

Fosforgödsling och odlingsekonomi med perspektiv på miljömål

RAPPORT 5518 • DECEMBER 2005



Fosforgödsling och odlingsekonomi med perspektiv på miljömål

Göte Bertilsson, Håkan Rosenqvist, Lennart Mattsson

NATURVÅRDSVERKET

Beställningar

Ordertel: 08-505 933 40

Orderfax: 08-505 933 99

E-post: natur@cm.se

Postadress: CM-Gruppen, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: www.naturvardsverket.se/bokhandeln

Naturvårdsverket

Tel 08-698 10 00, fax 08-20 29 25

E-post: natur@naturvardsverket.se

Postadress: Naturvårdsverket, SE-106 48 Stockholm

Internet: www.naturvardsverket.se

ISBN 91-620-5518-6

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2005

Tryck: CM Digitaltryck AB

Omslagsfoto: Kersti Linderholm

Förord

Sveriges miljökvalitetsmål ”Ingen övergödning” har delmålet att fram till år 2010 ska de vattenburna utsläppen av fosforföreningar från mänsklig verksamhet ha minskat kontinuerligt från 1995 års nivå. Regeringens proposition 2004/5:150 ”Svenska miljömål – ett gemensamt uppdrag” föreslår att orden ”minskat kontinuerligt” ersätts med ”minskat med minst 20 %”.

I takt med att reningsverken byggts ut utgör fosfor från jordbruksmark en allt större andel av fosfor till vattnen, framför allt i södra Sverige. Jordbrukets användning av fosforgödslingar blir därför allt viktigare att belysa.

Den internationella expertutvärderingen kring övergödningssituationen i våra hav, som Naturvårdsverket låtit genomföra 2005, sätter också förnyat fokus på betydelsen av åtgärder för minskade fosforförluster.

Användningen av mineralgödselmedel med fosfor, inom det svenska jordbruket, har minskat sedan 1970-talet och är nu nere på nivåer som motsvarar 1900-talets början. Den minskade lönsamheten i fosforgödningen bekräftades av en rapport från SLU, (Dock Gustavsson-Sundell, 1983), Växtnäring i jordbruket, Produktionsekonomiska analyser av gödslingsförsök. Produktionsekonomiska analyser är dock tidsbundna och de måste uppdateras med ny kunskap. För att göra ny kunskap tillgänglig har Naturvårdsverket därför beställt en rapport med motsvarande syfte som föregångaren, att utifrån produktionsekonomiska analyser särskåda fosforgödningen. Författarna ansvarar själva för rapportens innehåll.

I arbetet med rapporten har en referensgrupp medverkat bestående av Bertil Albertsson (Jordbruksverket), Janne Linder (Jordbruksverket), Hans Augustinsson (Hushållningssällskapens Förbund), Lennart Mattsson (SLU), Kristina Ek (Yara), Markus Hoffmann (LRF), samt konsulterna Göte Bertilsson och Håkan Rosenqvist. Kersti Linderholm och Ingrid Rydberg har för Naturvårdsverkets del beställt och granskat rapporten.

Naturvårdsverket hoppas att rapporten kommer till nytta i det fortsatta praktiska arbetet med att anpassa fosforgivorna till en långsiktigt hållbar produktion. Naturvårdsverket tackar alla dem som medverkat för ett väl utfört arbete.

Stockholm november 2005

Björn Risinger
Direktör, Naturresursavdelningen

Innehåll

FÖRORD	3
SAMMANFATTNING	7
SUMMARY	8
1 BAKGRUND	10
2 FOSFOR I MARKEN OCH I DET EKOLOGISKA SYSTEMET	11
2.1 Översikt	11
2.2 Mängder och flöden	11
2.3 Markens fosfor	12
2.4 Mer om fosforanalyser och deras tolkning	14
2.4.1 Summering	15
3 GÖDSLINGSREKOMMENDATIONER OCH PRINCIPERNA BAKOM	16
4 FOSFORGÖDSLINGENS EKONOMI	19
4.1 Förutsättningar	19
4.2 Försöksunderlag	19
4.3 Om variationer och osäkerhet	20
4.4 Ekonomiska beräkningar	21
4.5 Om beräkningarnas begränsningar	21
4.5.1 Markförhållanden	21
4.5.2 P-AL-intervall	21
4.5.3 Om beräkningsfunktioner	22
4.5.4 Om osäkerhet	22
4.5.5 Om priser	22
4.5.6 Om tidighet, jämnhet mm	22
4.5.7 P-AL-nivå att underhålla	22
4.5.8 Om data i tabell 2, kolumnvis:	23
4.5.9 Utbyteskurva för fosfor	25
4.6 Effektiva gödslingstekniker	28
5 DISKUSSION	29
5.1 Allmänt om beräkningsprincipen	29
5.2 Priskänslighet	30
5.3 Grundskördens beroende av fosfortillståndet	30
6 SUMMERING GRÖDVIS	31
6.1 Spannmål	31
6.2 Oljeväxter	31
6.3 Vall	32
6.4 Potatis	32

6.5	Socketbetor	33
6.6	Andra grödor	33
6.7	Gödning av växtföljder	34
7	PLANERINGSSITUATIONEN STYR	35
8	PRAKTISK GÖDNING OCH FOSFORUTFLÖDE	36
9	FORSKNING OCH FORSKNINGSBEHOV - PERSPEKTIV FRAMÅT	37
9.1	Gödningsrekommendationer	37
9.2	Fosfor i marken	38
9.3	Fosforeffektiva grödor	38
9.4	Gödnings tekniker	38
9.5	Kretslopp	39
	REFERENSER	40
	BILAGA 1	42
	Kalkylpriser	42
	BILAGA 2	45
	Databearbetning och beräkningar	45
	BILAGA 3	46
	Långsiktig gödningsökonomi	46
	Planeringssituation påverkar ekonomiskt optimal fosforgiva	47
	BILAGA 4	48
	Fosforgödningsökonomi till växtföljder	48
	BILAGA 5	50
	Priskänslighet	50
	Bilaga F1	51
	Fältförsöksserier	51
	Bilaga F2	52
	Bördighetsförsöken i M län	52
	Bilaga F3	54
	Mellansvenska bördighetsförsöken	54
	Bilaga F4	56
	Allmänt	56
	Korn. Försöksserier	56
	Höstvete, Försöksserier	57
	Bilaga F5	58

Sammanfattning

Användningen av fosforinnehållande mineralgödselmedel har minskat i svenskt jordbruk sedan 1970-talet och är nu nere på samma nivåer som i början av 1900-talet. Den minskade lönsamheten i ekonomin i fosforgödningen bekräftades i en rapport från Sveriges Lantbruksuniversitet 1983, *Växtnäring i jordbruket, Produktionsekonomiska analyser av gödslingsförsök*. Produktionsekonomiska analyser är dock tidsbundna och de måste uppdateras med ny kunskap. Denna rapport har motsvarande syfte som föregångaren, att utifrån produktionsekonomiska analyser särskåda fosforgödningen.

De rekommendationer som anges i rapporten Riktlinjer för Gödning och Kalkning (Statens Jordbruksverk) håller väl enligt den genomgång som gjorts, innefattande nya försöksresultat och aktuella priser. Rekommendationerna baseras på jordanalyser där P-AL värdet fastställts. Emellertid blir det vissa reduktioner i klass IV beroende på att här läggs mer fokus på P-AL-värde än på klass. Vidare har en särskild beräkning för höstvetete gett lägre rekommendation än för t. ex. korn.

Jordar med höga fosfortillstånd ska gödslas mindre än ersättning och därmed "byggas ner". Ingen av våra vanliga grödor (inklusive sockerbetor och potatis) har nytta av att P-AL hålls över 10. Högre P-AL kan ses som en resurs att använda. För stråsäd och vall är underhålls-P-AL lägre (ca 6 med dagens priser) vilket specificeras i rapporten.

Det P-AL som är mest ekonomiskt att underhålla är avhängigt av prisförhållanden. Rimligt tänkbara variationer gör dock inte mer än 1-2 P-AL-enheter.

I rapporten framräknas det P-AL där under givna prisförhållanden en ersättningsgiva ger en skördeökning som betalar kostnaden (underhålls-P-AL). Vid lägre fosfortillstånd betalar det sig att gödsla mer än ersättning, vilket också får konsekvensen att P-AL stiger. Vid högre fosfortillstånd ska man gödsla mindre än ersättning, vilket gör att P-AL sjunker. Men det ska observeras att detta "underhålls-P-AL" inte är ett mål som snabbt ska nås med speciella insatser. Med angivna rekommendationer kommer man på väg, och det räcker. En ren uppgödslingsåtgärd lönar sig endast till mycket krävande grödor om inte marken är mycket fosforfattig.

Det ska observeras att underhållet ska ersätta det som tas bort av hela odlingen. Om man väljer att inte fosforgödsla t ex höstvetete ett år får höstvetets bortförsel kompenseras andra år, om fosfortillståndet inte är såpass högt att det med fördel ska byggas ned. I underhåll inkluderas stallgödsel etc.

Beräkningar och slutsatser gäller normala mineraljordar med rekommenderat pH-värde. Alkaliska jordar, sura jordar och organogena jordar fordrar lokalt anpassade rekommendationer.

Beräkningar måste bygga på mätningar, i detta fall skördedata. I tillägg finns påverkan på tidighet, jämnhet osv., som kan ha betydelse särskilt vid låga fosfortillstånd. Detta kan leda till att nackdelen med låga fosfortillstånd är större än vad beräkningarna visar. Lokal erfarenhet och kunskap måste modifiera allmänna samband.

Summary

ECONOMIC ASPECTS OF PHOSPHORUS FERTILIZATION WITH A VIEW TOWARDS ENVIRONMENTAL OBJECTIVES

The use of mineral fertilizers containing phosphorus in Swedish agriculture has declined since the 1970s and is now down to levels equivalent to the beginning of the 20th century.

The economics of phosphorus use has been penetrated in a report from SLU, (Dock Gustavsson-Sundell, 1983), *Växtnäring i jordbruket, Produktionsekonomiska analyser av gödslingsförsök*. However, crop economic analyses are time-bound and must be updated with new knowledge. To make new knowledge available, the Swedish EPA has therefore ordered a report with the same purpose as its predecessor: to examine phosphorus fertilization on the basis of crop economic analyses.

The application of fertilizers containing phosphorus in Sweden peaked in the 1970s. The current level of phosphorus application is on average 6 kg P/hectare, which means an approximate input-output balance for Swedish agriculture. However, many soils have an unnecessarily high P status.

The aim of this report is to summarize and update the background for economic P use in Swedish agriculture. The basis for recommendations is soil analysis according to P-AL (after Egner - Riehm). A general goal has been to maintain a “satisfactory” soil P status, and replacement has been a key concept in current recommendations.

The report strengthens and elaborates the replacement concept.

A new definition is introduced:

The most economic P status is where application of a replacement dose gives a yield value increase, equal to the cost of the applied P. Higher soil values mean a lower recommendation resulting in a reduction of soil P, lower soil values mean recommendations higher than replacement and a build-up of soil P.

This “economical P status” is dependent on the crop and on price relations. In addition, the P balance over the rotation must be considered.

This system increases the focus on the soil P status and shows clear economic advantages of reducing unnecessary high soil P values. No economic benefits of keeping P-AL above 10 could be demonstrated for any crop.

An important principle for the economic calculation is that net values of the yield increase are used, which means market price of the harvest product reduced by yield-dependent costs such as transport, drying, extra nutrient removal including

nitrogen if yield-dependent recommendations are used. This means for example for barley that instead of a market price of SEK 0.90 per kg the figure SEK 0.60 is used.

The data update and the new principle gave results that coincide fairly well with present recommendations, but some adjustments are important:

- * increased focus on the fact that soil P-AL-values above 10 are unnecessary.
- * in many cases, P applications to winter wheat are not needed.

Measures to minimize losses:

- * Aim for economical soil P levels. Reduce higher levels.
- * Careful spreading without “spillage”.
- * Avoid autumn applications. If necessary, use placement.
- * Spring placement is the most efficient method, in most cases also giving extra yield increases.
- * Avoid large “storage applications”.

Some general issues.

The report deals with phosphorus in general including manure P. No special attention is given to manure, although it is recognized that the main problems are in this sector.

Future improvements are briefly discussed:

Better use of soil P reserves and a more holistic view of rhizosphere reactions and mycorrhiza.

P-efficient crop varieties are most important for the more demanding crops.

Improved recycling is crucial for achieving long-term sustainability.

1 Bakgrund

Miljökvantitetsmålet ”Ingen övergödning” berör i hög grad fosfor (P). Enligt aktuella beräkningar för Sverige (Naturvårdsverket 2004) uppgår tillförseln av fosfor till vatten till 6760 ton P varav 2670 beror på mänsklig påverkan (antropogent). 45% av antropogent utflöde kommer från jordbruksmark enligt denna modellberäkning.

Markens fosforhalt och gödningen har visst inflytande på utflödet. Någon direkt proportionalitet har inte påvisats, men klart är att risken för utflöde ökar med ökad halt om man ser till större områden över några år. Markens fosforstatus och gödningen är därmed av intresse i arbetet för att nå miljökvantitetsmålet.

Med odling och gödning ändras jordarnas näringsinnehåll och funktion, nya sorter och odlingstekniker införs, priset förhållanden som styr odlingsekonomi och gödningen ändras. Det finns därför anledning att se över underlaget för odlingsrådgivningen, och denna rapport är ett led i detta.

Tonvikten ligger på nyare försöksdata, men för ett ämne som fosfor är det viktigt med perspektiv. Erfarenheterna från långliggande odlingsförsök väger tungt i denna fråga.

Ambitionen i denna skrift är att, med hjälp av nya försök och priser, uppdatera den rapport som presenterats av Dock Gustavsson och Sundell (1983) och som då startade en debatt om fosforgödningens ekonomi. I tillägg behandlas miljöaspekter och utvecklingsperspektiv som har samband med fosforgödning. Eftersom det i Sverige inte har bedrivits så mycket forskning om organisk fosfor och markmikrobernas betydelse för växternas fosforförsörjning har inte denna fråga belysts närmare i denna rapport.

2 Fosfor i marken och i det ekologiska systemet

Om beteckningar: Fosfors kemiska beteckning är P, och denna används ofta i stället för ordet fosfor. Det görs också i denna rapport. I jordbrukssammanhang är storheten ”kg fosfor per hektar” ofta förekommande. Det förkortas ofta till ”kg P” när inte missförstånd kan uppstå.

2.1 Översikt

Även i magra ogödslade jordar finns det överraskande mycket fosfor i marken, 1000 kg fosfor (P) per hektar eller mer bara i matjorden. Även i den underliggande alven finns fosfor, ibland mer än i matjorden. Mot den bakgrunden kan det synas underligt att de gödslingsfrågor vi brottas med är av typen: ska vi gödsla med 15 eller 25 kg P? Orsaken till det är att fosfor binds ganska hårt i marken så växtrötterna har svårt att få tag i den. Med gödningen byggs ett förråd upp av mer lättillgänglig fosfor så att grödorna får den försörjning de behöver.

I naturen tar växterna upp fosfor, och med döda växter och växtdelar kommer den tillbaka till marken igen. Det blir ett kretslopp.

Också för den odlade och gödslade marken är ett systemtänkande som innefattar kretslopp viktigt, särskilt för fosfor. Vad förs bort, hur blir balansen, vad behöver tillföras?

Fosfor är ett så viktigt ämne för den globala ekologin att två hållbarhetsaspekter diskuteras. Den ena är den globala tillgången på fosforråvaror för industri och jordbruk. "Brytvärda" fosforråvaror är en ändlig resurs som inte ska förlösas. Den andra aspekten gäller anrikning i det ekologiska systemet, särskilt i vatten och hav. Har vi väl distribuerat ut fosfor i marker, i deponier, runt mänskliga miljöer osv., kan vi inte få bort den igen med några rimliga åtgärder. Och de naturliga processerna för den långsamt via vattendrag till havet. Det finns därför alla skäl att behandla fosfor med varsamhet, att använda den effektivt och utveckla system för kretslopp.

2.2 Mängder och flöden

Omsättningen i ett hektar normal odlingsmark, storleksordningar.

Kg fosfor (P) per hektar och vad gäller flöden kg P per hektar och år.

Totalt i marken (matjorden) ca 2000, varav hälften organiskt.

Lättilösligt (vid P-AL 8) 200.

Bortförsel med normal gröda: 15-30

Gödslingsrekommendation: 10-30.

Därför tillförsel med mineralgödsel, medel Sverige: 7 (2003)

Genomsnittlig maximal tillförsel enligt Jordbruksverkets författning: 22.

Utlakning och erosion: 0,4.

En ”gammal sanning” är att marken binder fosfor så den inte utlakas utan stannar kvar som förråd. Det är inte osant vilket syns av storleksordningarna ovan. Läcka- get betyder föga för markens fosforbalans. Men det är inte sant att marken inte läcker fosfor alls. Det finns ett utflöde som är stort nog att starkt påverka vatten.

En människa omsätter ca ett kg fosfor per år via maten. Det mesta av detta går vidare via toaletterna till reningsverken, där det hamnar i slammet. I dag återgår endast en mycket liten del av avloppsslam och kompost till odlingsmarken. Det mesta blir förlorat för kretsloppet, då merparten av avloppsslammet används som täckmaterial eller i anläggningsjord. I ett sant kretslopp skulle fosfor komma till nytta igen i jordbruksproduktionen.

Sedan början av 1990-talet har stora utvecklingsansträngningar gjorts för att förbättra slamkvaliteten. Osäkerheter kring konsumenternas syn på slam användning har dock inneburit att användning av slam som växtnäringsskälla i dagsläget är mycket liten och flertalet metoder att utvinna fosfor ur slam är ännu alltför kostsamma.

2.3 Markens fosfor

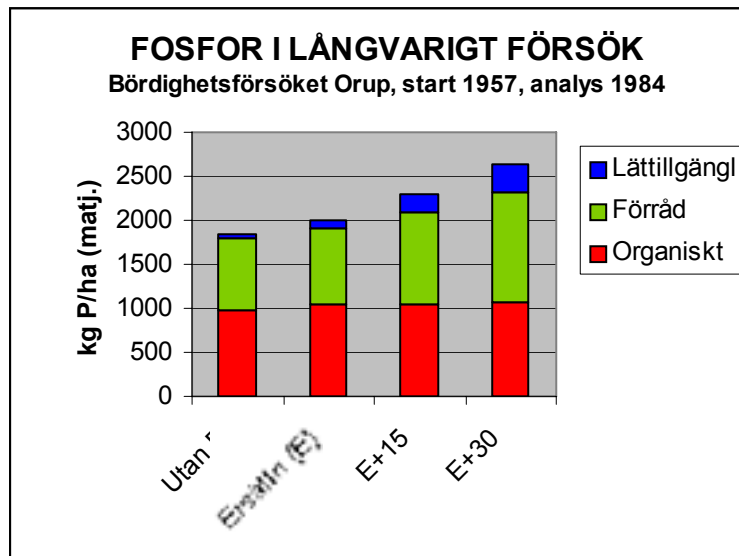
Markens fosfor ingår i flera olika fraktioner med olika tillgänglighet. Det är ett dynamiskt system. Det finns utbyten mellan olika fraktioner. Lättlösligt blir svår- lösligt och tvärtom beroende på om det är tillfälliga underskott eller överskott.

Följande diagram från bördighetsförsöket på Orup i Skåne belyser mycket av vad som sker. Matjordslagret har provtagits och analyserats efter 27 års odling med olika gödning. Tre fosforfraktioner visas:

- ”Lättillgängligt” enligt P-AL
- Förråd enligt P-HCl (eftersom P-HCl inkluderar P-AL är det som visas i stapeln egentligen ”P-HCl minus P-AL”).
- Organisk fosfor (bestämd som skillnaden mellan ”total P” och P-HCl).

Dessa tre utgör tillsammans markens (matjordslagrets) hela fosforinnehåll.

Diagram 1. Bördighetsförsöket på Orup i Skåne (efter Olle Gunnarsson 1987)



Fosforbehandlingarna är 0, ersättning (E), E+15 kg P per år och E+30.

27 år har gått sedan försökets start. Det ogödslade (utan P) har tappats på ca 27*12 kg P, alltså drygt 300. Mycket av detta (hälften) spåras i en minskning i förhållande till E. Resten kan ha kommit från alven.

E+30 har fått 810 kg mer fosfor än ersättningsbehandlingen (E). Det mesta av detta kommer fram vid analysen.

En uppgödning ökar P-AL, men där skillnaden i tillförsel är 810 har "det lättlösliga" bara ökat med ca 250. Resten har vandrat ner till mer svårslösliga fraktioner. Är det förlorat? Svaret är nej. Det kommer till nytta på två sätt.

- Det kan utnyttjas av grödan om gödningen är så låg att det behövs. Möjligheten syns som en skillnad mellan 0 och E. Dock innebär detta en skördereduktion.
- Det tar hand om fixerande ämnen i marken (järn och aluminium), så att säga bryter udden av markens fosforfixering, och därmed kan det P som tillförs fungera effektivare. Det möjliggör en uthållig situation med ersättning (på många jordar).

För att vidmakthålla en jords fosforstatus behövs underhåll minst lika med nettobortförslen av fosfor. I detta underhåll inkluderas tillförsel av organisk gödsel. Om bortförslen överstiger tillförslen sjunker tillgängligt fosfor men det är en långsam process. På grund av jämviktsrelationerna i marken återspeglas ändringar i balansen inte helt i den pool som kallas "tillgänglig fosfor", i Sverige mätt med P-AL. Ca 20 % (det kan variera mellan 10 och 40 i olika undersökningar) av föränd-

ringen kan ses som en ändring av P-AL, men det varierar beroende på jord, odlingshistoria mm.

Det är inte självklart att en jords fosforleverans i längden kan upprätthållas på en acceptabel nivå med enbart ersättning av bortförelsen. På ”fattiga” jordar och jordar som inte är i jämvikt går det inte. Det fungerade inte i Sverige på 1950-talet, men i dagens läge kan det möjligtvis gå. När odlingsjordarna är i jämvikt på en hög skördenivå kan en ersättningsprincip fungera, men en uppföljning med jordanalys behövs. Så kan erfarenheter från bl. a. Sverige, Tyskland och England summeras.

En förutsättning för god fosforhushållning är också att kalktillståndet är enligt rekommenderade normer. Både på sura jordar och alkaliska jordar försvåras grödans fosforförsörjning eftersom fosfor binds i svårslösliga föreningar (järn resp. kalcium). Ett högt analysvärde i P-AL ger på sådana jordar inte förväntad fosforförsörjning.

Det syns vidare i figuren ovan att organiskt fosfor är en kvantitativt betydande fraktion. Där finns ungefär hälften av markens fosfor enligt detta exempel, i medeltal är det något mindre. Vi vet för lite om betydelsen av den organiska fosfor i marken. Enligt analyserna från Orup i diagrammet ovan har den organiska fraktionen påverkats ganska litet av nästan 30 års utodling (60 kg P totalt vilket betyder ca 2 kg/år). Det är dock möjligt att den har större betydelse för grödans fosforförsörjning i vissa lägen, särskilt om markens tillgängliga fosfor är på låg nivå.

En del svamparter i marken bildar mykorrhiza som hjälper växtrötterna att ta upp bland annat fosfor. Vid höga fosfortillstånd motverkas mykorrhizabildning, men det synes nu klart att även i normal jordbruksdrift och normal gödning spelar mykorrhizan en roll för flera grödor.

En mark kan bli övermättad på fosfor. Exempel finns i djurtäta områden i t ex Holland att så mycket fosfor har tillförts att markens bindningskapacitet har fyllts, vilket betyder att läckaget av fosfor starkt ökas. I de nedan refererade bördighetsförsöken har 50 års uppgödning med 30 kg P per år inte gett någon övermättad.

Den organiska fosfors betydelse för växternas fosforförsörjning samt mykorrhizas roll i detta är tyvärr dåligt belyst i svensk forskning.

2.4 Mer om fosforanalyser och deras tolkning

I Sverige har vi sedan gammalt (från 1960-talet) två standardmetoder, P-AL och P-HCl. P-AL brukar benämnas ”tillgängligt” eller ”lättlösligt” men dessa benämningar skall inte tas bokstavligt. Det finns en flytande övergång till P-HCl, mera svårslösliga oorganiska fosforfraktioner som löses upp av stark (2 M) saltsyra. P-HCl brukar kallas ”förrådsfosfor”. Saltsyraextraktionen löser upp oorganiskt bunden fosfor, men tar föga av organisk fosfor. P-HCl används numera knappast i rådgivningsarbetet trots att den var tänkt att beskriva förrådssituationen. Det nämns överhuvudtaget inte i dagens aktuella rådgivningsunderlag. Internationell utveckling och tankar i Sverige har i stället gått i riktning mot att en ännu svagare extraktion än AL (vatten, kalciumklorid, ammoniumsulfat) skulle ge precisare och Holland är vatten (P-H₂O).

Som framgått ovan av figur 1 kan dock P-AL och P-HCl tillsammans ge en ekologiskt relevant beskrivning av förändringar i markens fosforstatus. Betydelsen av detta kan förväntas öka. Men med tanke på att P-HCl bara visar hälften av markens fosforinnehåll och att mykorrhizas roll är dåligt undersökt under svenska förhållanden, så kan en omvärdering av markens totalfosforinnehåll komma att ske i takt med att ny kunskap kommer fram.

Värdet av P-AL som rådgivningsinstrument kan förbättras genom att hänsyn tas till andra förhållanden som pH, mullhalt, jordart. Som tidigare nämnts är pH-värdet avgörande för hur markens fosforhushållning fungerar. Vid lågt pH binds fosfor starkt vid aluminium och järn, vid höga pH bildas svårslösliga kalciumfosfater.

2.4.1 Summering

Marken hushållar väl med P. Överskott tas om hand (fast det finns gränser) och kan ges tillbaka vid behov. Fosforfrågan är långsiktig.

Fosfor vandrar mellan olika fraktioner i marken. Vår definition av ”tillgängligt P” är P-AL. På andra håll används andra definitioner och extraktionsmedel. P-AL är huvudsakligen begränsat till Sverige, Norge och ett par Centraleuropeiska länder. Snarlika men inte helt identiska metoder är viktiga bl. a. i Tyskland.

Bara matjorden innehåller i storleksordningen 2 ton P. En normal gödsling är ca 15-20 kg. Medelanvändningen av mineralgödsel-P i Sverige är ca 7 kg/ha och år och minskande

Alven innehåller en hel del fosfor - ibland mer än matjorden, ibland mindre. Alvens fosfor har stor betydelse men brukar inte analyseras i praktiken.

Mer forskning är önskvärd kring betydelsen av organisk fosfor och mykorrhizasvamparnas funktion i samband med växternas fosforförsörjning i svensk växtodling.

3 Gödslingsrekommendationer och principerna bakom

Den enklaste principen bygger på följande resonemang: Fosforgödsel kostar pengar och den skördeökning man förhoppningsvis får ska vara värd mer än kostnaden. Man får jämföra kostnaden med skördeökningens värde vid olika gödning, så att man kan beräkna vilken gödning som är mest ekonomisk. Det kan man göra i ett-åriga försök. Man får en ögonblicksbild över gödningens lönsamhet.

Det är självklart av betydelse hur mycket tillgänglig fosfor marken har i sig själv. Därför har jordanalyser utvecklats så man kan anpassa efter markens tillstånd. Är den redan i gott fosfortillstånd (P-AL) och måttligt pH behöver man inte gödsla.

Men för fosfor gödslar man inte bara en gröda utan ett helt system och för flera år. Marken buffrar. Man kan minska eller öka dess förråd och det har betydelse för det framtida gödningens behovet. Det behövs ett systemtänkande och därmed kan man också väga samman både ekonomiska och ekologiska aspekter.

För att få perspektiv utvidgar vi bilden till Tyskland och England förutom Sverige (VDLUF 1997, Evans och Johnston 2004). Dessa länder har (liksom de flesta andra) utvecklat ungefär samma system:

Sverige och Tyskland analyserar jordarna och med analysiffran som grund gör man en klassindelning:

1. Stark brist
2. Måttlig brist
3. Tillfredsställande
4. God försörjning
5. Överskott

Med försöksresultat som grund gör man sedan en rekommendation för varje klass för olika grödor. I Sverige har vi som standard en analys enligt P-AL. En svensk rekommendationstabell (Statens Jordbruksverk 2004) ser ut som följer:

Tabell 1. Riktgivor för fosforgödning, Statens Jordbruksverk 2004.

Gröda	Skörd ton/ha	Fosforgiva, kg P/ha i resp P-AL-klass				
		I	II	III	IV	V
Stråsäd	5	35	25	15	10	0
Oljevaxter	2	35	25	15	10	0
Slåttervall	6 (ts)	35	25	15	10	0
Potatis	30	100	80	60	40	20
Sockerbetor	45	50	40	25	20	0
Ärter	3,5	35	25	15	10	0
Bete (åker)		25	15	5	0	

Justering för skördenivå, kg P per ton avvikelse:

Stråsäd., ärter, vall: 3

Oljevaxter: 5

Potatis, sockerbetor: 0,5

Definition av klasser, P-AL-tal; I: <2,1, II: 2,1-4, III: 4,1-8, IV: 8,1-16, V: >16

Bakom denna tabell ligger mångårigt försöksarbete efterhand kompletterat med senare resultat och bedömningar.

I England läggs mer vikt vid ett "Critical Value" för fosfor i marken, över vilket man inte har nämnvärd skördeökning för gödning. Men man bör hålla detta "Critical Value".

Vad gäller markanalys har man olika metoder i de tre länderna och värdena är därför inte direkt jämförbara. Men det är intressant att notera att principen för rådgivning blivit densamma: klassen 3 (tillfredsställande) eller "Critical Value" behöver underhållas med gödning motsvarande bortförelsen av fosfor. Sker inte detta sjunker tillståndet, man måste gödsla mer i den nya situationen och kan få ett osäkrare system. Ersättning av bortförelsen ger en viss både ekonomisk och ekologisk stabilitet. Faktiskt betyder det, om det är stabilt på lång sikt, att tillförd fosfor utnyttjas till 100 %.

En rekommendation gäller totala tillförelsen av fosfor, summan av stallgödsel etc. och mineralgödsel.

Enligt forskning på 1960-1970-talen skulle man behöva tillföra mer än bortförelsen för att underhålla ett tillstånd. Marken fixerar fosfor och denna förlust av aktivt fosfor måste kompenseras. Detta må ha varit riktigt i den situation vi var då. Sedan dess har markerna ytterligare uppgödsplats och en stabilare jämvikt mellan fosforfraktionerna i marken har utvecklats. Det är logiskt att fixeringen har minskat i styrka så att ersättning av bortförelsen åtminstone i stort sett räcker för att vidmakthålla ett acceptabelt läge. Men det finns en brasklapp: utvecklingen av fosfortillståndet bör följas med jordanalys. En del marker kan behöva högre underhåll.

Ovanstående principiella samband kan behöva en praktisk kommentar. I dagens svenska jordbruk pågår en polarisering, på så sätt att det rena växtodlingsjordbruket

med stråsäd som huvudgröda håller på att bygga ner sitt fosforförråd, medan jordbruket som under lång tid haft hög djurtäthet närmast karakteriseras av ett fosforöverskott.

Självklart är ersättning av bortförseIn inget hållbart recept för bördighetsuppbyggnad. En låg nivå kan inte förbättras på det sättet. Men när vi kommit till det läge vi har nu för våra flesta jordar, med höga skördar som varit stabila under rätt lång tid, är läget annorlunda.

Fosforhushållningen på enskilda gårdar och fält beskrivs ibland med nyckeltalet ”fosforutnyttjande”. För att tolkas meningsfullt måste detta summeras över ett antal år och omfatta hela växtföljden.

4 Fosforgödningens ekonomi

4.1 Förutsättningar

Med hänvisning till tidigare avsnitt om fosfor i marken kan man sammanfatta följande förutsättningar som viktiga för fosforgödningens ekonomi och för tolkningen av försöksdata:

- Marken har ett stort fosforförråd i förhållande till grödans årliga behov. Det kan ses som ett kapital vars årligt tillgängliga mängd inte nödvändigtvis räcker för det akuta behovet. Komplettering kan behövas och kapitalet behöver underhållas. Fosforgödningens ekonomi måste ses både kort- och långsiktigt.
- Markens fosforleverande förmåga kan uppskattas med jordanalys. Det finns olika metoder på olika håll. I Sverige har vi som standardmetod att extrahera jordprovet med en definierad ammoniumlaktat-lösning, P-AL metoden. Resultatet uttrycks i mg P/100 g jord. En enhet betyder ungefär 30 kg P/ha i matjordslagret. P-AL 5 betyder alltså 150 kg P-AL-P per hektar, men det totala fosforinnehållet är 10-30 ggr större. (Omräkningen från enheten mg/100 g jord till kg/ha är givetvis beroende av jordens volymvikt och matjordsdjupet. Faktorn 30 här är ett ungefärligt värde för mineraljordar).
- Jordens P-AL -fosfor kan ses som ett buffertlager. Man kan göra uttag och insättningar. Eftersom denna fraktion samverkar med svårösligare pooler slår förändringarna inte helt igenom. Ett nettouttag av 30 kg P borde aritmetiskt betyda att P-AL sjunker en enhet, men i verkligheten blir det bara 0,1-0,4, olika för olika jordar. Bakomliggande reserver kommer in. Sedan finns motsvarande tröghet andra hållet. I överslagsberäkningar nedan användes värdet 0,2.
- Fosforgödningens ekonomi måste ses i relation till markens fosfortillstånd, i vårt fall P-AL.
- En total samhällsekonomisk aspekt ligger utanför denna framställning. Det kan emellertid nämnas att också utflödet av fosfor från åkermark har visst samband med P-AL. Med nuvarande kunskapsbakgrund kan man säga att för en och samma mark är långsiktigt utflöde större om P-AL är 30 än om det är 10. Däremot är det inte säkert man miljömässigt vinner något på att sänka ytterligare till 2. Det kan rentav bli sämre genom att vegetationen blir skörare, erosionen ökar och kvävet utnyttjas sämre. Jämför man olika marker spelar många faktorer in. Klart är dock att ett onödigt högt fosfortillstånd är en miljörisk som skall undvikas.

4.2 Försöksunderlag

Eftersom fosforgödningen ska ses långsiktigt har långliggande försök ett särskilt värde. En nackdel är att de enligt sin natur inte alltid ligger på odlingsutvecklingens

aktuella frontlinje. Gödslingen är en akut driftsekonomisk fråga som normalt studeras i ettåriga försök i praktiskt jordbruk, och också detta underlag är viktigt. Det är mer applicerbart i dagens odlingssituation.

Här användes tillgängliga försöksdata av båda kategorierna. Tonvikt har lagts på resultat från ca 1980 och framåt, men för perspektiv och komplettering har äldre försök och synteser också tagits med.

Försöksunderlaget redovisas i bilagor (F1-F5). Genom att både skördeökning för fosforgödsling och totalskörd redovisas som funktion av P-AL fås en ganska täckande bild av hur underlaget är.

4.3 Om variationer och osäkerhet

Data från fältförsök har alltid en betydande variation. De är beroende av väder, markvariationer, lokal ogräs- och sjukdomsutveckling, tillfälligheter i odlingsteknik och skördeteknik mm. Men även om man vet detta är det lätt att känna en frustration över data som tycks helt ologiska. Exempel från ett långliggande försök där höstvetete återkom 3 gånger med några års mellanrum på samma plats: skördeeffekten av fosforgödsling var ungefär minus 500 kg, plus 600 kg, minus 400 kg respektive för de olika åren. P-AL var under 3 vilket skulle indikera ett betydande fosforgödslningsbehov. Sådana oregelbundenheter är den verklighet vi lever med.

Det finns flera uppenbara orsaker till att resultat avviker från det förväntade.

- P-AL ger en ofullständig beskrivning över hur växten upplever fosforsituationen. T ex kan P-AL vara ”lagom” men marken ändå låg vad gäller den lättillgängligaste fosfor, eller omvänt. P-AL är en kompromiss, liksom alla andra analysmetoder.
- Vi analyserar oftast bara matjorden, men alven är en mycket viktig näringskälla. Djuprotade grödor är inte helt matjordsberoende.
- Mykorrhiza och organisk fosfor kan spela in mer än förväntat i vissa lägen och förbättra försörjningen. Detta kan vara en förklaring till ”oregelbundna” gödslingseffekter i en del fall.
- Markens struktur och dess effekt på genomrotningen spelar stor roll. Om rötterna ligger glest får de ju inte tillgång till hela markfosforlagret. Ett intressant försök som visar detta har gjorts på Rothamsted i England (Johnston 1998).
- Ettåriga försök speglar inte systemets funktion på sikt. Försökets ”nollled” utan fosfor kanske fick en bra fosforgiva året innan. I så fall finns efterverkan året efter. Rester av gödselfosfor kan vara något lösligare och det finns skörderester som innehåller fosfor från den tidigare gödslingen. Döda växtdelar släpper lätt ifrån sig oorganiskt P. Också detta minskar den skördeskillnad som kan mätas mellan ogödslad kontroll och fosforgödslad parcell, men det är en effekt som inte håller på sikt.
- Matjordslagret torkar ibland ut, och då är dess fosfor inte särskilt lättåtkomlig för rotsystemet. Och gödslingen ligger oftast i matjordens översta lager. Visserligen har växterna förmåga att något fukta upp en torr mat-

jord med hjälp av vatten från underliggande fuktig jord, men fosforupptagningen blir ändå hämmad under sådana förhållanden.

Allt detta, jämte det oundvikliga ”försöksfelet” leder till en betydande variation. Den får hanteras genom att man arbetar med många mätningar och ser på samband och tar fram principer.

En fråga som kan förtjäna en diskussion: Kan överskott av fosfor ha negativ effekt på skörden? För alla normala förhållanden här är svaret nej. I vissa jordar i USA mm kan det uppstå zinkbrist av hög fosforgödsling, men det har inte setts här. Emellertid finns följande mekanism som kan göra att fosforgödsling verkar negativt. Vi ser på två fält, ett med knapp fosfortillgång och ett med bra. Grödan på det sistnämnda växer till sig betydligt snabbare vår och försommar, är grön och vacker medan det andra inte täcker marken. Sedan på högsommaren blir det torrt och torran börjar stressa. Det bra beståndet har då gjort av med mer vatten under försommaren och lider mer än det tidigare dåliga. Slutresultatet kan bli att det dåliga beståndet ger bäst skörd, alltså att fosforgödslingen var negativ. Denna effekt syntes ett år i de skånska bördighetsförsöken.

4.4 Ekonomiska beräkningar

Oftast brukar man låta försöksresultaten svara på frågan: hur mycket fosfor ska jag gödsla med för bästa ekonomi?

Beroende dels på tillgängligt försöksunderlag, dels på att underhållsaspekten de senare åren vuxit i betydelse ställer vi här primärt följande fråga:

Vilken P-AL nivå är ekonomisk att underhålla?

I tillägg ser vi på effekten av olika givor (responskurvan) samt effekten av olika gödslingstekniker (kombisådd).

4.5 Om beräkningarnas begränsningar

4.5.1 Markförhållanden

Underlaget är försöksdata för olika förhållanden spridda över i stort sett hela Sverige. Arbetets syfte är att se på den allmänna bilden, inte att förfina rekommendationerna för t.ex. olika pH-förhållanden. Därför har höga och låga pH-värden utesluts ur materialet. Beräkningarna gäller en bred normalsituation.

4.5.2 P-AL-intervall

Huvuddelen av datamaterialet ligger mellan P-AL 3 och 15. Utsagor för värden utanför detta intervall är inte relevanta, och i en del fall är intervallet ännu snävare (4 - 10). Det framgår av bakgrundsmaterialet i bilagorna F1-F5.

4.5.3 Om beräkningsfunktioner

En logaritmisk funktion har valts för sambandet mellan P-AL och skördeökning (skördeökningen = $a * \ln(P-AL) + b$)

Det framgår av punktdiagrammen i bilagorna att sambandet P-AL - skördeökning inte är rätlinjigt utan är krökt avtagande. En logaritmisk funktion avspeglar detta väl, vilket framgår av diagrammen i dessa bilagor. En logaritmisk funktion har också koppling till de exponentiellt ordnade klassgränserna. Men självklart finns en viss osäkerhet och kanske godtycklighet genom att en viss funktion valts. För sambandet grundskörd - P-AL har en linjär funktion valts. Den tycks inte vara fel inom huvudintervallet, men det är viktigt att inte extrapolera utanför vad materialet tillåter. Troligen finns föga ökning i grundskörd när man kommit förbi P-AL ca 10.

En redogörelse för beräkningarna görs i bilaga 2.

4.5.4 Om osäkerhet

Spridningen i datamaterialet både inom försöksserier och mellan olika försöksserier gör att resultaten får tolkas med ödmjukhet. Men verkligheten är sådan. Perspektiv fås genom att de olika bakgrundsmaterialen bearbetats och redovisats var för sig.

4.5.5 Om priser

Eftersom frågan gäller ekonomisk fosforgödning bestäms resultatet av använda priser, och är därför inte allmängiltigt. Frågan har tacklats genom att ta med scenarier med andra priser och framför allt genom att i bilagor mera fullständigt behandla hur prisförhållanden och ränteläge påverkar resultaten. Huvudscenariot är marknadspriser hösten 2004 reducerade med skördeberoende kostnader inklusive kväve. Det betyder ett nettovärde av 0,60 kr/kg spannmål. Detaljspecifikation i bilaga 1.

4.5.6 Om tidighet, jämnhet mm

Skördesiffror ger inte alltid hela bilden. De som arbetat med försök kan skriva under på att fosforbrist i ett bestånd kan ge en senare utveckling och ibland ojämna mognad. Detta behöver inte märkas i skördesiffran, men är ändå av stor praktisk betydelse.

4.5.7 P-AL-nivå att underhålla

Med underhåll menas här ersättning av fosfor som bortförs med skördeprodukter. Det ligger för de flesta grödor i området 15-25 kg P/ha. I de flesta försöksserier finns en giva av denna storleksordning, och det betyder att serierna kan kopplas ihop. Denna giva får då representera "underhåll", skördeskillnaden mellan detta försöksled och "utan P" är "skördeökning för underhållsgiva", och denna sättes i relation till P-AL för "utan P". Detta samband uttrycks med en logaritmisk funktion:

$$\text{Skördeökning} = a * \ln(P-AL) + b \text{ (a blir normalt negativ)}$$

Man kan beräkna ett P-AL (underhålls-P-AL, nedan för bekvämlighetens skull kallat U-PAL) där skördeökningens värde är lika stort som kostnaden för underhållsgivan. Där blir systemet i jämvikt både ekonomiskt och ekologiskt. Man gödslar med en giva som ersätter bortförseln och får en skördeökning som motsvarar kostnaden. Läget är beroende av priserna för fosfor och skördeprodukt. Full underhållsgiva blir inte lönsam vid P-AL högre än detta värde. Handlar man därefter och gödslar med mindre än underhåll kryper P-AL ner. Vid P-AL lägre än jämviktsvärdet U-PAL lönar det sig att gödsla mer än underhåll och gör man det stiger P-AL. Man kan tycka att om man ligger vid U-PAL kan man lika gärna låta bli att underhålla. Man får ju bara tillbaka gödselkostnaden. Men i princip är detta en strategi som går med förlust redan det år som följer. Ett principexempel: innevarande året skulle man ha gödlat med 20 kg P som kostar 220 kr. Enligt försöksdata får man en skördeökning värd 220. Det går jämnt ut om man avstår från fosforgödning det året. Följande år sparar man också 220 kr med samma strategi, men eftersom markens leveransförmåga sjunkit missar man en skördeökning som är större än 220 kr. Summeras de två åren går det jämnt ut om man underhåller men med någon förlust om man inte underhåller.

Ovanstående beräkning har gjorts för olika försöksmaterial och olika grödor. I tillägg har bestämts ett samband mellan ”grundskörd utan P-gödning” och P-AL. Om den allmänna skördenivån har samband med fosfortillståndet bör förhållandet beaktas. Men det är viktigt att inte extrapolera. Vid P-AL-värden under 3 och över 10 bör sambandet inte användas.

Totala materialet med funktionssamband redovisas i bilagor F1-F5, beräkningarna i bilaga 2. Resultaten sammanfattas i tabell 2. Försöken har olika bakgrund och syfte, varför det synes motiverat att redovisa olika serier eller grupper av serier separat och göra en senare syntes. I tillägg ingår det underlag som redovisats av Hahlin och Ericsson 1981. Att ta med detta syns som en viktig komplettering därför att antalet senare försök i grödor som vall och potatis är mycket lågt.

4.5.8 Om data i tabell 2, kolumnvis:

U-PAL, värde för P-AL under vilket underhållsgödning blir lönsam. För ekonomisk beräkning används dagens priser reducerade med kvantitetsberoende skördekostnader som näringsbortförsel, transport mm. För ospecificerad spannmål blir alltså 0,90 kr per kg som prislisterpris reducerat till värdet 0,60 efter denna kostnadsjustering. Fosforpriset har satts till 11 kr/kg P. Det är alltså en ganska sträng ekonomisk bedömning. Använda nettoproduktpriser för U-PAL: spannmål 0,6, oljevaxter 1,7, vall 0,6, socker 1,64, potatis 0,8 (se detaljredovisning i bilaga 1). För gårdar som själv t ex använder spannmålen som foder, har utsädesodling eller egen tork kan ett högre värde vara motiverat.

U-PAL 1,3: För att ge perspektiv redovisas ett U-PAL för en 30 % högre prisnivå på jordbruksprodukten (U-PAL 1,3). För sockerbeter har i stället angetts U-PAL 0,7 för 30 % lägre prisnivå. I en bilaga ges mer specifikation, jämte en tabell som tillåter justering med andra ekonomiska grunddata.

PT, P-Trend: Koefficienten PT i sambandet: ”grundskörd utan P” = PT* P-AL + c som beskriver hur grundskörden påverkas av rådande P-AL. Ett starkt positivt PT indikerar att den aktuella skördenivån har ett starkt samband med P-AL. Är detta något att ta hänsyn till vid gödslingsplaneringen?

Gr.ek., grundskördsekonomi: En ”grundskördsekonomi” (Gr.ek.) har framräknats som visar summa nuvärde om man investerar 1 krona i uppgödning för att höja P-AL. Ett värde under 1 visar att investeringen inte betalat sig. Värdet på Gr.ek är beroende av räntefaktor och kalkyltid, i huvudexemplet 2 % och 10 år. Underlag och känslighetsberäkningar visas i bilaga 3, där också diskussionen om räntefaktorns betydelse utvidgas.

Tabell 2. För kompletterande försöksbakgrund hänvisas till resp. bilaga.

Försök och gröda	U-PAL	U-PAL 1,3	PT	Gr.ek	Kommentarer	Bilaga
Korn, M-börd	5,6	6,4	216	0,71	Bördighetsf. i M län	F1
Korn, Msv-börd	3,9	4,4	111	0,36	Börd.f. i R E C län	F2
Korn, ettåriga	3,0	4,1	35	0,11		F3
Korn, Yara, bredspr	8,7	10,6	55	0,18	Gäller NS jfrt NPS	F4
Korn, Yara, kombi	7,8	9,6	37	0,18	Kombi N jfrt kombi NP	F4
Medel för korn	5,8	7,0	91	0,30		
Höstvete, M-börd	1,8	2,5	99	0,29		F1
Hv. Msv-börd	5,2	5,8	133	0,39		F2
Hv, Yara	0,4	1,0	32	0,09		F4
Medel för höstvete	3,3	4,4	119	0,37		
Stråsäd, Hahlin 1981	2,2	3,2				F5
Oljev., M-börd	8,8	9,8	114	1,12		F1
Oljev., Msv-börd	5,7	6,2	117	1,15		F2
Oljev., Hahlin 1981	9,4	11,3				F5
Vall, 70-80talet	0,2	0,8			Serier 3049, 3006	
Vall, Hahlin 1981	5,5	7,7				F5
Potatis, Hahlin 1981	10,5	11				F5
		U-PAL 0,7				
Sockerb., M-börd	10,5	10,1	3662	5,0		F1
Sockerb., Hahlin 1981	19,5	10,6				F5

Som synes både av tabeller och av underlaget i bilagorna är variationen betydande. Särskilt för stråsäd och vall kan olika försöksunderlag synas dra åt olika håll. Men

trots allt, när det hela summeras finner man en någorlunda samstämmighet mellan de olika materialen.

För korn betalar sig underhåll först om P-AL är ca 6 eller lägre. En 30 % bättre prissituation ger U-PAL ca 7, alltså ingen särskilt stor inverkan

I medeltal har grundskörden stigit med 91 kg för varje P-AL enhet, vilket alltså betyder att P-AL 10 gett 455 kg högre skörd än P-AL 5 utan fosforgödsling. Det kan synas betydande, men innan man funderar på att investera i en uppgödsling bör man göra en kalkyl enligt följande exempel: för att höja P-AL med 5 enheter behöver man tillföra ca 750 kg P extra (faktor 0,2 mellan P-AL-P och tillfört total-P, se ovan). Det kostar 8250 kr och 2 % ränta på dessa är 165 kr. Man fick 455 kg mer-skörd. Med ett nettopris på 0,60 får man ut 273 kr i intäkt. Det betalar räntan plus en rätt blygsam amortering. ”Gr.ek” är också under 1 för alla kornmaterial i tabellen. Det är viktigt att göra en kalkyl för en uppgödsling. Bakgrund ges i bilaga 3, där också valet av ränta för olika förhållanden närmare belyses.

Höstvete är mindre beroende än korn av P-AL. Underhåll betalar sig inte förrän man är en bit under P-AL 4. 30 % prisökning ändrar bilden föga.

Oljeväxter och sockerbetor har högre krav på P-AL.

I praktiken har man en växtföljd med olika grödor och P-AL ändrar sig föga mellan år. Man får då optimera för växtföljden. Frågan behandlas i bilaga 4.

Finns det en skillnad av betydelse mellan korn och höstvete? Det är logiskt att höstvete är mindre beroende matjordens P-AL än korn. Höstvetet skickar ner rötter meterdjupt redan på hösten, och får tillgång till större jordvolym under mycket längre tid än korn. Mykorrhizabildning bör också ha mycket större chanser att spela roll än under kornets korta intensiva växttid (maj-juli).

Om vi jämför Yaras ettåriga försök med bördighetsförsöken är det också logiskt att skördeökningarna för höstvete är lägre i de ettåriga, där i de flesta fall förfrukten har fosforgödsplats och noll-ledet man jämför med är tillfälligt och kort-siktigt.

Men det är ju tvärtom för korn! Här kan spela in att bördighetsförsöken har låga kvävegivor för korn. Yaras ettåriga försök ligger i dagens växtodlingsjordbruk med mer optimerade åtgärder överhuvudtaget. I underlaget ingår ofta två kvävegivor, varav en på nivån 140 N. Det bör dock påpekas att inga oekonomiskt höga kvävegivor har tagits med i underlaget. Sådana fall har uteslutits.

4.5.9 Utbyteskurva för fosfor

Ovan är diskussionen fokuserad på en underhållsgiva kring 20 kg P/ha. Hur fungerar högre resp. lägre givor? I figur 1 - 4 nedan visas resultaten av försök med olika givor fosfor.

Diagram 2. Ettåriga fälrförsök i korn: Utbyteskurva för fosfor.

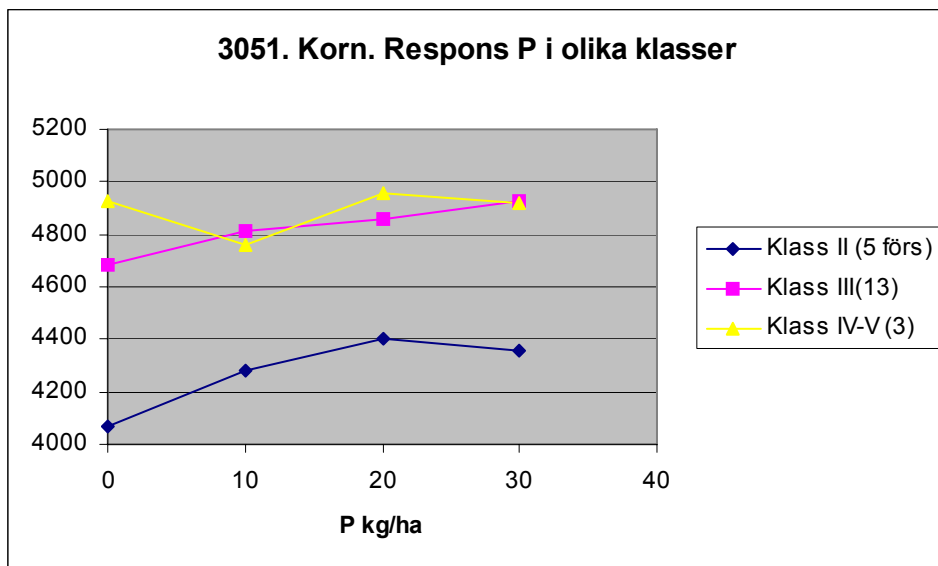


Diagram 3. Bördighetsförsöken i M län. Korn.

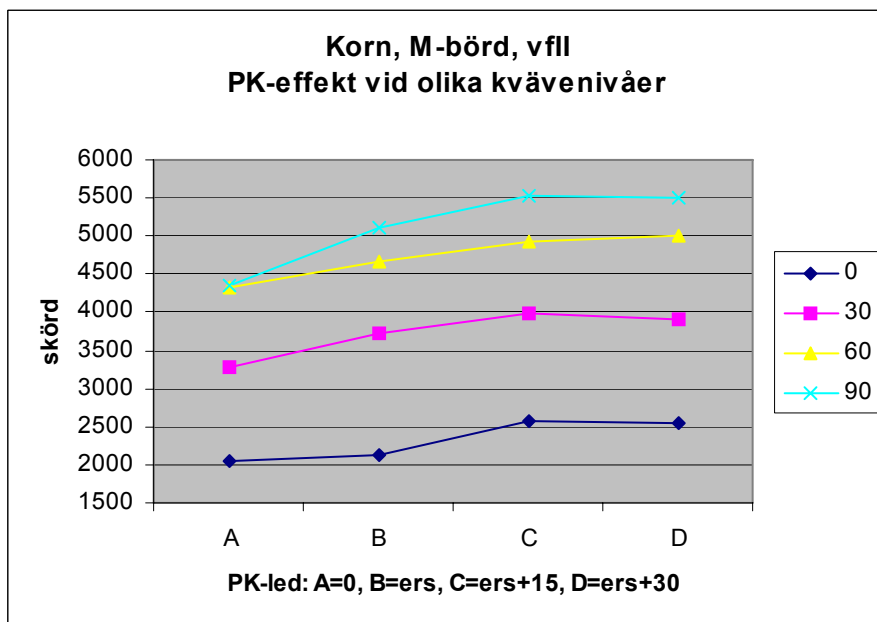
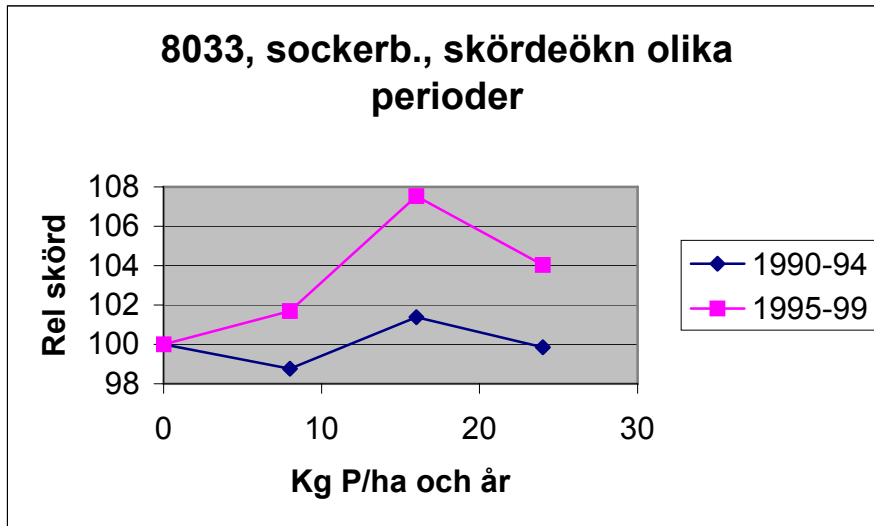


Diagram 4. Sockerbetor, Försök L3-8033, Fosforgödning vid höga P-AL.
Gunnel Hansson 2000.



Det finns en del oregelbundenheter i diagrammen ovan. Det blir gärna så när man gruppindelare material som inte är tillräckligt stora.

Diagram 2 visar regelbunden skördeökning för korn i klass II och III. Över givan 20 kg P finns inte stor effekt i någon klass. Lägre givor ger lägre skördeökning. De kan möjligen vara något effektivare per enhet P, men en sådan mereffekt är inte stor.

Diagram 3 är korn i bördighetsförsöken, PK-effekt vid olika kvävenivåer. Större delen av effekten kan tillskrivas P. Bilden blir densamma som i diagram 2, men ersättning här betyder att den ursprungliga fosfornivån från 1956 som bäst har bibehållits. Det har varit otillräckligt. Detta diagram visar också ett samspel med kväve. Skillnaden mellan A och C är ca 500 kg vid lägst kvävenivå, mer än 1000 kg vid den högsta.

Diagram 4 från 8033 togs med av följande skäl: försöksfrågan är om man behöver fosforgödsel vid höga P-AL. De första åren gav fosfor ingen effekt ens i sockerbetor, men efter en femårsperiod börjar en effekt skönjas. P-AL har då sjunkit med någon enhet, från ca 11 till ca 9. Det i detta sammanhang intressanta är att den låga givan på 8 kg P inte tycks göra någon större nytta. Men i spannmål finns inga fosforeffekter vid någon tidpunkt i dessa försök. (En svaghet i materialet från serie 8033 är att olika försöksplatser ingår de olika perioderna. Dock finns en logik i resultaten som förtjänar att de tas fram).

De utbytesrelationer som här visats kan ses som typiska. De motsäges inte av andra observationer. Det synes därför berättigat att dra slutsatsen att även vid låga fosfortillstånd räcker angivna rekommendationer till för full skörd av våra viktigaste grödor.

4.6 Effektiva gödslingstekniker

Kombisådd (radmyllning, gödselplacering) innebär att fosfors kontaktyta med marken minskas och att en större del av gödselfosfor blir direkt tillgänglig. När NP(K) används tillkommer ett fördelaktigt samspel mellan ammonium och fosfor. Självklart märks denna ökade effektivitet mest vid låga fosfortal. Exempel på försöksresultat (14 försök i korn 1992-94, Gruvaeus 1998), relativtal:

N bredspritt.....	100
NP "	102
N kombisått	110
NP "	116

Huvuddelen av försöken hade P-AL mellan 4 och 7. Kombieffekten i sig är stor och det är ett positivt samspel med fosfor.

I den större sammanfattningen av Yara-försök för tabell 2 kommer inte denna samspelseffekt fram. Materialen för bredspritt och kombi har olika bakgrund och P-AL-intervallet är brett.

Placering av fosfor med utsädet, i praktiken en liten mängd ammoniumfosfat, har prövats på senare år. Positiva resultat har rapporterats från Finland. Försöken i Sverige har inte gett samma goda resultat.

5 Diskussion

5.1 Allmänt om beräkningsprincipen

Den princip som här har använts avviker från både tidigare svensk praxis och den filosofi som ligger bakom de tyska och engelska rekommendationerna.

Citat (översatt) från VDLUFA 1997:

Klass C. Tillfredsställande halt att eftersträva.

Gödslingsrekommendation: ersättning.

Gödslingsverkan: ringa merskörd men halten i marken bibehålles.

Inga prisförhållanden kommer in i denna bedömning.

Vi har här förutsatt vid beräkningen av P-AL för underhåll (U-PAL) att gödningen skall ge ekonomiskt utbyte även om det är underhåll. Det är alltså en hårdare ekonomisk bedömning. Är en sådan motiverad och vad har den för konsekvenser?

Låt oss schematiskt diskutera olika fall. Korn har ett U-PAL på ca 6 enligt tabell 1. Vid P-AL 10 finns ingen fosforrespons enligt diagram 2, erfarenheter från försöks-serie L3-8033 mm. Hur kan man tänka och beräkna i olika fall?

P-AL 6:

- Man ger underhåll och får skördeökning som betalar kostnaden.
- Man ger mer än underhåll. Kortsiktigt netto är negativt, men långsiktigt skulle det kunna bli bättre genom att P-AL stiger och ger en ökad grundskörd. Men ”grundskördsekonomin” är negativ, och detta alternativ är därför sämre än 1. Men man bygger upp ett kapital som kan utnyttjas enligt 4 nedan.

P-AL 10:

- Man ger underhåll men får ingen skördeökning. Det ger samma netto som 1.
- Man ger i medeltal 10 kg P mindre än underhåll. Jämfört med 1 och 3 tjänar man ca 110 kr/ha. P-AL sjunker med 0,2-0,05 enheter per år, så man bör kunna köra systemet i minst 40 år innan man kommer till P-AL 6 och ska ge fullt underhåll.

Det ska observeras att detta räkneexempel gällde bara korn. Om t.ex. sockerbetor ingår i växtföljden blir ekonomin annorlunda (avsnitt Gödning av växtföljer nedan samt bilaga 4).

Det finns en ekonomisk vinst i att kontrollerat ”bygga ner” ett fosfortillstånd som är högre än U-PAL. Samtidigt blir det större miljösäkerhet.

5.2 Priskänslighet

Prisrelationerna styr U-PAL, men smärre prisfluktuationer har inte någon avgörande betydelse. Men det är klart att säljer man specialkvaliteter av spannmål för 1,40 kr/kg är skördeökningar viktigare än om priset är 0,90. Justering för priskänslighet behandlas ytterligare i bilaga 5, och där ges grund för individuell justering.

5.3 Grundskördens beroende av fosfortillståndet

En fråga tillkommer: skördenivåns beroende av P-AL, konstanten PT i tabell 1. Den ska inte användas för P-AL över 10. Den är i de flesta fall positiv. Det är klart den bör tolkas med reservation. Om i stora försöksmaterial uppgödslade skånska slättjordar kopplas samman med näringsfattigare smålandjordar kan man fråga sig om det verkligen är P-AL som faller utslaget. I bördighetsförsöken är växtnäringsvariabeln mera klar, men plats i växtföljd osv. kan spela in.

Medeltalet i tabell 2 för korn (PT) blir ca 90 kg per P-AL-enhet. Skillnaden mellan P-AL 5 och 8 i grundskörd blir då ca 300 kg. Lönar det sig att investera i en fosforuppgödning? Kolumnen Gr.ek. (Grundskördsekonomi) ger en anvisning. Är värdet under 1 har man förlorat, räknat på en 10-årsperiod och med 2 % ränta. Beräkningen specificeras i bilaga 3.

Det finns oftast ingen egen ekonomi i uppgödning utöver U-PAL om man odlar stråsäd och vall. Även för fosforkrävande grödor som betor och potatis synes dock P-AL ca 10 vara tillräckligt och det är ungefär där U-PAL ligger vid dagens prisnivå.

6 Summering grödvis

6.1 Spannmål

Jordbruksverkets rekommendation för 2004 är som följer (kg P/ha) i klass I - V:
35, 25, 15, 10, 0 (5 ton skörd, vilket betyder en ersättningsgiva på 15 kg P)

Enligt tabell 1 betalar sig underhåll för korn vid P-AL ca 6 (klass III) och för höstvetete vid P-AL ca 3 (klass II). Det finns en rätt stor variation.

Tar vi medeltalet av dessa grödor hamnar vi på P-AL 4,5, nära klassgränsen mellan II och III. Mot den bakgrunden skulle man rekommendera följande i klass I - V (plus. och minustecken markerar justering upp resp. ner):

15++, 15+, 15-, 0-10, 0

Detta gäller också 5 ton skörd, justering 3 kg P per ton. Det blir föga skillnad gentemot SJV:s gödslingrekommendationer för 2004.

Det finns sällan motiv för P-AL över 6 i en spannmålsväxtföljd.

Korn ger större och säkrare skördeökningar än höstvetete. Det finns skäl att fördela över en del av underhållet från höstvetete till korn. Då kan också fördelen med kombisådd bättre utnyttjas.

6.2 Oljeväxter

Jordbruksverkets rekommendation i de fem klasserna:
35, 25, 15, 10, 0 (2 ton skörd, justering 5 kg P per ton).

Enligt tabell 1 betalar sig underhåll för oljeväxter vid P-AL 6-10 (klass III-IV).

Mot den bakgrunden skulle man rekommendera följande i de olika klasserna:
10+++, 10++, 10+, 10, 0, vilket någorlunda stämmer med SJV.

Det finns inget motiv för P-AL över 10.

6.3 Vall

Jordbruksverkets rekommendation i de fem klasserna:

35, 25, 15 10, 0 (6 ton skörd vilket betyder en ersättningsgiva på ca 18 kg P).

Det finns inte mycket nyare försöksmaterial med fosfor i vall. Underlaget i tabell 1 är magert och spretande. De nyare försöken ger föga skördeökning för fosfor.

Rekommendationen har grundats mer på bortförseeln än på skördeökningen, vilket i och för sig är riktigt när man ser på hela odlingssystemet. För vallens produktion skulle man kunna minska något.

Det är av visst intresse att man i en aktuell tysk rapport (Römer et al., 2004) har uppmätt lägre kvävefixering i klöver när man inte fosforgödlat. Det gällde ekologiska odlingar med lågt fosfortillstånd.

Det synes inte finnas något motiv för att hålla P-AL högre än 5-7, dvs. mitten av klass III.

6.4 Potatis

Jordbruksverkets rekommendation i de fem klasserna:

100, 80, 60, 40, 20 (Gäller 30 ton skörd, vidare att detta räcker för två följande grödor).

Ersättning är ca 20 kg P.

Nyare försöksmaterial som tar upp potatisens fosforbehov från grunden finns inte. Man utgår från en betydande grundgiva och testar tilläggsgödning. I brist på annat har det gamla materialet räknats om och dagens priser satts in. Det säger då att ersättning betalar sig om P-AL är under 11. Vilket då betyder att också klass III skall gödslas över underhåll.

Mot den bakgrunden skulle man säga följande om de fem klasserna:

20+++ , 20++ , 20+ , 20 , 20 , vilket går rätt väl ihop med SJV:s siffror.

De nyare försöken med tilläggsgödning visar merskördar för 50+10 P jämfört med 50 som grundgödning, vilket befäster potatisens stora krav på lättillgänglig fosfor. När potatis ingår i växtföljden med intervall inte längre än 4 år bör normalt fosforgödningen koncentreras till potatisen. Det bör också observeras att potatisen behöver lättlöslig fosfor. Om vi tänker oss en 4 årig växtföljd med potatis och spannmål krävs ca 20 kg P per år i ersättning vilket blir 80 kg P. Detta ger gott utrymme för att både hantera potatisens fosforbehov och också för att bygga ner fosforförrådet om det är högt (klass V).

6.5 Sockerbetor

Jordbruksverkets rekommendation i de fem klasserna:

50, 40, 25, 20, 0

Inte heller för sockerbetor finns mycket nytt material, förutom försök på jordar med höga P-AL. Men det som finns är ganska entydigt: betorna behöver gott fosfortillstånd. Underhåll betalar sig vid P-AL under 11. Vid 30% lägre betpris hamnar man vid ca 10.

Vi kommer till följande i de fem klasserna:

20+++ , 20++ , 20+ , 20 , 0, vilket också stämmer rätt väl med SJV.

Möjligen kunde klass V ha nytta av en mindre giva vid etableringen.

P-AL 10-11 räcker också för sockerbetor.

6.6 Andra grödor

Vissa grödor, t.ex. lök, har mycket stora krav på löslig fosfor, och liksom för potatis måste man ge givor högre än underhåll. För dylika specialgrödor får man följa det odlingskoncept som gäller, men i möjligaste mån undvika kontinuerlig uppgödning.

6.7 Gödsling av växtföljder

Ovan har talats om P-AL-krav för olika grödor. Nu är P-AL ganska konstant men grödorna växlar. Odlar man bara höstvetete synes det räcka med P-AL 3-4, alltså klass II. Sedan höjs kraven i ordning korn, oljeväxter (klass III-IV), betor, potatis (klass IV). Men ingen av dessa grödor har nytta av P-AL över 10.

U-PAL ska inte ses som ett mål att nå. Det ska ses som en riktkäpp för att planera årets gödsling. Om man har raps och P-AL 6 ska man följa den rekommendation som följer av det: ge underhåll plus 10-15 kg P. Enligt försöken räcker det för ekonomisk optimal skörd. Gör man konsekvent så för alla grödor kommer P-AL att nå en jämvikt för växtföljden. Det tar lång tid men är mer ekonomiskt än att snabbt tillföra stora mängder P för att gödsla upp till P-AL ca 9. För vissa grödor finns dock skäl att ta hänsyn till grundskördsekonomin (se bilaga 4).

Gödsling av växtföljder belyses i bilaga 4. Allmänt kan sägas att man bör prioritera grödor med högt U-PAL vid fördelning av växtföljdens fosforbehov.

Fosfor ska ses långsiktigt och det finns ingen anledning till årsvis finjustering. Två principer är viktiga: kontrollera balansen över ett antal år och ge mer fosfor till potatis, betor och oljeväxter på bekostnad av stråsäd och vall.

Enligt tabell 2 ger fosfor inte särskilt stora skördeökningar i höstvetete. Det betyder att man åtminstone vid fosforklass över II kan avstå från fosfor till höstvetetet. Fosfortillstånd och växtodling får avgöra om man ska kompensera på annat ställe i växtföljden. Har man P-AL 6 och oljeväxter är det lämpligt att öka på givan där. Vid P-AL 9 eller enbart stråsådesodling behövs ingen kompensation.

Målinriktad höjning av fosfortillståndet utöver U-PAL lönar sig sällan. Det betyder att utjämning av fosfortillstånd vid precisionsodling inte generellt är en lönsam affär. Frågan kräver omsorgsfullt övervägande. Problemet där är områden med högre P-AL som får tillskott de inte behöver, problemet är inte områdena med lägre P-AL. Får de underhåll räcker det långt, utom möjligen i särskilda extremfall och vid specialodlingar.

Också vid högre P-AL finns skördeökningar även om de inte betalar full underhållsgiva. De synes dock ge skäl för att fördela det underhåll som behövs till de flesta grödor (undantag potatisväxtföljder etc). I synnerhet om man kombisår bör man inte underlåta att ta med minst underhållet till den aktuella grödan

7 Planeringssituationen styr

Vi ska inte ta för givet att långsiktigt brukande är den planeringssituation som gäller. Den som brukar mark som troligen blir bebyggd om några år behöver inte bekymra sig om den långsiktiga bördigheten. Framtidsplaner, kapitalförhållanden, ”trädning”, skatter mm påverkar också. Dessa frågor diskuteras mera utförligt i bilaga 3.

8 Praktisk gödning och fosforutflöde

Läget är ju så att ett utflöde av 0,4 kg P/ha är betydande miljömässigt medan en normal gödning är 20 kg. Om man gödskar så att 2 % blir ”extra svinn” fördubblas utflödet.

Lägg gödseln på rätt ställe

Om gödselspridaren vid fältkanten slänger gödseln 2 m för långt ut på väg och vägren förloras fosfor för 200 m² per 100 m. Om fältbredden är 100 m blir det just 2 %, vilket skulle fördubbla utflödet. Nu är ju fälten oftast bredare, men det finns också känsliga ställen inne i fältet, ytvattenintag etc.

Utnyttja tillgänglig teknik för att gödsla precist och lämna ogödslade zoner på känsliga ställen.

Gödsla på ”säkra” tider

Senhöst, vinter, tidig vår är den mest kritiska tiden för fosforutflöde. Då är markens ytlager ofta vattenmättat och vatten som lämnar matjorden tar med sig en del fosfor. Erosion kan förekomma. Det är inte bra att ha en fosforberikad markyta under denna tid. Inte ens nedplöjning undanröjer problemet. Överväg i stället att gödsla på våren även för höstsäden, men rådgör med den lokala expertisen.

Fördela på lämpligaste sätt

Höga koncentrationer i marken ger proportionsvis högre utflöde än låga. Det ger därför mindre utflöde att fördela gödseln till varje gröda än att förrådsgödsla för flera år. I en potatisväxtföljd får man dock kompromissa med detta.

Bra gödningsteknik

Kombisådd på våren är en bra teknik. Fosfor läggs i rotzonen där den behövs och blir föga utsatt för ytavrinning.

Stallgödseln

I hela denna rapport har talats om fosfor generellt. Lätt reglerbar gödning har förutsatts. Huvudfrågan vad gäller miljöpåverkande fosfor och jordbruk är dock stallgödseln. Det är viktigt att denna hanteras med samma mål som nämnts ovan, med rätt dosering och rätt spridningstidpunkter etc.

9 Forskning och forskningsbehov - perspektiv framåt

9.1 Gödslingsrekommendationer

Själva principen att betona ersättning har stöd i de senare arbetena från Tyskland och England (VDLUFA 1996 och 1997, Evans och Johnston 2004). De svenska rekommendationerna (Statens Jordbruksverk) har i sina faktiska värden närmast sig ersättning. Det finns en samstämmighet här, liksom det fram till 1980-talet fanns en samstämmighet om att ersättning inte räckte till. Huvudorsak till denna förändring är att jordarna inte är fosforfattiga längre. Men det betyder att de få jordar som är fosforfattiga kräver mer än ersättning. Särskilt fosforforskningen i Finland har betonat detta (Saarela 1998).

Har vi nått målet nu, eller kan vi komma vidare? Ett huvudmål har nåtts, möjlighet till effektivt fosforutnyttjande och ett långsiktigt stabilt system om denna kunskap utnyttjas fullt ut. Men ersättningsprincipen är inte ofelbar. Utvecklingen av markens fosfortillstånd behöver följas med P-AL. Men det har visats att andra analysmetoder (extraktionsmetoder) också väl avspeglar förändringar i marken. Trenderna stämmer men absolutvärdena blir olika för olika metoder.

Variationen i analysvärden och försöksresultat har omtalats. Kan vi förbättra sambandet mellan analys och gödslingsverkan? Arbetet pågår att höja P-AL-analysens värde genom att sätta samman den med flera markparametrar. Tid efter annan har också projekt för nyutveckling av analysverktyg lanserats. Det har varit frågan om kortsiktigare ”driftsanalyser” (extraktionsmedel: vatten eller svaga saltlösningar) avsedda att användas för det aktuella året. Växtanalys kan användas för samma kortsiktiga syfte.

Kommer man förbi ersättningsprincipen med en mera kortsiktigt pålitlig metod? Egentligen inte. Men den skulle kunna vara viktig för den mest krävande grödan i växtföljden. Exempel: en rapsgröda i en stråsädesväxtföljd. Genom en bra kontroll av rapsens fosforförsörjning kan man undvika att i onödan höja markens allmänna fosfortillstånd.

Kan en mer långsiktigt hållbar information erhållas genom bättre kunskap om hur markens totala fosforförråd fungerar? P-HCl bestäms ofta men resultatet användes föga. Organiskt fosfor analyseras bara i speciella forskningsprojekt. Som nämns nedan börjar större intresse ägnas dessa frågor.

9.2 Fosfor i marken

Så mycket arbete har ägnats denna fråga att det känns förmätet att försöka ta fram några få detaljer. Allmänt sett kan sägas att den tidigare i huvudsak kemiskt inriktade forskningen har utvecklats till en mera sammansatt kombination där rotzonens komplicerade ekologi, mykorrhiza och organisk fosfor är komponenter att ta hänsyn till. Några referenser: Stevenson (1986), Jungk (1994), Beichner och Röhmer (2000), Börling m fl (1999). Det kan också nämnas att i seminariet (NJF) ”Phosphorus Balance and Utilization in Agriculture - towards Sustainability” biologin i marken och mykorrhiza fick en rätt utförlig behandling. Seminariet har publicerats i Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 1998, nr 7.

De mer svårösliga fraktionerna som fångas av P-HCl, sågs i början som långsiktiga förråd att ta hänsyn till, om än mycket ospecificerat. I praktiken har denna analys inte spelat någon roll. På sätt och vis har denna fosforfraktion ändå fått en viss uppvärdering - den är aktiv och spelar med i den utveckling som registreras av P-AL.

Internationellt sett har analysmetoder som delar upp markens fosfor i olika fraktioner utvecklats i flera omgångar. Detta har dock inte resulterat i någon metod för direkt rådgivning. Dock finns områden där analyser av denna typ borde vara av intresse för ekologiskt jordbruk där man har restriktioner på gödselmedel samt för miljörelaterade bedömningar. Denna sistnämnda applikation borde leda till ökad betoning på en fullständigare analys av markens fosfor. För detta finns långliggande försök som utmärkta forskningsobjekt.

9.3 Fosforeffektiva grödor

Växtförädlingen arbetar med att ta fram grödor som är effektiva fosforupptagare och ställer mindre krav på koncentrationen i marken. Detta är naturligtvis av särskilt stor betydelse för många odlingsområden i Asien, Afrika, Sydamerika. För våra förhållanden vore det viktigt att arbeta med de mest fosforkrävande grödorna. De påverkar i dag hela systemets behov. En fosforeffektivare raps i en stråsädesraps-växtföljd skulle påverka systemet mycket, en fosforeffektivare höstvetete inte alls.

9.4 Gödslingstekniker

Radgödning har nämnts ovan, liksom metoder i precisionsjordbruket. En annan fråga är möjligheten att komplettera med bladgödning. Kan detta erbjuda en möjlighet att säkerställa skörden hos den mest fosforkrävande grödan i systemet utan att behöva gödsla upp helheten?

9.5 Kretslopp

Ersättning är en god tanke. Men riktigt bra blir den först om den kombineras med kretslopp. Då finns förutsättningar för uthållighet.

Ett kontinuerligt arbete pågår för att ytterligare förbättra den i dag höga slamkvalitén. Intresset för att använda slam på åkermark har åter ökat de senaste åren, bland annat till följd av detta arbete. Vidare finns utvecklingsarbete för att ta fram en ekonomiskt gångbar metod för att separera fram rent fosfat i avloppsbehandlingsprocessen. Hittills har det dock visat sig vara svårt att lyckas med detta. Mera direkta metoder som applicering av separerad urin kan ge lokala lösningar.

Referenser

- Beichner, L. och Römer, W. 2000. Ermittlung kinetische Parameter der sauren Phosphatasen intakter Zuckerrübenwurzeln bei variiertes Phosphatnahrung. J Plant Nutr. Soil Sci. ,162, 561-569.
- Börling, K. 2003. Phosphorus Sorbtion, Accumulation and Leaching. Effects of long-term inorganic fertilization of cultivated soils. Agria 428. Avhandling, SLU.
- Börling, K., Djodjic F., Kling, M., Ottabong E. och Ulén, B. 1999. Fosforhushållning - mykorrhiza, fixering och utlakning i mark. Fakta Jordbruk nr 10.
- Dock Gustavsson, A-M och Sundell, B 1983. Växtnäring i jordbruket. Del 1. Produktionsekonomiska analyser av gödslingsförsök. Institutionen för ekonomi och statistik, SLU. Rapport 213.
- Gruvaeus, I. 1998. Phosphorus: essential plant nutrient, possible pollutant. Kungl. Skogs- och Lantbruksak. Tidskr. 135, 7, 89-91.
- Gunnarsson, O. 1987. Den långsiktiga fosfordynamiken i de skånska bördighetsförsöken. Kungl. Skogs- o. Lantbruksakad. Tidskr., Suppl. 19, 71-92.
- Hahlin, M. och Ericsson, J. 1981. Fosfor och fosforgödning. Aktuellt från Lantbruksuniversitetet 294.
- Evans, T.D. and A.E. Johnston 2004. Phosphorus and crop nutrition: Principles and Practice. In Phosphorus in Environmental Technologies (Editor E. Valsami-Jones), IWA Publishing.
- Johnston, A. E. 1998. Phosphorus: essential plant nutrient, possible pollutant. Kungl. Skogs- och Lantbruksak. Tidskr. 135, 7, 11-22.
- Jungk, A. 1994. Phosphorus Supply of Plants - How is it accomplished? Proceedings of the National Science Council, ROC, Part B: Life Sciences, Vol. 18, No. 4, 187-197.
- Klemola, J., Järvi, A. och Kauppila, R. 1998. Phosphorus: essential plant nutrient, possible pollutant. Kungl. Skogs- och Lantbruksak. Tidskr. 135, 7, 93-98.
- Mattsson, L. 2002. Exploiting P in heavily P dressed fields in Sweden. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 48, 577-583.
- Mattsson, L. och Hahlin, M. 1991. Vad händer om vi slutar PK-gödsel?. Fakta Mark/växter nr 5.
- Mattsson, L., Börjesson, T., Ivarsson, K. och Gustafsson, K. 2001. Utvidgad tolkning av P-AL för mark- och skördeanpassad fosforgödning. SLU, Inst. för markvetenskap, Avd för växtnäring, Rapport 202.

Mattsson, L. 1998. P in Swedish longterm soil fertility experiments. Kungl. Skogs- och Lantbruksak. Tidskr. 135, 7, 69-76.

Naturvårdsverket 2004. Fosforutsläpp till vatten år 2010. Rapport 5364.

Naturvårdsverket 2005 (Ulén, Barbro). Fosforförluster från mark till vatten. Rapport 5507.

Phosphorus Balance and Utilization in Agriculture - towards Sustainability Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 1998, nr 7.

Römer, W. och Lehne, P. 2004. Vernachlässigte Phosphor- und Kaliumdüngung im ökologischen Landbau senkt die biologische Stickstofffixierung bei Rotklee und den Kornertrag bei nachfolgendem Hafer. J. Plant Nutr. Soil Sci., 167, 106-113.

Saarela, I. 1998. Problem soils in Finland require more phosphorus. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 1998, nr 7.

Statens Jordbruksverk 2004. Riktlinjer för gödning och kalkning 2005. Rapport 2004:22.

Stevenson, F.J., 1986. Cycles of soil, carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, mikro-nutrients. John Wiley & Sons, Inc.

Steineck et al., 2000. Växtnäring i kretslopp. SLU

Valizadeh, G. R., Rengel, Z., Rate, A. W. 2003. Response of wheat genotypes efficient in P utilization and genotypes responsive to P fertilization to different P banding depths and watering regimes. Australian Journal of Agricultural Research 54 (1), 59-65.

VDLUFA 1996. Ergebnisse langjähriger, ortsfester Phosphatdüngungsversuche auf Acker und Grünland. VDLUFA Schriftenreihe 42/1996.

VDLUFA 1997. Standpunkt: Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Darmstadt 1997.

Bilaga 1

Kalkylpriser

När man beräknar det ekonomiska resultatet av en åtgärd som ökar skörden borde man egentligen göra en hel täckningsbidragskalkyl. Då kommer det tydligt fram att den ökade skörden medför en del extrakostnader. Det blir extra transport, extra torkning osv. Skördeökningen kan inte värderas efter avräkningspriset.

Dessa extrakostnader liksom produktvärdena varierar dock mellan olika gårdar. En gård med egen tork som använder spannmålen för foderberedning har troligen ett högre värde på varan än gården som saknar tork och säljer sin spannmål på hösten.

Dock måste vi här räkna med vissa schabloner:

Spannmål, justering kr/kg spannmål

Kväve: 14 öre/kg. Skörderelaterad gödsling, 20 kg N/ton, 7 kr/kg N

Kalium: 2 öre/kg. 5 kg K/ton, 4 kr/kg (dock tveksamt på lerrika jordar).

Tröskning: 2 öre/kg

Torkning: 8 öre/kg

Transport: 4 öre/kg

Sammanlagt 30 öre/kg i skördeberoende kostnader.

Avräkningspris 0,90 kr/kg betyder ett nettovärde för merskörd på 0,60 kr/kg.

Självklart är det verkliga nettovärdet beroende på gårdens specifika förhållanden.

Oljevaxter

Kväve: 21 öre/kg. Skörderelaterad gödsling, 30 kg/ton, 7 kr/kg N:

Kalium: 4 öre/kg

Tröskning: 4 öre/kg

Torkning: 11 öre/kg

Transport: 4 öre/kg

Sammanlagt 44 öre/kg i skördeberoende kostnader.

Avräkningspris 2,14 betyder ett nettovärde för merskörd på 1,70 kr/kg.

Vall och grönfoder

Kväve: 14 öre/kg ts,

Kalium: 7 "

Skörd: 19 "

Sammanlagt 40 öre/kg ts.

Vid ett värde på ensilage av 1 kr/kg ts i silon blir nettovärdet för kalkyl 0,60 kr/kg.

Sockerbeter

Kvävegödning påverkas ej. Skörderelatering förekommer inte för sockerbeter.

Kalium: 1 öre/kg betor

Upptagning: 1 "

Lagring i stuka: 1 öre/kg. 30 % lagras.

Betkvot: 14 öre/kg (17,7 % socker)

Sammanlagt 17 öre/kg betor.

Ett betpris på 460 kr/ton betyder ett nettovärde för kalkyl på 290 kr/ton eller 1,64 kr/kg socker.

Potatis

Kväve: 1 öre/kg. 2 kg N per ton.

Kalium: 1 " . 4 kg K/ton

Upptagning: 5 "

Transport: 4 "

Sammanlagt 10 öre/kg.

Ett försäljningspris på 90 öre/kg motsvarar ett nettopris för kalkyl på 80 öre/kg.

Fosfor

11 kr/kg P.

Bilaga 2

Databearbetning och beräkningar

1. Skördedata (individuella försök) från försöksrapporter läggs in i Excelark:
P-AL, skörd utan P, skörd med 15-25 kg P.
Extrema pH-värden och skördevärden rensas bort. (Exempel: En skörd på 2500 kg vete i Skåne tyder på att försöksgrödan på något sätt har förolyckats).
Skördeökningen för fosfor räknas fram.
2. Diagram göres för skördeökning som funktion av P-AL. Excel räknar fram en regressionslinje efter mallen: $y = a * \ln(x) + \text{konstant}$.
Ett annat diagram görs med grundskörd som funktion av P-AL.
Regression $y = b * x + \text{konstant}$.
Regressionerna finns i resp. diagram i bilagorna F1- F5.
3. Beräkning, exempel korn, bördighetsförsöken M län.
Regression: ”skördeökning” = $-462 * \ln(\text{P-AL}) + 1070$.
Skördeökningen har erhållits för 15 kg P.
Skördeökningens värde: $(-462 * \ln(\text{P-AL}) + 1070) * \text{kornpris}$
Fosforkostnad: $15 * \text{fosforpris}$
Vi söker det P-AL vid vilket värdet är lika med kostnaden. Vi får ekvationen:
 $15 * \text{fosforpris} = (-462 * \ln(\text{P-AL}) + 1070) * \text{kornpris}$
Vi gör om något:
 $15 * \text{fosforpris} / \text{kornpris} = -462 * \ln(\text{P-AL}) + 1070$ Fosforpris/kornpris = pris-
kvot
 $15 * \text{priskvot} = -462 * \ln(\text{P-AL}) + 1070$
 $\ln(\text{P-AL}) = (15 * \text{priskvot} - 1070) / -462$
Om fosfor kostar 11 kr och nettovärdet av korn är 0,6 blir priskvoten 18,3
 $\ln(\text{P-AL}) = 1,72$
 $\text{P-AL} = 5,6$ (miniräknare eller Excel eller tabell)
5,6 är alltså det P-AL-värde där underhåll precis betalat sig i detta försöksmate-
rial och med dessa priser. I texten förkortat till U-PAL.

En kort logaritmtabell

ln(x)	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1
x	3	3,3	3,7	4,1	4,5	5	5,5	6	6,7	7,4	8,2	9	10	11	12	13	15	16	18	20	22

Bilaga 3

Långsiktig gödslingsekonomi

Underhållsgivan, som ersätter den fosfor som bortförs, har inga långsiktiga konsekvenser. Den bibehåller läget. Men högre eller lägre givor än underhåll påverkar P-AL, ändrar grundsituationen och har långsiktiga konsekvenser.

Följande exempel förutsätter att P-AL redan ligger över U-PAL.

Som exempel tar vi igen korn, bördighetsförsöken i Skåne. Skörden där beror av P-AL enligt sambandet ”grundskörd” = $216 * P-AL + 3818$ (bilaga F1 eller PT i Tabell 2). För en P-AL enhet ökar skörden med 216 kg. (Observera att det värdet är förhållandevis högt).

Men det behövs mycket fosfor för att höja med en P-AL-enhet: ca 150 kg P.

Läget blir då följande: man gödslar med 150 kg P extra (kostnad 1650 kr). Då får man 216 kg extra skörd (värd 130 kr) alla år framöver utan annan insats än underhåll.

För att kunna ekonomiskt värdera detta måste man nuvärdesberäkna. Om den ränta man vill använda är 2 % är nästa års skörd värd $130/1,02$, skörden om två år $130/(1,02*1,02)$ osv.

Vilken ränta ska användas? Ju lägre räntekrav desto högre värde får framtida skördar. Räntekraven beror på vad för alternativa investeringar man kan göra, inflationen, risken (kanske man lämnar odlingen om några år), skatteöverbäganden mm. Allt sammantaget kan man säga att 2 % inte är orimligt i dagens situation för en sådan långsiktig investering.

Vilken tid ska man räkna på? 10 år? Kanske 20? Vad tror man om framtiden? För att få perspektiv räknar vi exempel för både 10 och 20 år.

Nuvärdesberäkningen kan uttryckas med enkla faktorer. Värdet av 1 kr per år nuvärdesberäknat med olika förutsättningar är som följer:

Ränta	2%	3%	4%	Ränta	2%	3%	4%	Ränta	2%	3%	4%
10 år	9,0	8,5	8,1	10 år	1170	1105	1053	10 år	0,71	0,67	0,64
20 år	16,4	14,9	13,6	20 år	2131	1937	1768	20 år	1,29	1,17	1,07
Faktiska beloppet i exemplet bördighetsförsöken var 130 kr/år. Då blir nuvärdet:				Om vi jämför med (dividerar med) investeringen 1650 kr blir förhållandet (kallat Gr.ek., grundskördsekonomi) följande:				Om Gr.ek. är lägre än 1 har investeringen inte lönat sig under de förutsättningarna. Siffran 0,71 känns igen från tabell 2.			

Kalkyltiden har avgörande betydelse. Men observera att Gr.ek. under 1 inte nödvändigtvis betyder att uppgödning inte lönar sig. Om P-AL är under U-PAL har man direkta skördeeffekter av givor högre än underhåll och det är inte med i ovanstående kalkyl. Under sådana förhållanden får man uppgödslingen så att säga på köpet.

Mer om räntan: Räntefaktorn på 2 % är en real kalkylränta med beaktande av skatteaspekter. Vid 2 % inflation och utan beaktande av skatteaspekter motsvarar

räntefaktorn en nominell ränta på ca 4 %. Med beaktande av skatteaspekter motsvarar 2 % i räntefaktor en nominell ränta på ca 7–8 % för flertalet lantbrukare. Skatteaspekternas påverkan skiftar dock mellan olika företagare.

Planeringssituation påverkar ekonomiskt optimal fosforgiva

Det långsiktiga värdet av att ändra markens fosforförråd påverkas av det enskilda företagets planeringssituation. När företagaren skall fortsätta odla marken med traditionella jordbruksgrödor har ett högt fosforförråd i marken ett högre ekonomiskt värde för denna företagare än om marken kommer att upphöra att vara åkermark. Om åkermark skall säljas, utarrenderas eller det är ett arrende som skall frånträdas har markens fosforförråd mindre ekonomisk betydelse för denna företagare jämfört med att han själv skall fortsätta odla marken. Om barn skall överta fastigheten kan man i många fall föra samma resonemang som om det inte skulle skett något brukarskifte. Om mark är aktuell att ha som träda eller kommer att användas för andra ändamål än jordbruksmark kan det också vara aktuellt att ha en lägre fosforklass jämfört med fortsatt traditionell markanvändning. Slutsatsen av ovanstående resonemang är att planeringssituationen på det enskilda företaget har stor betydelse för vilken fosforklass som är ekonomiskt optimal att sträva efter att komma till för den enskilda företagaren.

Faktorer som påverkar val av ekonomiskt optimal fosforklass är bl a:

- Prisförhållanden mellan grödor och fosfor
- Vilka grödor som odlas
- Räntekrav
- Skattesituation
- Företagarens framtid
- Markens framtid
- Vem som brukar marken i framtiden
- Alternativvärde på kapital
- Likviditet och soliditet
- Övrigt investeringsbehov i företaget

Bilaga 4

Fosforgödslingsekonomi till växtföljder

I praktiken har man en jord med ett visst P-AL och olika grödor följer varandra. Hur ska man fördela fosfor till olika grödor i växtföljden under olika förhållanden? Är det ekonomiskt att höja P-AL? Frågan belyses här med några exempel.

Ekonomi och därmed rekommendationerna är avhängiga av priser, ränteläge och kalkylsituation.

Följande data från tabell 2 används: U-PAL, dvs det P-AL där underhåll betalar sig direkt, och PT, dvs. ökningen i grundskörd per P-AL, något schematiserat:

Korn : U-PAL 6, PT 90

Höstvete: U-PAL 3, PT 110

Raps: U-PAL 8, PT 120

Socketbetor: U-PAL 10, PT 3600.

Vi frågar oss hur man bäst gödslar en växtföljd med det planeringsunderlag som presenterats i tabell 2.

Vi räknar på 3-åriga grödkombinationer: höstvete- korn - korn, korn - höstvete - raps, korn, höstvete - sockerbetor. Beräkningarna blir med nödvändighet schematiska.

Kalkylränta 2 %, kalkyltid 10 resp. 20 år. Priser enligt rapportens grundförutsättningar, ett högre alternativ i vissa lägen.

Ekonomiskt resultat jämfört med ersättning 20 kg P per år räknas fram. Det sammansätts av två komponenter: direkt skördeskillnad jämfört med underhåll och en långsiktig skördepåverkan om P-AL förändras, nuvärdesberäknad. Resultatet uttrycks i kr per hektar och år jämfört med underhåll (20 kg P).

	P-AL	P grödvis och (medel)	10 år	20 år	
Höstvete-korn-korn					
1	5	20-20-20, (20)	0	0	Bas för jämförelsen. 20 P till allt
2	5	0-30-30, (20)	80	80	Bättre att styra över P till kornet
3	5	30-30-30, (30)	45	76	En uppgödning betalar sig här
4	8	30-30-30, (30)	-75	-44	Jfr 3. Det betalar sig inte här.
5.Pris+30%	8	30-30-30,(30)	-62	-22	Prisökningen räcker inte
Höstvete-korn-raps					
6	5	20-20-20,(20)	0	0	Bas för denna växtföljd
7	5	30-30-30,(30)	128	186	En uppgödning betalar sig
8	5	10-30-50,(30)	355	412	Bättre styra över till rapsen
9	8	30-30-30,(30)	-45	12	Uppgödning betalar sig inte
10	8	10-30-50,(30)	-45	12	Jfr 9. Obs: alla över U-PAL .
11	10	20-20-20,(20)	0	0	
12	10	0-0-0	271	-74	Kan byggas ner till lägre P-AL
Korn-höstvete-sockerbetor					
13	5	20-20-20,(20)	0	0	Bas för denna växtföljd
14	5	30-30-30,(30)	356	560	Uppgödning lönsam
15	5	30-0-60,(30)	936	1143	Ännu bättre konc. till betorna
16	8	20-20-20,(20)	0	0	Ny bas vid P-AL 8
17	8	30-30-30,(30)	316	523	Uppgödning lönsam
18	8	0-0-60,(20)	773	773	Jfr 16. Konc. till betor bättre
19	8	30-0-60,(30)	896	1103	
24	10	20-20-20,(20)	0	0	Ny bas vid P-AL 10
25	10	30-30-30,(30)	-110	-110	Inga skördeökningar, bara kostn.

Det bör betonas igen: siffrorna är skillnad mot normalt underhåll, 20 P, till alla grödor. De uttrycker den samlade nettoeffekten av årets gödning (medel över växtföljden) både det aktuella året och framåt enligt nuvärdesberäkningen. Om man gör likadant nästa växtföljdsomlopp kommer de långsiktiga effekterna för det att adderas till de här beräknade.

Vid P-AL 5 överväger direkta gödningseffekter i korn, raps och sockerbetor.

Vid P-AL 8 finns direkt gödningseffekt endast i sockerbetor

Vid P-AL 10 finns ingen effekt utöver underhåll i någon gröda.

I stråsädesväxtföljden P-AL 8 finns ingen ekonomi i uppgödning med använda kalkylpriser. Vall i växtföljden ändrar föga på dessa förhållanden.

Raps ger något bättre gödningsekonomi, men bilden förändras inte mycket.

Med sockerbetor blir bilden annorlunda. Det blir direkt gödningens respons även vid P-AL 8 (alt 17-19). Det blir viktigt att vidmakthålla P-AL 10 med fullt underhåll.

I en växtföljd bör de grödor som har högst U-PAL prioriteras. Skall fosfortillståndet byggas ner bör man reducera till i första hand höstsäd, vårsäd och vall. Grödor som sockerbetor och potatis skall ges högsta prioritet, i andra hand oljevaxter och korn. Det finns också särskild anledning att prioritera radgödslade grödor.

Bilaga 5

Priskänslighet

Tabellerna visar vid vilket P-AL underhåll betalar sig (U-PAL) vid olika priskvoter. Därmed kan rekommendationen anpassas för priserna i det individuella fallet. Observera att för skördeprodukten avräkningspriset bör korrigeras för skördeberoende kostnader.

Spannmål	Priskvot	U-PAL		Oljevaxter		
		Höstvete	Korn		U-PAL	
	11 kr/kg P	Mbörd		1,4	7,9	7,1
kr/kg				1,6	6,9	7,6
0,5	22	1,4	3,7	1,8	6,1	8
0,6	18,3	1,8	4,3	2	5,5	8,4
0,7	15,7	2,2	4,9	2,2	5,0	8,7
0,8	13,8	2,5	5,3	2,4	4,6	8,9
0,9	12,2	2,9	5,7			
1	11	3,1	6,1			
1,1	10	3,4	6,3			
1,2	9,2	3,6	6,6			
1,3	8,5	3,8	6,9			
1,4	7,9	3,9	7,1			
1,5	7,3	4,1	7,3			
2	5,5	4,7	7,9			

Formel för beräkning

Vi utgår från ett samband

(skördeökning) = $a * \ln(P-AL) + b$ (detta är angett i resp. diagram för försöksunderlaget)

Vid U-PAL ska skördeökningens värde vara lika med kostnaden för underhåll.

Vi sätter in underhållsgiva (UG) och priser och får då så småningom:

$$\ln(U-PAL) = (b - UG * \text{priskvot}) / a$$

En allmän bedömning:

smärre prisfluktuationer behöver inte tas hänsyn till, och det kan man inte heller göra praktiskt.

Bilaga F1

Fältförsöksserier

ALLMÄNT

Varje försökssiffra granskas individuellt. För korn utesluts platser med pH under 5,6. De ska kalkas för att fungera. Låga K-AL utesluts om NPK använts. Skördar <3000 för spannmål indikerar speciella problem och utesluts.

3-3046. 8 försöksår för korn.

Fastliggande försök med termofosfater

I planen ingår ett led med 20P årligen som superfosfat. Detta led jämte kontrollen användes här.

R3-3049. 10 försöksår för korn

Flerårigt försök med olika grödor.

I planen ingår P-nivåerna 0,15 och 45 P. 15 P får representera underhåll.

3-3051. 20 försöksår för korn.

Ettåriga försök för validering av gödslingsmodell (fosfor). 0,10,20,30 kg P. Givna 20 P får representera underhåll.

L3-3063. 16 försöksår.

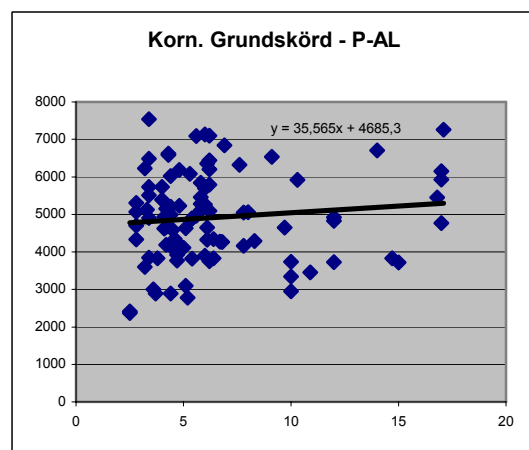
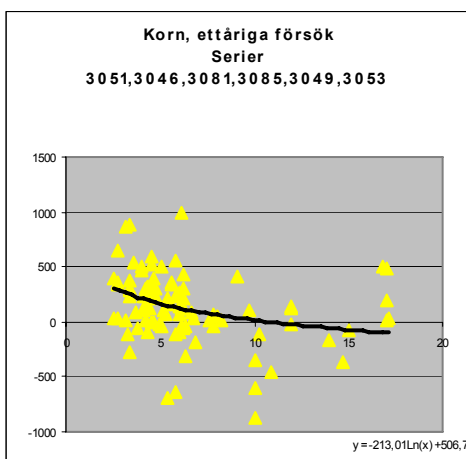
NP jämfört med ammoniumnitrat. Nivå 15P

L3-3081 och L3-3085. 26 försöksår för korn

Ettåriga försök med gödslingsteknik för malkorn.

På nivån 100 kg N kan jämföras NS med NPK. P-giva 18,5 kg P. Två kornsorter per plats.

Gödseln har bredsprits.



Bilaga F2

Bördighetsförsöken i M län

DATAUNDERLAG

Grund

Data från 1983-2002. Det innebär 4 omlopp. Ledmedeltal för perioden för individuella försöksplatser användes. Varje punkt i diagrammen representerar alltså 4 skördar med 4 års mellanrum.

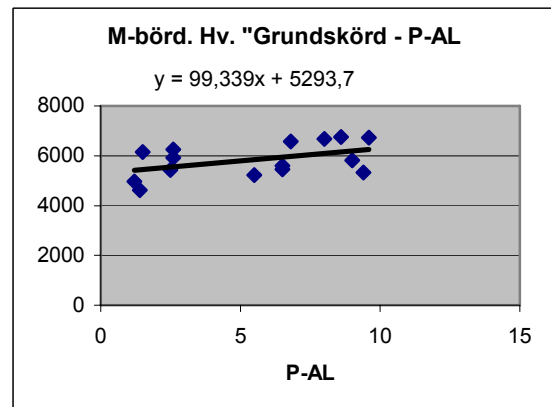
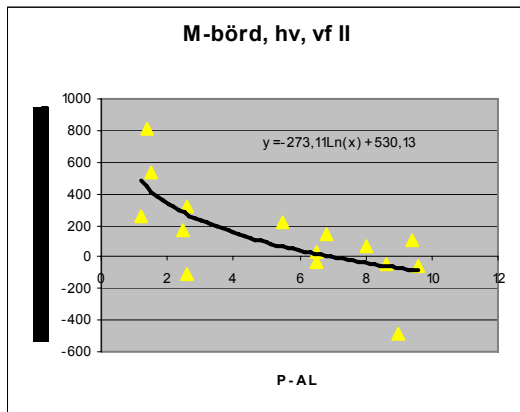
Fosfor och kalium är kopplade i dessa försök. Men jordarnas kaliumtillstånd är inte kritiskt lågt. Vidare användes enbart växtföljd II, den kreaturslösa, där kaliumflödena inte är så stora, och effekterna sätts i relation till P-AL. Kalium bedöms därför inte spela stor roll i de effekter som uppmätts.

Försöksplanen innehåller 4 PK-led, och skillnaden mellan leden är ca 15 kg P, en ungefärlig underhållsnivå. Man kan då bilda 3 skillnader mellan närliggande P-led, med olika utgångsnivåer och får sammanlagt 15 datapunkter för de 5 försöksplatserna. Dessa 15 punkter bildar utgångspunkt för diagrammen nedan.

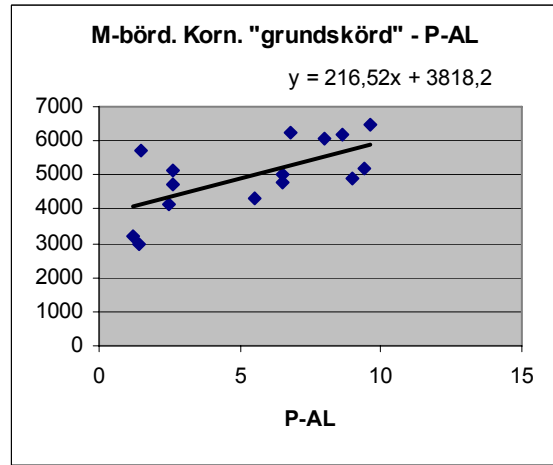
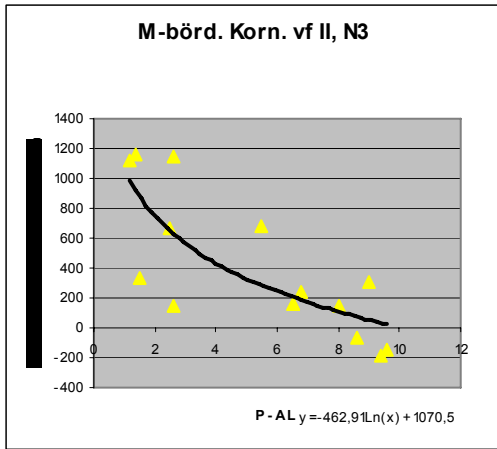
Med "grundskörd" menas här skörden i den lägsta P-nivån i den parvisa jämförelsen.

Den agronomiskt sett mest relevanta kvävegivan har valts, vilket innebär den högsta eller näst högsta, olika för olika grödor.

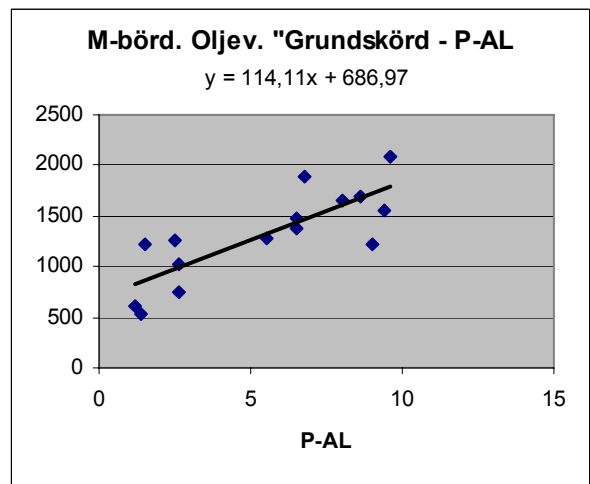
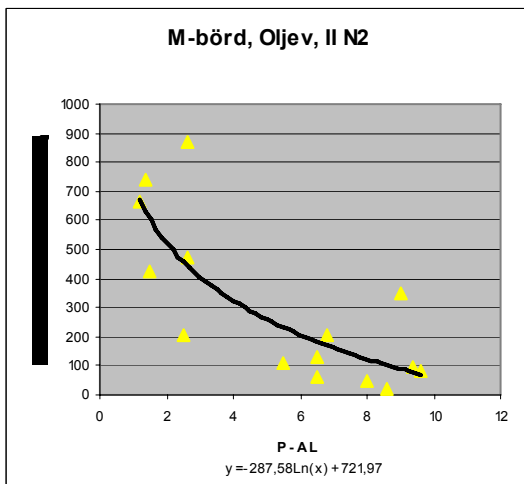
Bördighetsförsöken i M län. 1983-2002. Höstvet, Kvävenivå 2 (100 N)



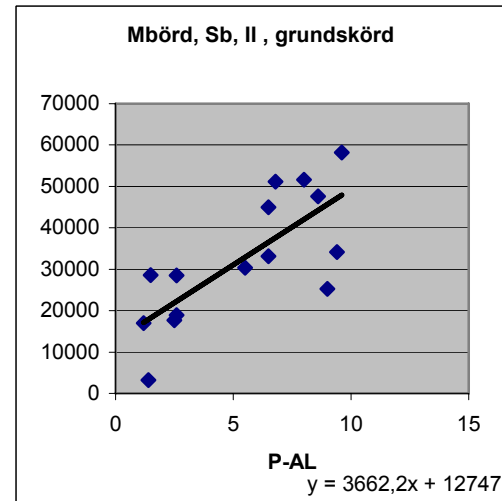
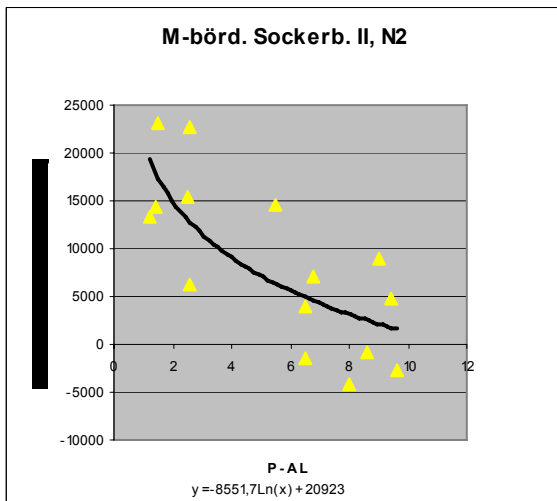
Korn, Kvävenivå 3 (90N)



Våraps, Kvävenivå 2 (100N)



Sockerbetor, Kvävenivå 2 (140N)

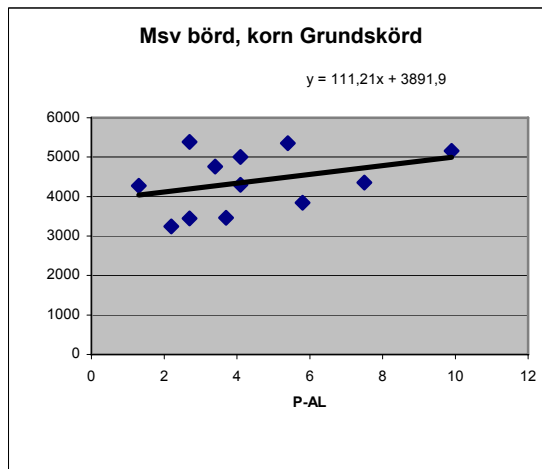
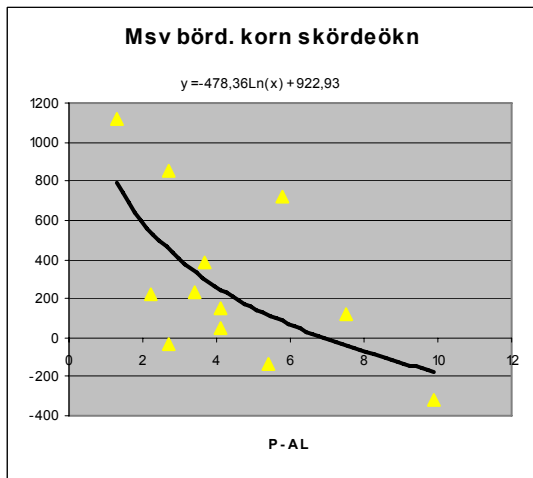
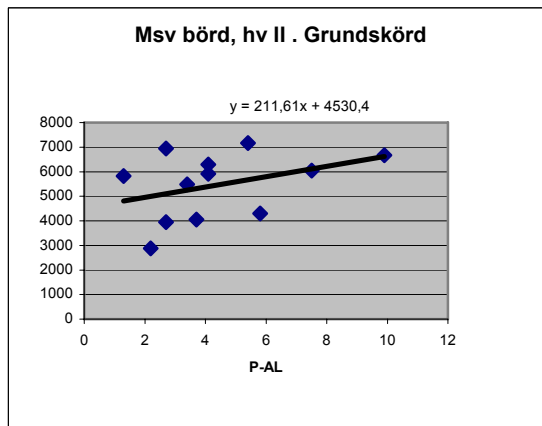
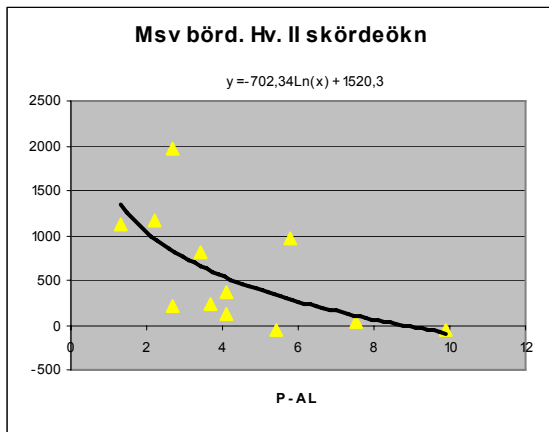


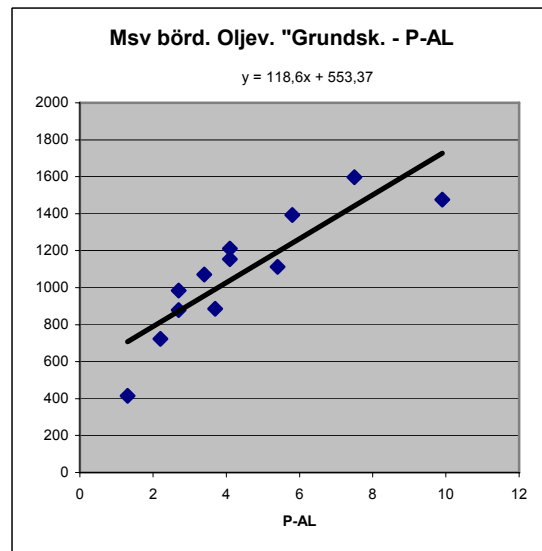
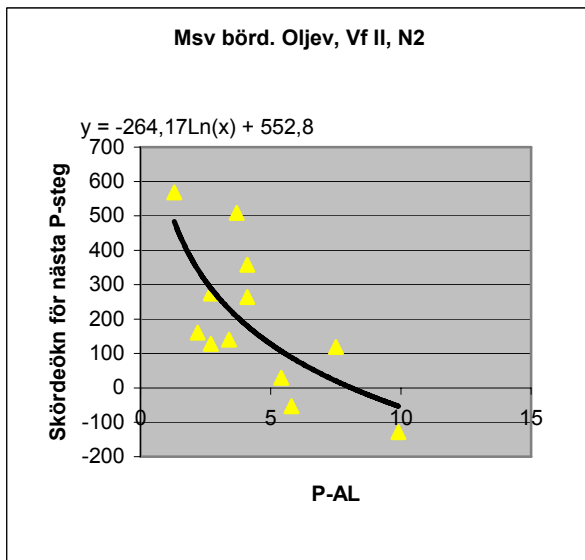
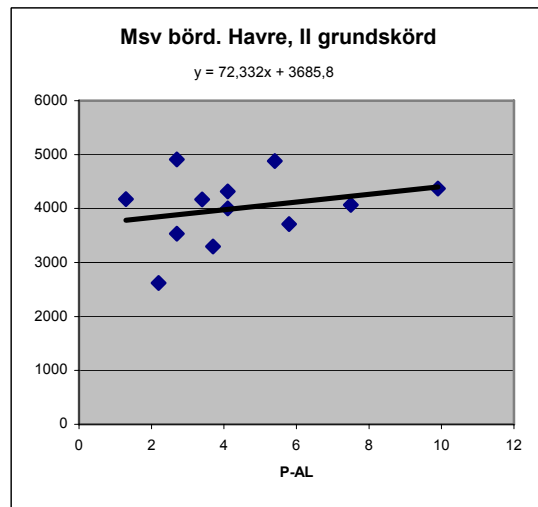
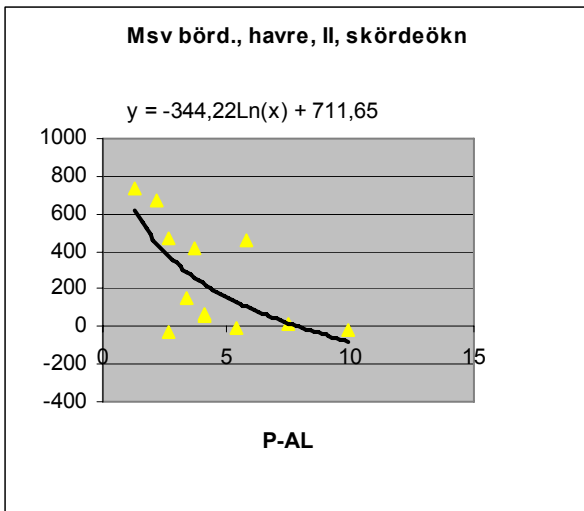
Bilaga F3

Mellansvenska bördighetsförsöken

5 platser: Bjertorp (R), Vreta Kloster (E), Högåsa (E), Kungsängen (C), Fors (C).
Försöksplatsen Fors har emellertid högt pH-värde, vilket ger en annan värdering av P-AL. Den har därför uteslutits vid dessa beräkningar.

Dataunderlag och -behandling som beskrivits för de skånska bördighetsförsöken





Bilaga F4

Försök Yara

Allmänt

Försöken är ettåriga fältförsök i praktiskt jordbruk, utförda av allmänna försöksorganisationer.

Försöksfrågan är ofta att jämföra olika gödselmedel, i en del fall på olika kvävenivåer. Fosforeffekter kan fås som skillnader mellan N och NPK. Ingår NPK utesluts platser med låga K-AL, varigenom påverkan av K på spannmålsskörden i stort sett kan uteslutas.

I de fall en högre kvävenivå ingår görs en kontroll av att denna varit ekonomisk, om inte så är fallet utesluts ifrågavarande data.

Kombisådd ingår i flera försöksserier

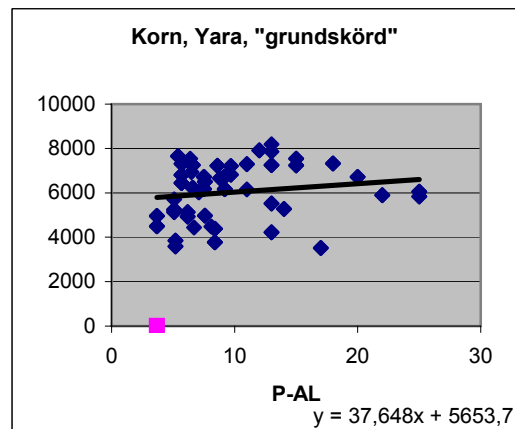
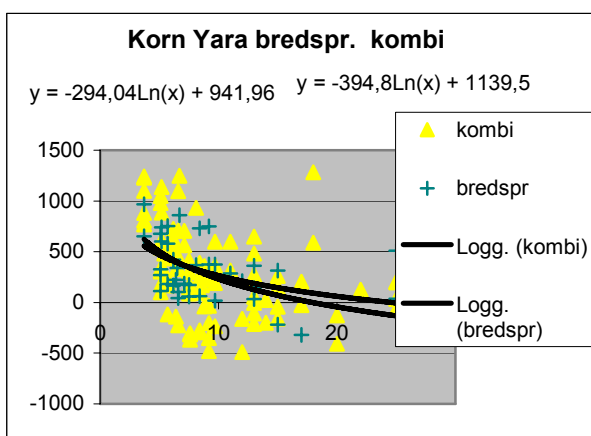
Korn. Försöksserier

9712. NPK mikro till korn. Kombi och bredspritt. 100 och 140 N.
NS (Axan) har jämförts med NPK 20.3.5 eller 22.4.8, båda utan mikro..
P-nivå 15-18 resp 25 kg P/ha.
Totalt 60 jämförelser kombi, 24 bredspritt före sådd.

9812. Kvävegödning med och utan Mn till korn. 100 N.
P-nivå 15.
NSmikro har jämförts med NPKS mikro, bredspritt resp kombi.
16 jämförelser kombi, 10 bredspritt.

9912. NPK kombi till korn. 100 N.
P-nivå 15.
NS jämfört med NPKS
22 jämförelser kombi.

2003 NPK till korn.
NS och NPKS kombi resp bredspritt, 100 resp 140 N.
P-nivå 17 resp 23.
6 jämförelser kombi, 3 bredspritt.



Höstvete, Försöksserier

9524. PK till höstvete höst resp vår. 25 försök 1996-99.

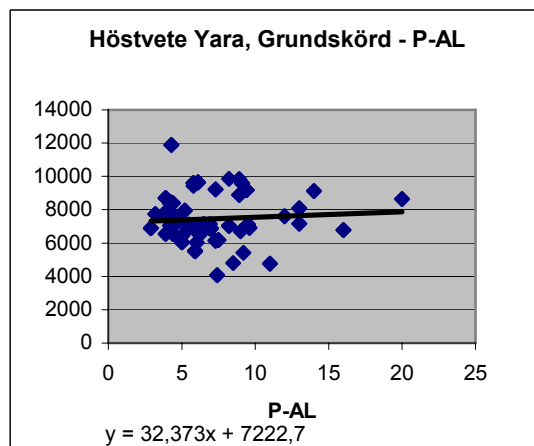
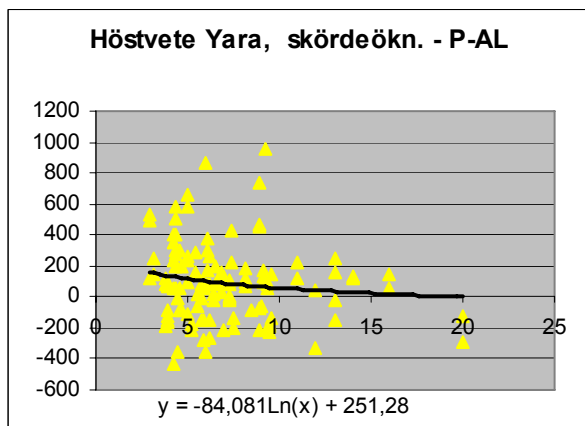
2 jämförelser per försök, totalt 50.

9924. PK - NPK till höstvete höst resp vår, även kombi.

Totalt 4 P-jämförelser per försök, 4 försök 2000, totalt 8 jämförelser.

0024. P till höstvete, kombi resp bredspritt på hösten.

3 jämförelser per försök, 7 försök 2001-2002, totalt 21 jämförelser.



Bilaga F5

Försöksdata från Hahlin - Ericsson 1981.

I rapporten kvantifieras i diagram sambandet fosforgiva - skördeökning för olika P-AL-klasser för olika grödor. Ur dessa diagram har avlästs skördeökning för underhållsgiva i de olika klasserna och med det underlaget har samma regression och samma beräkningar gjorts som för övriga försöksmaterial. Det blir få punkter i dataunderlaget, men varje punkt representerar ett stort försöksunderlag, om än schematiserat.

Kort karakteristik av utbytesrelationerna för olika grödor:

Stråsäd: Utbyteskurvan har i stort sett planat ut vid underhållsgivan (20P).

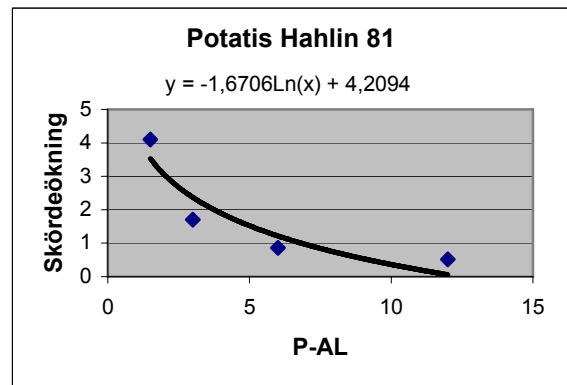
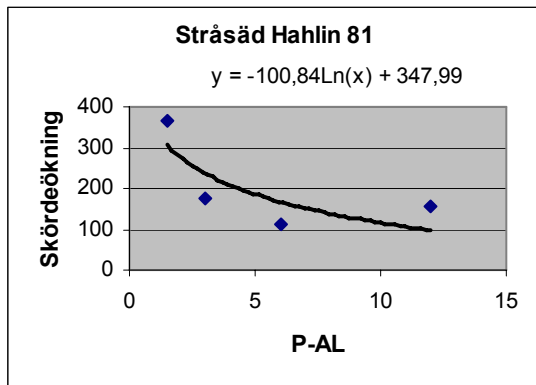
Oljeväxter: Dito.

Vall: Utplaning vid ungefär halv underhållsgiva (utom för klass I, som visar ökning till högsta givan (45 P). Oregelbundna resultat.

Potatis: Betydande skördeökningar upp till 70-80 P.

Sockerbetor: Betydande skördeökningar även över underhåll.

Som exempel visas här diagrammen för stråsäd och potatis.



Fosforgödning och odlingsekonomi med perspektiv på miljömål

RAPPORT 5518

NATURVÅRDSVERKET
ISBN 91-620-5518-6
ISSN 0282-7298

Sveriges miljökvalitetsmål ”Ingen övergödning” har ett delmål att de vattenburna utsläppen av fosforföreningar från mänsklig verksamhet ska minska. I takt med att reningsverken byggts ut utgör fosfor från jordbruksmark en allt större andel av fosfor till vatten, framför allt i södra Sverige. Användningen av mineralgödselmedel med fosfor, inom det svenska jordbruket, har minskat sedan 1970-talet och är nu nere på nivåer som motsvarar 1900-talets början.

Ambitionen i denna skrift är att, med hjälp av nya försök och priser, uppdatera den rapport som presenterats av Dock Gustavsson och Sundell (1983) och som då startade en debatt om fosforgödningens ekonomi. Produktionsekonomiska analyser är tidsbundna och de måste uppdateras med ny kunskap.

I tillägg behandlas miljöaspekter och utvecklingsperspektiv som har samband med fosforgödning. Eftersom det i Sverige inte har bedrivits så mycket forskning om organisk fosfor och markmikrobernas betydelse för växternas fosforförsörjning har inte denna fråga belysts närmare i denna rapport.