

Fosforgjødsling til vårkorn i forhold til P-AL-nivå i jorda

Annbjerg Øverli Kristoffersen
Bioforsk Øst Apelsvoll
annbjorg.kristoffersen@bioforsk.no

Innledning

Plantenes behov for fosforgjødsling er styrt av jordas evne til å levere fosfor. Det totale innholdet av fosfor i matjordlaget ligger i størrelsesorden 200-240 kg pr. daa, langt over kornplantenes behov som er rundt 1,0-2,0 kg P pr. daa. Innholdet av fosfor i jordvæsken, den fraksjonen røttene forsyner seg av, er i størrelsesorden 0,01-0,1 kg pr. daa, det vil si langt under plantenes behov. Plantene utnytter derfor en fraksjon mellom det totale fosforet, og det som er løst i vann.

På begynnelsen av 1900-tallet ble det jobbet mye med ulike analyser som kunne ekstrahere den andelen fosfor plantene nyttiggjør seg. Det ble gjennomført feltforsøk for å korrelere analysedataene med avlingsrespons for fosfor, og hvert enkelt land utarbeidet sitt eget system. I Norge ble AL-løsningen som ekstraksjonsmiddel valgt i 1960, og innholdet av plantetilgjengelig P har deretter blitt oppgitt som en P-AL-verdi.

En kornavling på 400 kg pr. daa fjerner i snitt 1,4 kg P pr. daa hvis halmen beholdes på jordet. Vanlig gjødslingspraksis for fosfor var i mange år å gjødsle til balanse, med et lite tillegg for å vedlikeholde og øke fosfornivået i jorda. På 40- og 50-tallet viste en rekke forsøk svært god respons for fosforgjødsling, også mengder over balansegjødsling. Innholdet av plantetilgjengelig fosfor i jorda var generelt lavt, så mye av det tilførte fosforet bandt seg etter hvert til jorda, og ble mindre tilgjengelig for planterøttene. Over flere tiår var det derfor en sakte oppbygging av fosforreservene i norsk jord, og også ellers i Europa.

På 80-tallet ble det fokusert på det høye fosforforbruket, og i løpet av 1980-årene ble forbruket av fosfor i mineralgjødsel halvert. Deretter ble det en ny halvering av forbruket fra 2008 til 2009. Denne halveringen er sammenfallende med innføring av nye fosfornormer til korn, og ny tolking av P-AL-verdiene.

I forbindelse med gjennomgangen av fosfornormene og tolkningen av P-AL-verdiene ble det i 2006 startet en flerårig forsøksserie for å skaffe mer kunnskap om fosforbehovet til korn, og for å se på utviklingen av P-AL-nivået i jorda over tid. Serien ble avsluttet i 2011.

Gjennomføringen av forsøkene har skjedd i samarbeid med enheter innen Norsk Landbruksrådgiving. Undersøkelsene ble finansiert av Statens landbruksforvaltning (SLF) og Yara Norge.

Materiale og metoder

Det ble startet opp fem felt i 2006. I 2008 ble serien supplert med ytterligere to felt (tabell 1). Da forsøkene startet ble det tatt ut jordprøver på samtlige ruter for å kartlegge variasjonen i jorda ved start. Deretter ble det tatt ut prøver hver vår for å se på eventuelle endringer i P-AL-verdier over tid.

Tabell 1. Oversikt over feltenes lokalisering, jordart samt middelverdi for pH, P-AL og K-AL (mg pr/100 g tørr jord) ved anlegg av feltene våren 2006 og 2008

Felt-nr.	Sted	Anlagt	Jordart	pH	P-AL	K-AL
1	Østfold 1	2006	Siltig mellomleire	6,3	18	25
2	Romerike 1	2006	Siltig mellomleire	6,2	7	28
3	Romerike 2	2006	Silt	6,1	11	12
4	Ringsaker	2006	Lettleire	6,0	7	9
5	Solør	2006	Sandig silt	6,2	7	17
6	Østfold 2	2008	Lettleire	6,6	5	15
7	Vestfold	2008	Siltig lettleire	5,7	14	18

Forsøksdesignet var blokkforsøk med 9 behandlinger og 3 gjentak. Behandlingene var stigende mengde fosfor, fra null til 2,5 kg P pr. daa (tabell 2). På ledd 2, 4, 8 og 9 ble fosforet gitt med Fullgjødsel[®],

Tabell 2. Forsøksplan for flerårig forsøk med ulik fosforgjødsling til vårkorn

Ledd	Gjødselplassering av P	Gjødseltype	P, kg/daa
1		OPTI-NK™	0
2	Radgjødset	Fullgjødsel®25-2-6 + OPTI-NK™ + Kaliumklorid	0,5
3	Start	OPTI START™ + OPTI-NK™	0,5
4	Radgjødset	Fullgjødsel® 21-4-10 + OPTI-NK™	1,0
5	Start	OPTI START™ + OPTI-NK™	1,0
6	Radgjødset	Fullgjødsel® 21-4-10 + OPTI-NK™	1,5
7	Radgj. + start	Fullgjødsel®25-2-6 + OPTI START™ + Kaliumklorid	1,5
8	Radgjødset	Fullgjødsel®17-5-13 + Axan	2,0
9	Radgjødset	Fullgjødsel®17-5-13 + Axan	2,5

Produkter merket TM er varemerke for Yara International ASA. Fullgjødsel® er et registrert varemerke for Yara International ASA

radgjødset mellom annen hver sårad og noe dypere enn såkornet. På ledd 3 og 5 ble fosforet gitt som startgjødset i OPTI START™ NP 12-23-0 sammen med såfrøet. På ledd 7 ble halvparten av fosforet gitt som startgjødset og halvparten radgjødset. Ledd 1 ble kun tilført NK-gjødsel. Alle feltene ble anlagt med forsøkskombisåmaskin som både sår og gjødsler i samme operasjon.

Alle leddene ble tilført lik nitrogenmengde (11 kg N pr. daa), videre tilnærmet lik mengde kalium (5,5 kg K pr. daa) og svovel (1,5 kg S pr. daa). For å balansere forsøket ble det brukt OPTI-NK™ 22-0-11, Kaliumklorid 0-0-49 og N-gjødsel (Axan 27-0-0).

Resultater

Middelavlinger for enkeltfelt

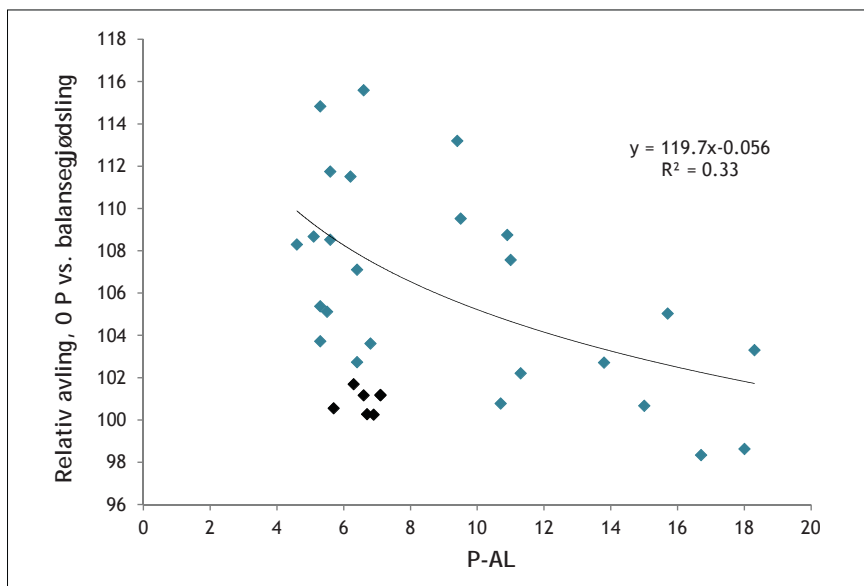
Middelavlingene for det enkelte felt for hele forsøksperioden viste at det gjennomgående var et høyt avlingsnivå (tabell 3), selv om det var store variasjoner fra år til år. Det varierte fra felt til felt om det var utslag for fosforgjødsling på avling. Et av feltene med P-AL 7 hadde ikke signifikante utslag for fosforgjødsling, og på et annet felt med P-AL 7 var det bare en tendens (P % = 8) til signifikant utslag. For feltet med P-AL 5 og det siste med P-AL 7 førte fosforgjødsling til signifikant avlingsøkning. Feltene med P-AL 14 og 18 gav, som forventet, ikke gitt signifikant utslag for fosforgjødsling. Derimot var det på feltet med P-AL 11 en signifikant effekt av fosforgjødsling på avling.

Tabell 3. Middelavling i kg korn pr. daa for hele forsøksperioden for det enkelte felt, sortert etter stigende P-AL-nivå

Ledd	P-AL v/ start:		Felt 6	Felt 4	Felt 5	Felt 2	Felt 3	Felt 7	Felt 1
	Plassering av P	P kg/daa	5	7	7	7	11	14	18
			4	5	6	5	6	3	4
Ledd	Plassering av P	P kg/daa	Avling kg korn pr. daa						
1		0,0	562	429	452	444	545	517	600
2	Radgjødset	0,5	576	439	465	474	562	499	612
3	Start	0,5	576	448	475	456	568	538	605
4	Radgjødset	1,0	570	438	471	474	569	521	605
5	Start	1,0	585	445	478	454	576	516	618
6	Radgjødset	1,5	589	441	480	463	586	530	608
7	Radgj. + start	1,5	588	455	489	456	587	532	621
8	Radgjødset	2,0	595	442	485	462	567	513	621
9	Radgjødset	2,5	608	445	491	462	588	547	620
P %			1,0	i.s.(8)	0,001	i.s.	0,001	i.s.	i.s.
LSD 5 %			21		15		20		

Avlingsutslag i forhold til jordas P-AL-nivå

Figur 1 viser sammenhengen mellom P-AL og avlingsutslag for fosforgjødsling for alle 7 feltene. P-AL-verdien ble målt på nullrutene på det enkelte felt det enkelte år. Avlingsutslaget ble beregnet i % av avlingsøkningen, som avlingsforskjellen mellom leddet som førte til balansegjødsling og leddet som ikke fikk fosfor. Mengden fosfor som trengs for å gjødsle til balanse avhenger av avlingsnivået, og varierte mellom 1,5 til 2 kg P pr. daa. Relativ avling på 100 % vil si ingen avlingsrespons for fosfor i forhold til leddet som ikke fikk fosfor. P-AL-nivået forklarte til en viss grad avlingsresponsen. Figuren



Figur 1. Sammenheng mellom P-AL og relativ kornavling ved gjødsling til balanse. Avling der det ikke er gjødslet med P er satt til 100. Data fra alle felt og alle år.

viser at ved P-AL over 13-14 var det som regel liten/ingen respons for fosfor. Ved P-AL 5-11 var det store variasjoner om fosforgjødsling førte til en avlingsøkning. For enkelte år og felt var det til dels betydelige utslag for fosforgjødsling, mens det andre år og felt ikke var utslag for fosforgjødsling.

Noen av punktene i figur 1 er markert som svarte. Det er punkter hvor det ikke er noe utslag for fosfor ved et optimalt P-AL-nivå. Ved dette P-AL-nivået anbefales det fosforgjødsling for å vedlikeholde P-AL-nivået i jorda, og fordi man i flere år får en sikker meravling ved å gjødsle med fosfor. I enkelte år vil man likevel ikke ha noen utslag på avling for fosforgjødsling. Årsakene kan være flere. For eksempel kan år med gode vekstbetingelser og tilfredsstillende vanntilgang gi gode forhold for rotvekst og høy mineraliseringsgrad. Under slike forhold kan effekten av P-gjødsling utebli, fordi jorda forsyner plantene med nok fosfor uavhengig av gjødselnivå.

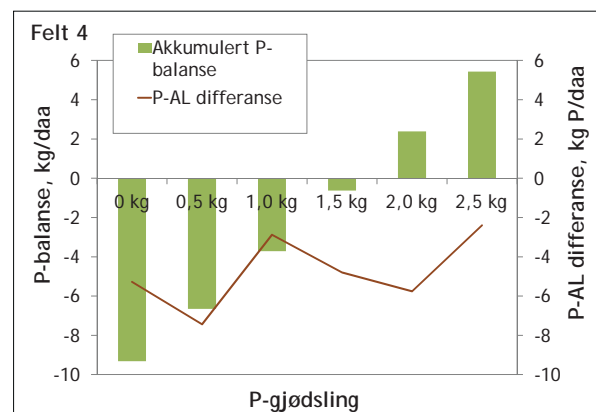
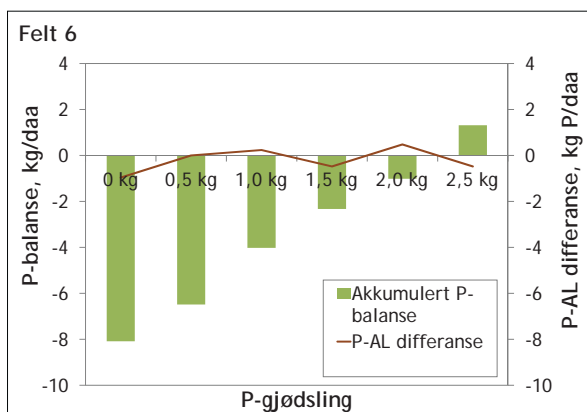
Den inntegnede trendlinjen, med tilhørende R^2 -verdi på 0,33, er basert på de åpne punktene. Punktene som er markert svarte, er utelatt.

Den inntegnede trendlinjen, med tilhørende R^2 -verdi på 0,33, er basert på de åpne punktene. Punktene som er markert svarte, er utelatt.

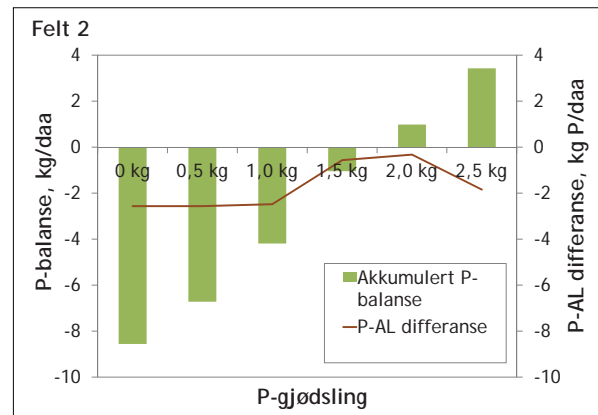
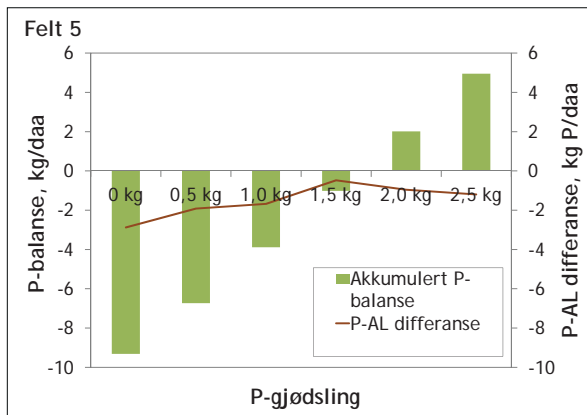
Akkumulert fosforbalanse og endring i P-AL fra start til slutt

Ved høye P-AL-nivå i jorda, er det klart ønskelig å kunne redusere innholdet av lett tilgjengelig fosfor.

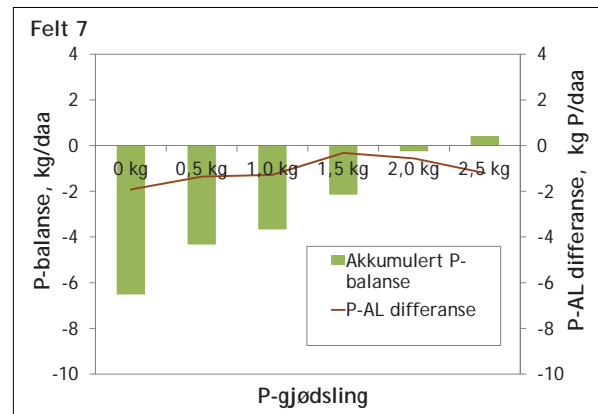
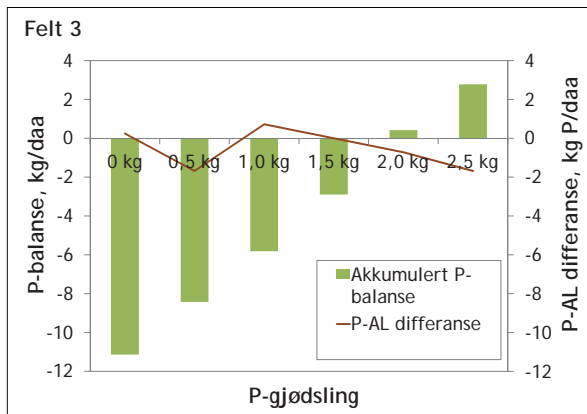
I figur 2-5 er fosforbalansen vist for hvert felt, og sammenholdt med endring i P-AL omregnet til kg P/daa. Linjene i figuren viser differansen i P-AL målt ved start av forsøket og igjen etter avslutning på



Figur 2. Akkumulert fosforbalanse (kg pr. daa) for felt 6 og 4 med henholdsvis P-AL 5 og 7, og P-AL-differanse i kg P pr. daa mellom våren etter avsluttet forsøksperiode og ved start.



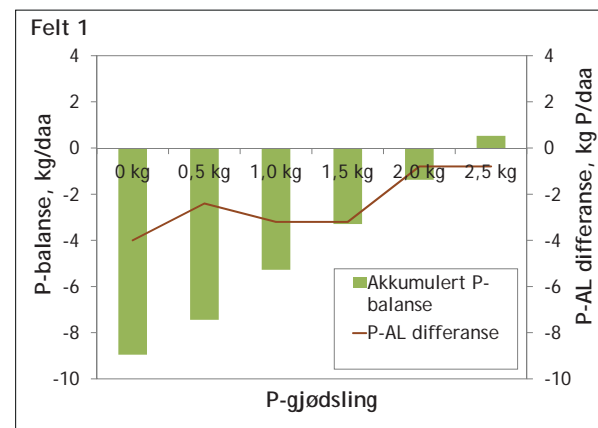
Figur 3. Akkumulert fosforbalanse (kg pr. daa) for felt 5 og 2 med P-AL 7, og P-AL-differanse i kg P pr. daa mellom våren etter avsluttet forsøksperiode og ved start.



Figur 4. Akkumulert fosforbalanse (kg pr. daa) for felt 3 og 7 med henholdsvis P-AL 11 og 14, og P-AL-differanse i kg P pr. daa mellom våren etter avsluttet forsøksperiode og ved start.

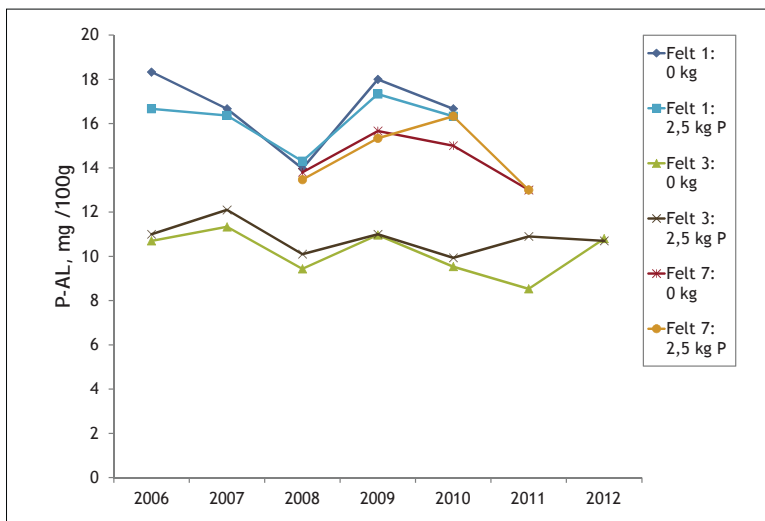
samtligte fosforgjødslingsnivå. Søylene viser akkumulert balanse gjennom hele forsøksperioden for alle gjødselleddene hvor fosforet er radgjødset. Leddene med startgjødsel viste samme resultat, og er derfor ikke tatt med i figurene. Bortførelsen av fosfor i balanseregnskapet er beregnet ut fra tørrstoff-avling og målt P-konsentrasjon i kornet. Videre er det beregnet en halm-avling og en fosformengde i halmen. Tilførsel er den årlige mengden fosfor gitt som gjødsel.

Resultatene i figur 2-5 viser at det ikke er noen entydig sammenheng mellom fosforbalanse og endring i P-AL. Underskudd på fosforbalansen gir generelt en nedgang i P-AL, men overskudd i fosforbalansen har også til dels gitt nedgang i P-AL. Uten fosforgjødsling varierte nedgangen i P-AL fra felt til felt og er antakelig påvirket av jordas fosforstatus ved start av forsøket og av jordas bindingsegenskaper for fosfor. Andel av fosforunderskuddet som kunne gjenfinnes

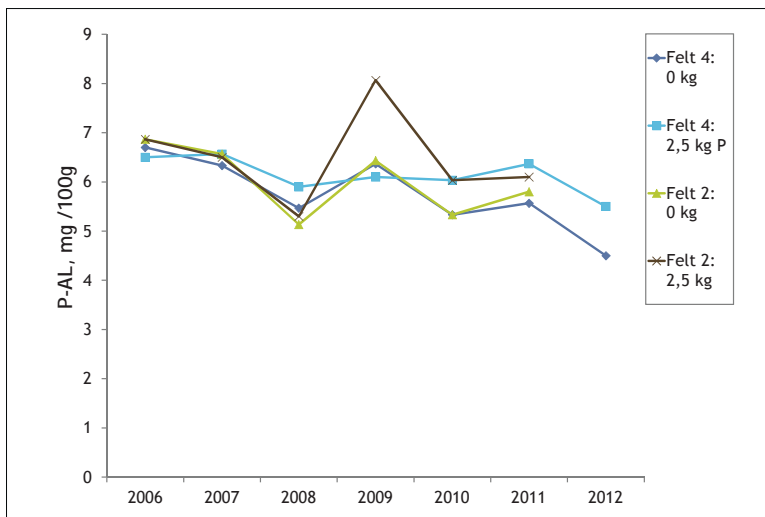


Figur 5. Akkumulert fosforbalanse (kg pr. daa) for felt 1 med P-AL 18, og P-AL-differanse i kg P pr. daa mellom våren etter avsluttet forsøksperiode og ved start.

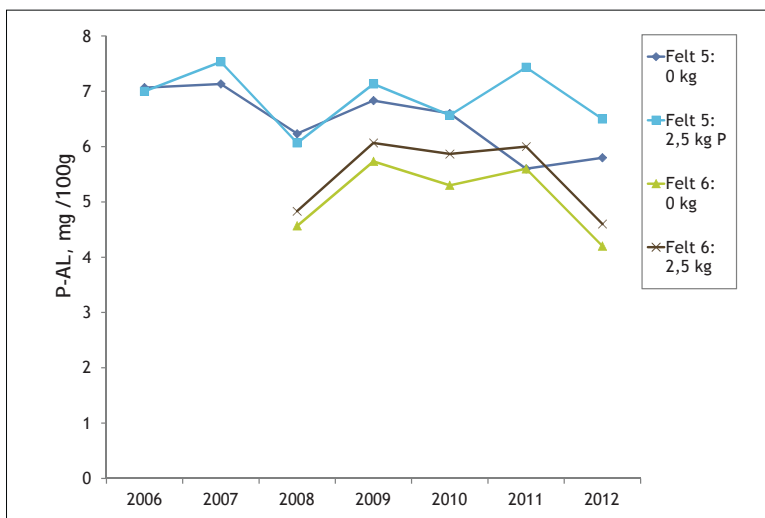
som en nedgang i P-AL-fraksjonen varierte fra ca. 0 til 55 % for forsøksleddet uten fosforgjødsling.



Figur 6. Årlige verdier av P-AL på leddet som ikke fikk fosfor (0 kg) og leddet som ble gjødslet med 2,5 kg P/daa for felt 1, 3 og 7.



Figur 7. Årlige verdier av P-AL på leddet som ikke fikk fosfor (0 kg) og leddet som ble gjødslet med 2,5 kg P/daa for felt 2 og 4.



Figur 8. Årlige verdier av P-AL på leddet som ikke fikk fosfor (0 kg) og leddet som ble gjødslet med 2,5 kg P/daa for felt 5 og 6.

Utvikling av P-AL over år

En sammenstilling av årlige P-AL-målinger for leddet som ikke fikk fosfor og leddet som ble gjødslet med 2,5 kg P pr. daa fra forsøkene ble anlagt og frem til våren etter siste forsøksår, er vist i figur 6-7. Det ble målt en del svingninger i P-AL mellom år som er vanskelig å forklare. I 2008 lå P-AL-nivået generelt lavt for samtlige felt og ledd. Det er ingen store forskjeller i endring i P-AL mellom ledd som ikke har fått fosforgjødsel og ledd som har fått 2,5 kg P pr. daa og år, og dermed heller ingen tydelig nedgang i P-AL etter flere år uten fosforgjødsling. Det er tydelig at jorda har stor kapasitet til å bufre P-AL-fraksjonen, slik at nivået opprettholdes over flere år uten tilførsel av fosfor.

En periode på seks år synes derfor å være for kort til å påvise endringer i P-AL fraksjonen. Det støttes også av resultater fra Dyrkingssystemet på Apelsvoll (Korsæth 2012). I løpet av den første 7 års-perioden ble det ikke registrert særlig endringer i P-AL ved underskuddsgjødsling, men etter ytterligere 13 år var det mulig å måle endringene i P-AL-fraksjonen. Endringen samsvarte svært godt med beregnet fosforbalanse for samme periode.

Vurdering av P-AL som bestemmende for fosforgjødsel mengde

P-AL gir et øyeblikksbilde av jordens innhold av plantetilgjengelig fosfor. Ekstraksjonsmetoden har både styrker og svakheter, og fungerer ikke like godt under alle forhold.

Likevel er det en svært viktig parameter å forholde seg til ved gjødsling med fosfor. Og det er viktig å kunne skille mellom nødvendige tiltak/virkemiddel etter hvor man er på P-AL-skalaen. Dette er også grundig belyst i Fystro *et al.* (2012).

I nedre ende av skalaen, fra P-AL 1 og opp til 4-5, har mesteparten av norsk jord svært stor adsorpsjonsevne for fosfor. Fosforgjødsling som tilføres med organisk gjødsel eller med mineralgjødsel vil i stor grad bli adsorbent til jordpartikler og over tid bli svært utilgjengelig for planterøttene. Konsentrasjonen av fosfationer i jordløsningen vil være lav på slik jord, og forsyningsgraden fra jorda til planterøttene vil i de fleste tilfellene være begrensende for planteveksten om det ikke tilføres gjødsel. Denne jorda utgjør liten risiko for nærliggende vann og vassdrag.

Deretter har man P-AL-intervallet fra 5 og oppover til 12-14. I dette intervallet viser norske forsøk i korn svært variabel effekt av fosforgjødsling. Avlingsøkning for fosformengder tilsvarende balansejødsling har gitt avlingsøkninger fra 0 og opp til 30 %. På fastliggende forsøk, har responsen for fosfor variert fra år til år. Videre er det en tendens til at under forhold som ikke har vært gunstige for plantevekst (uttrykt ved et lavt avlingsnivå), har responsen for fosforgjødsling vært sterkere enn under gode vekstbetingelser (høyt avlingsnivå).

I P-AL-intervallet fra 5 og oppover til 12-14, inneholder jorda en god del plantetilgjengelig fosfor. Mengden øker med økende P-AL. Om plantene klarer å nyttiggjøre seg dette fosforet, avhenger mye av hvordan forholdene i jorda er for rotvekst og fosforopptak. Det er både steds- og årsavhengig, og er viktige årsaker til den variable responsen for fosforgjødsling. En sterk reduksjon av fosforgjødsling når P-AL ligger nær 5 vil kunne føre til store avlingstap i enkelte år. Det vil også gi dårligere utnyttelse av de andre næringsstoffene som tilføres med gjødsel. Ved P-AL rundt 10 ser det ut til fortsatt være behov for noe lett tilgjengelig fosfor, men mengdene kan reduseres i forhold til balansejødsling.

Ved måling av P-AL på samme sted hvert år, ser man at verdiene varierer en del fra år til år, uten at det er

noen god sammenheng med forhold det enkelte år. P-AL-nivået i jorda er derfor ikke et så eksakt tall som man ofte oppgir og tolker det som.

Når P-AL-nivået kommer over 12-14, viser de fleste kornforsøk liten respons for fosforgjødsling. Målinger av jordas evne til å adsorbere fosfor viser også at denne avtar sterkt når P-AL kommer over disse nivåene. Risikoen for tap av fosfor til vann og vassdrag øker når P-AL kommer over disse verdiene. Her er det grunn til å tære på jordas fosforreserver for å senke verdiene til et lavere nivå. Det vil være et viktig tiltak for å redusere fosfortap fra åkeren.

Resultatene viser at det tar lang tid å redusere P-AL nivået i jorda. Dette er også nylig konkludert i Øgaard *et al.* (2012). P-AL-fraksjonen bufres mot tyngre tilgjengelige fraksjoner. Kan hende er det andre analysemetoder som kan fange opp endringer raskere. Uansett er det en langsom prosess å redusere fosforreserver som har blitt bygget opp over en svært lang periode. Men det er viktig at på jord med høye P-AL-tall ikke skjer en ytterligere oppbygging av fosforreservene, men isteden skjer en gradvis nedtrapping til et mer optimalt nivå.

Litteratur

Fystro, G., Kristoffersen, A.Ø., Krogstad, T., Løes, A.K. & Lunnan, T. 2012. Differensiert fosforgjødsling - betydning for avling og miljø. Bioforsk Rapport 7 (165). 63 s.

Korsæth, A. 2012. N, P and K budgets and changes in selected topsoil nutrients over 10 years in a long-term experiment with conventional and organic crop rotations. *Applied and Environmental Soil Science*. vol 2012. 17pp.

Øgaard, A.F., Kristoffersen, A.Ø. & Pedersen, R. 2012. Fosforgjødsling - betydning for fosforkonsentrasjon i jord og tap til vann. Bioforsk Rapport 7 (147). 46 s.