæska fra bundet fosfor gjennom vekstsesongen. Likevekten mellom løst fosfor og bundet fosfor styres av jordas evne til å binde fosfor og jordas fosformetningsgrad. Evnen til å binde fosfor er i stor grad styrt av jordas innhold av jern- og aluminiumoksider, pH og jordas redox-forhold. Innhold av jern- og aluminiumoksider er stabile parametere som endres lite over tid, men som kan variere betydelig mellom ulike jordtyper og også nedover i jordprofilen.

Fosformetningsgraden, det vil si hvor mye fosfor jordas bindingsplasser er fylt opp med, er en mye mer dynamisk parameter, og påvirkes av gjødslingspraksisen over år. Ved overskuddstilførsel av fosfor over mange år, øker fosformetningsgraden. Det er fordi bindingsplassene for fosfor på jordpartiklene fylles opp med fosfor. Det gjenspeiles i høyere P-AL-nivå i jorda. Høy fosformetningsgrad øker jordas evne til å forsyne plantene med fosfor, men utgjør samtidig en høy risiko for uheldige tap av fosfor til vann og vassdrag. Det er årsaken til at P-AL bør ligge i det optimale nivået, og ikke langt over. Både normendringene og endringene i korrigering ut fra jordas P-AL-nivå har som mål å redusere P-AL mot det optimale nivået. Redusert fosforgjødsling bidrar ikke bare til redusert fosfortap til vassdrag, men også mindre sløsing med de begrensede ressursene av fosfatstein som brukes til produksjon av fosfor til mineralgjødsel.

Fosfornormene og korrigeringen av gjødselmengde ut fra P-AL gjelder for tilførsel av all type gjødsel, både mineralsk og organiske gjødselslag. Men det er en større utfordring å klare å tilpasse fosforgjødslingen ut fra forventet behov hvis det benyttes mye husdyrgjødsel i omløpet. Da er tilførselen av fosfor i stor grad styrt av mengden husdyrgjødsel som må spres og fosforkonsentrasjonen i denne. Ved bruk av husdyrgjødsel, vil det svært sjelden være behov for tilførsel av mineralsk fosfor.

Det har vært en del usikkerhet rundt riktigheten av at det ikke er behov for fosforgjødsling når P-AL er over 14 (Bechmann *et al.* 2018). Usikkerheten gjelder spesielt for enkelte jordtyper som siltjord. For ytterligere dokumentasjon av jordas evne til å forsyne plantene med fosfor ved høye P-AL-tall, ble det derfor i 2015 startet opp et prosjekt hvor målet blant annet var å se på avlingseffekten av fosforgjødsling til korn ved høye P-AL-verdier. Prosjektet har vært finansiert av Landbruksdirektoratets Klima- og miljøprogram, og har gått over tre år.

Gjennomføring av forsøk

Forsøkene ble gjennomført av NLR Øst, NLR Østafjells og NLR Viken (tabell 1). Feltene ble plassert på jord med P-AL > 14. Det var tre gjødslingsledd; uten fosfor, 0,75 og 1,5 kg P/daa og tre gjentak. Alt fosfor ble tilført med Fullgjødsel®, med typene 22-2-12 og 20-4-11. For å balansere forsøksplanen med hensyn på N og K, ble det supplert med Opti-NK™. Det ble gjødslet med 10 kg N/daa og 5-5,3 kg K/daa, samt 1,2-1,4 kg S/daa på alle tre leddene. Før gjødsling ble det tatt ut rutevise jordprøver i matjordlaget. Jordprøvene

ble målt med standard AL-analyse og for volumvekt, pH og glødetap. Gjennomsnittsverdier for de enkelte feltene er vist i tabell 2. I tillegg ble det målt innhold av vannløselig fosfor (ekstrahert med 0,0025 M CaCl₂-løsning). I forsøkene ble det sådd Brage, som er en halvtidlig 6-rads byggsort, på samtlige felt unntatt ett, som ble sådd med Bjarne vårhvete.

For å få en bedre dokumentasjon på fosforopptaket gjennom vekstsesongen, ble det tatt ut planteprøver på 4 rader x 0,5 m ved begynnende strekking (stadium 31) og begynnende skyting (stadium 49). Prøvene ble tørket, og analysert for innhold av en rekke næringsstoffer, blant annet N, P og Zn.

Forsøkene ble behandlet som åkeren rundt med hensyn på ugras- og soppbekjempelse. Feltene ble høstet med forsøksresker, og det ble gjennomført standard kvalitetsanalyser på kornet.

Tabell 1. Sted, jordart, sådato og høstedata for forsøkene

Felt	År	Sort	Sted	Jordart	Sådato	Høstedata
1	2015	Brage	Romerike	Silt	15. mai	8. sept.
2	2016	Brage	Bjørkelangen	Siltig lettleire	12. mai	31. aug.
3	2016	Brage	Eidsvoll	Siltig lettleire	8. mai	24. aug.
4	2016	Brage	Modum	Silt	11. mai	2. sept.
5	2017	Brage	Kløfta	Siltig lettleire	9. mai	3. sept.
6	2017	Brage	Nes, Akershus	Silt	8. mai	24. aug.
7	2017	Bjarne	Stokke	Siltig sand	3. mai	18. sept.

Tabell 2. Gjennomsnittsverdier for jordprøver tatt ut ved anlegg av feltene

Felt	År	Volumvekt kg/l	pH	P-AL	K-AL	Mg-AL	Ca-AL	Glødetap %
				mg/100 g				
1	2015	1,2	7,0	17,3	16	27	197	5,5
2	2016	1,3	5,8	13,3	22	33	130	9,2
3	2016	1,4	5,8	17,3	13	4	73	4,1
4	2016	1,2	5,8	14,8	28	10	77	5,7
5	2017	1,3	6,6	23,9	16	11	192	5,5
6	2017	1,1	6,1	33,2	22	13	105	6,2
7	2017	1,2	6,9	19,2	14	18	131	4,4

Resultater

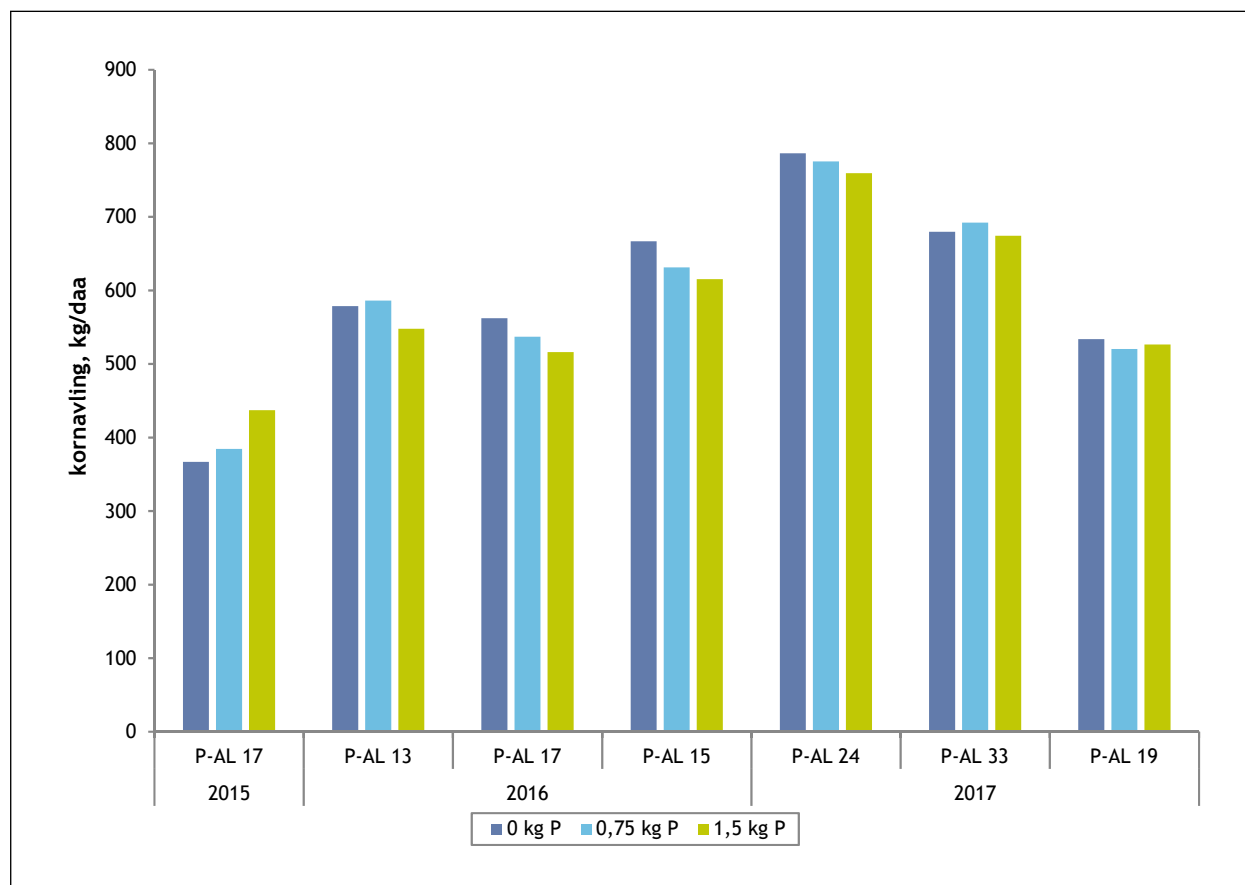
Avling

Avlingstallene i tabell 3 viser at det var ingen forskjeller på avlingsnivået mellom de ulike leddene. Det var like høy avling på leddet som ikke ble gjødslet med fosfor, som på leddene som ble gjødslet med 0,75 eller 1,5 kg P/daa. Dette bekrefter anbefalingen om at på jord med P-AL over 14 er det ikke behov for fosfor i gjødsel.

Resultatene fra enkeltfeltene er vist i figur 1. Statistisk var det ingen sikre utslag for de ulike gjødslingsleddene på enkeltfeltene, unntatt på feltet i 2015, hvor det var positiv respons for fosforgjødsling. Dette året ble det brukt dårlig såkorn, som hadde meget lav spireevne. Dette er årsaken til den lave avlingen på dette feltet, og kan også være grunnen til responsen for fosfor. Figuren viser store variasjoner i avlingsnivået, fra rundt 400 kg korn/daa opp til nesten 800 kg korn/daa. Det viser at det er mulig å ta svært høye avlinger, selv uten fosforgjødsling, siden jorda

Tabell 3. Avling (kg/daa), vann % ved høsting, hl-vekt, protein %, 1000-kornvekt og fosfor (P) fjernet med kornavlingene. Sammenheng av 7 felt

P-gj. kg/daa	Vann % v/høsting	Avling kg/daa	Protein, %	1000-kv, g	Hl-vekt, kg	Fjernet P m/avling kg/daa
Uten P	18,3	596	10,8	40,9	69,7	2,0
0,75 kg P	18,3	589	10,9	41,2	69,7	2,0
1,5 kg P	17,9	582	10,7	41,0	69,7	2,0
P %	i.s	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.



Figur 1. Kornavling (kg/daa) ved ulike fosforgjødslinger på syv enkeltfelt i 2015-2017.

bidrar med fosfor når fosfornivået i jorda er høyt. Ved høyeste avling forsynte jorda plantene med 2,7 kg P/daa, bare til kornet.

Det var heller ingen forskjeller i kvalitetsparametrene. Proteininnholdet, 1000-kornvekta og hektolitervekta ble ikke påvirket av fosforgjødslingen. Modnings hastigheten, målt som vann% ved høsting, var også upåvirket av fosforgjødslinga (tabell 3).

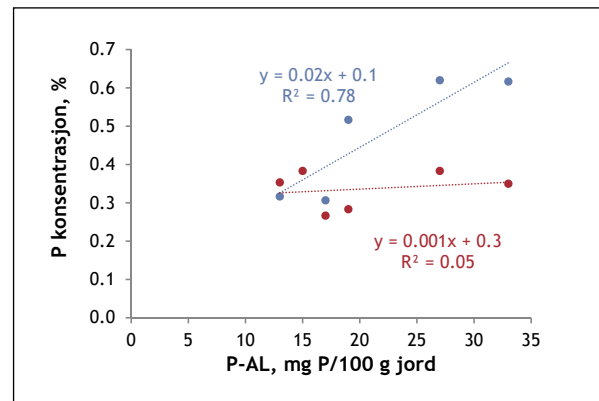
P-konsentrasjon i kornplantene gjennom vekstsesongen

Fosforkonsentrasjonen i kornplanter høstet ved begynnelsen av strekking (Z 31) og ved begynnelsen av skyting (Z 49) varierte fra 0,3-0,6 % P i tørrstoffet (tabell 4). Aasen (1986) har oppgitt intervallet 0,35-0,60 g P/100 g tørrstoff som normalt innhold av fosfor i kornplanter ved stadium begynnelsen av strekking. Fosforkonsentrasjonen i feltene lå derfor både i nedre og øvre sjikt av normalen. Det var ingen forskjeller i fosforkonsentrasjon i plantematerialet mellom ugjødsla og gjødsla ledd ved disse to tidspunktene (tabell 4).

Tabell 4. Fosforkonsentrasjon i kornplanter høstet ved begynnelsen av strekking (Z 31) og ved begynnelsen av skyting (Z 49) i 2016 og 2017. Gjennomsnitt av tre felt begge årene

	2016		2017	
	Z 31	Z 49	Z 31	Z 49
Uten P	0,31	0,33	0,58	0,34
0,75 kg P	0,31	0,33	0,59	0,35
1,5 kg P	0,30	0,33	0,60	0,35
P %	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.

Ved det første uttaket (Z 31) var det en positiv sammenheng mellom fosforkonsentrasjonen i kornplantene og P-AL-nivået i jorda. Fosforkonsentrasjonen i kornplantene økte med stigende P-AL (figur 2). Ved neste uttak, når plantene var kommet til begynnelsen av skyting, var denne sammenhengen forsvunnet. Da var det ingen sammenheng mellom fosforkonsentrasjon i kornplantene og P-AL-nivået i jorda (figur 2).



Figur 2. Sammenheng mellom P-AL i jorda og fosforkonsentrasjonen i plantematerialet. Blå prikker viser sammenhengen hos planter høstet på vekststadium 31, begynnelsen av strekking, mens røde prikker viser sammenhengen ved vekststadium 49, begynnelsen av skyting.

Sink-konsentrasjonen i kornplantene gjennom vekstsesongen

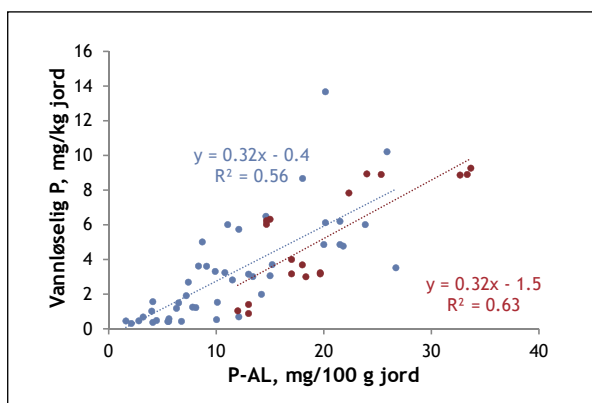
Høy tilførsel av fosfor kan føre til redusert sinkopptak, og vi undersøkte derfor om fosfortilførselen hadde effekt på plantenes sinkkonsentrasjon. Innholdet av sink i plantematerialet ble målt i plantene som ble høstet ved z 31 og z 49. Innholdet varierte fra 21 til 38 mg Zn/kg tørrstoff (tabell 5). Det er et komplisert spill mellom sink og fosfor (Marschner 2012), og vi fant ingen forskjeller mellom gjødslingsleddene. Innholdet lå innenfor intervallet Aasen (1986) har satt som normalt innhold, men i nedre del av intervallet.

Tabell 5. Sinkkonsentrasjon i kornplanter høstet ved begynnelsen av strekking (Z 31) og ved begynnelsen av skyting (Z 49) i 2016 og 2017. Gjennomsnitt av tre felt per år

	2016		2017	
	Z 31	Z 49	Z 31	Z 49
Uten P	34	33	37	21
0,75 kg P	31	32	37	21
1,5 kg P	28	30	38	21
P %	i.s.	i.s.	i.s.	i.s.

P-AL og vannløselig fosfor

I tillegg til P-AL, ble det målt vannløselig fosfor på alle forsøksrutene. Det var en tydelig sammenheng mellom vannløselig fosfor og P-AL (figur 3). I figur 3 er det også lagt inn målinger av P-AL og vannløselig fosfor gjennomført i andre forsøk. Figuren viser at det



Figur 3. Sammenheng mellom P-AL (mg P/100 g jord) og vannløselig P (mg P/kg jord). Punktene i rødt er fra forsøkene omtalt i denne rapporten. De blå punktene er fra undersøkelser gjennomført tidligere på jord fra viktige jordbruksområder i Norge (upublisert data).

er god sammenheng mellom målingene utført i denne serien, og tidligere målinger.

Innholdet av vannløselig fosfor økte med økende P-AL-nivå. Det skyldes at bindingsplassene for fosfor i jorda gradvis blir fylt opp over tid ved gjødsling med mer fosfor enn det som fjernes med avlingen. Dermed får jorda mindre evne til å holde på fosforet, og mer frigjøres til jordvæska. Dette er den viktigste årsaken til at fosforgjødsling kan og bør utelates ved høye P-AL-verdier. Jorda forsyner plantene med nok fosfor. Ved å utelate fosfor, vil det over lang tid skje en gradvis nedtapping av fosforreservene. Det vil gjøre jorda mindre sårbar for å tape fosfor til vann og vassdrag.

Oppsummering

Resultatene fra feltforsøkene viste at ved P-AL over 14 var det ikke behov for fosforgjødsling. Jorda forsynte plantene med nok fosfor til en avling på nesten 800 kg korn pr. daa på et av feltene. Kornavlingen på dette feltet inneholdt 2,7 kg P/daa. Det var ingen ytterligere avlingsøkning ved fosforgjødsling.

Kald siltjord nevnes ofte som årsak til at det gjødsles med fosfor selv om P-AL-tallene er høye. Resultatene fra disse feltforsøkene viser imidlertid at det heller ikke var respons på fosforgjødsling på siltjord. Tidligere målinger har vist at når jorda er lagelig for våronn, er temperaturen i siltjorda ikke lavere enn i andre jordtyper (Kristoffersen *et al.* 2005).

God agronomi som sikrer gode jordfysiske forhold for rotutvikling er nødvendig for effektiv utnyttelse av alle næringsstoffer. Fosfortilførsel bidrar ikke til bedre rotutvikling. Det er heller slik at planene investerer i mer røtter når fosfortilgangen er knapp for å få tak i mer fosfor. Dette resulterer i at forholdet mellom rotmasse og overjordisk plante-masse øker ved lav fosfortilgang.

For å senke P-AL i jorda til nivåer som gir en mindre risiko for miljøet, er det nødvendig med negative fosforbalanser over mange år. På samme måte som oppbygging av fosforinnholdet i jorda pågikk over flere tiår, vil det ta flere tiår før områdene med meget høyt innhold av fosfor vil være nede på mer akseptable nivåer. Å følge normen og korreksjonen for P-AL som ble innført i 2007/2008, er det viktigste tiltaket for å få redusert fosforinnholdet i jorda på skifter hvor nivået ligger for høyt.

Referanser

- Bechmann, M., Øgaard, A.F. & Veidal, A. 2018. Fosforgjødsling på arealer med meget høye fosforverdier - Landbruksrådgivningens forhold til gjødslingsanbefalingene. NIBIO Rapport 4(71). 35 s.
- Kristoffersen, A.Ø., Riley, H. & Sogn, T.A. 2005. Effects of P fertilizer placement and temperature on root hair formation, shoot growth and P content of barley grown on soils with varying P status. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 73:147-159.
- Kristoffersen, A.Ø., Hoel, B., Krogstad, T. & Øgaard, A. 2008. Reduserte fosfornormer til korn. *Bioforsk FOKUS* 3(1):50-51.
- Kristoffersen, A.Ø. 2013. Fosforgjødsling til vårkorn i forhold til P-AL-nivå i jorda. *Jord- og Plantekultur* 2013. *Bioforsk FOKUS* 8(1):138-143.
- Marschner, P. 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*, 3rd edn. Academic Press, Elsevier, USA.
- Riley, H., Stubhaug, E., Kristoffersen, A.Ø., Krogstad, T., Guren G. & Tajet, T. 2012. P-gjødsling til grønnsaker. Evaluering og nye anbefalinger. *Bioforsk Rapport* 7(68). 44 s.
- Aasen, I. 1986. Mangelsjukdomar og andre ernæringsforstyrningar hos kulturplanter. *Landbruksforlaget*. 96 s.