



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för mark och miljö

Långsiktig förändring av fosforhalt och skördenivåer för jordar med höga P-AL-tal – en analys av försöksserien "Exploatering av höga fosfortillstånd"

Long-term change in phosphorus levels and yields on phosphorus rich soils

– analysis of the experiment series 'Exploiting P in heavily P dressed soils'

Sabina Braun

Kandidatuppsats i biologi
Agronomprogrammet – inriktning mark/växt

Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU
2014:09

Uppsala 2014

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för mark och miljö

Sabina Braun

Långsiktig förändring av fosforhalt och skördenivåer för jordar med höga P-AL-tal
– en analys av försöksserien "Exploatering av höga fosfortillstånd"
Long-term change in phosphorus levels and yields on phosphorus rich soils
– analysis of the experiment series 'Exploiting P in heavily P dressed soils'

Handledare: Holger Kirchmann, institutionen för mark och miljö, SLU
Examinator: Sigrun Dahlin, institutionen för mark och miljö, SLU

EX0689, Självständigt arbete i biologi – kandidatarbete, 15 hp, Grundnivå, G2E
Agronomprogrammet – inriktning mark/växt 270 hp

Serienamn: Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU
2014:09

Uppsala 2014

Nyckelord: fosfor, P-AL, exploatering av höga P-AL-tal

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Sammanfattning

Försöksserien *Exploatering av höga P-AL-tal* startades 1982-1983 och omfattade sjutton försöksplatser över hela Sverige. Varje plats inkluderade tre försöksled, ett ogödslad kontroll (A), ett ersättningsgödslad led (B) gödslad med 15 kg P ha⁻¹ år⁻¹ samt ett uppgödslad led (C) gödslad med 30 kg P ha⁻¹ år⁻¹. De fem platser där försöket låg längst är i detta arbete analyserade utifrån fyra hypoteser, vilka kortfattat utgick från att för jordar med höga P-AL-tal och ett pH över 6,0 kommer P-AL i matjorden inte att minska i kontrollen (A) eller det ersättningsgödslade ledet (B), samt att P-AL och P-HCl i matjorden kommer att öka för alla jordar i det uppgödslade ledet (C). Den sista hypotesen var att skördenivåerna i de ogödslade leden inte kommer att minska så länge P-AL är högre än 12 mg P 100 g⁻¹ jord.

De slutsatser jag dragit för de fem utvalda jordarna är följande:

- Ett pH värde på över 6,0 garanterar inte ett stabilt P-AL-tal i en ogödslad men fosforrik jord.
- Minskningshastigheten av P-AL i en ogödslad jord är högre vid lägre pH, och minskar i takt med att pH ökar.
- I de ersättningsgödslade leden (B) tycks hastigheten för minskningen av P-AL falla vid ett pH över 6,5. Jordartens inflytande kan dock inte bortses från.
- Det sker inte en ökning av P-AL och P-HCl i alla uppgödslade led (C) men ett högre pH-värde tycks ge en positiv trend för P-AL. Här tycks även jordarten spela in, då en lerjord ökar i P-AL-tal medan en sandjord minskar, trots samma genomsnittliga pH.
- Skördenivåerna tycks vara stabila vid ett P-AL-tal högre än 12 mg P 100 g⁻¹ jord, men den gränsen bör ses mer som en tumregel än ett absolut gränsvärde.

Abstract

The field trial *Exploatering av höga P-AL-tal (Exploiting P in heavily P dressed soils)* started in 1982-1983 and included seventeen study sites placed across Sweden. Each site included three treatments, one unfertilized control (A), one aiming at replenishment of harvest removal, i.e. fertilized with 15 kg P ha⁻¹ year⁻¹ (B) and one over-fertilized (C) with 30 kg P ha⁻¹ year⁻¹. In this thesis data from the five longest-running study sites are analysed based on four hypotheses. The hypotheses stated that in soils with high P-AL values and a pH over 6.0 P-AL will not decrease over time in the control (A) or in the replenishment treatment (B), that P-AL and P-HCl in the top soil will increase at all sites for the over-fertilized treatment (C) and that yields will not decrease as long as the P-AL is above 12 mg P 100 g⁻¹ soil.

My conclusions from the analysis of data from the selected sites are as follows:

- A pH above 6.0 cannot guarantee a stable P-AL value in an unfertilized but phosphorus-rich soil.
- The P-AL of unfertilized soils decreased faster at lower soil pH than at higher pH.
- In the replenishment treatment (B) the rate of P-AL decrease seems to fall at a pH of 6.5. However, the influence of the soil type cannot be ignored.
- P-AL and P-HCl did not increase in all over-fertilized treatments. A higher pH-value seems to be connected with an increase in P-AL. The soil type seems to have impact, since one site with clay soil has an increase in P-AL but one site with sand soil has a decrease at the same average pH value.
- The yields seem to be stable with a P-AL above 12 mg P 100 g⁻¹ soil but this should be seen more as a rule of thumb than as an absolute threshold.

Innehållsförteckning

1	Inledning	4
	1.1 Syfte	4
	1.2 Hypoteser	5
	1.3 Teoribakgrund	6
	1.4 Fosforanvändningen i Sverige, nu och historiskt	7
	1.5 Tidigare utvärdering av försöksserien	9
2	Material och metoder	10
	2.1 Beräkningar	12
3	Resultat	13
	3.1 Bjelkesta, Örsundsbro (C-6-1982)	13
	3.2 Götala, Skara (R 304-82)	18
	3.3 Klön, Viksjöfors (X 8-83)	23
	3.4 Lönnstorp, Lomma (M 360-83)	27
	3.5 Tjällmark, Umeå (AC 13-82)	31
4	Diskussion	36
	4.1 Fältförsökens utformning och genomförande	36
	4.2 Diskussion av hypoteser	37
5	Slutsatser	44
	Referenser	45

1 Inledning

1.1 Syfte

Målet med denna undersökning av försökserien ”Exploatering av höga P-AL-tal” är att undersöka hur mängden fosfor i odlade jordar med höga initiala fosforhalter förändras över tiden, samt att undersöka vilken effekt fosforgödsling av jordar med höga fosforklasser har på skördenivåerna.

Av försöksseriens sjutton platser har de fem som legat längst valts ut för analys och utvärdering. Urvalet motiverades med att en längre försöksperiod ökar möjligheten att dra säkra slutsatser och att kunna fastställa signifikanta förändringar samt att data över jordart, mullhalt och P-AL-tal i allv saknades för jordarna som har uteslutits.

1.2 Hypoteser

Till grund för utvärderingen ligger följande hypoteser, som har testats utifrån datamaterialet:

- i. Utan fosforgödsling förblir förrådet av P-AL för jordar i eller över P-AL-klass III oförändrat under försöksperioden så länge jordens pH ligger över 6.
- ii. I de försöksled där kompensationsgödsling av fosfor ges ($15 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$) sker ingen förändring av P-AL eller P-HCl under försökets tidsperiod, förutsatt att jordens pH ligger över 6.
- iii. I de försöksled som uppgödslats med fosfor ($30 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$) kommer både P-AL och P-HCl att öka.
- iv. Vid en P-AL nivå över $12 \text{ mg P } 100 \text{ g}^{-1}$ jord är skördenivåerna stabila även utan fosforgödsling.

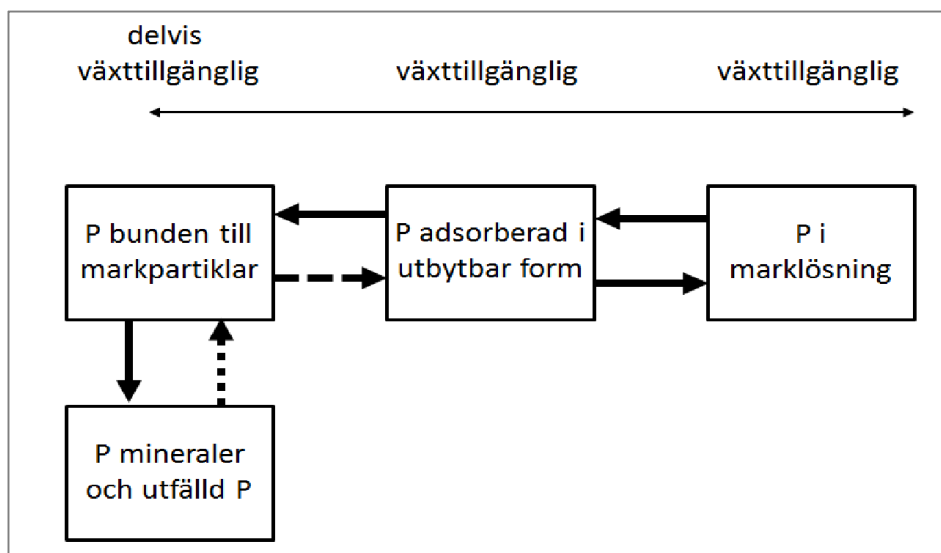
1.3 Teoribakgrund

Fosfor är ett grundämne som är essentiellt för den levande cellen, då det ingår ibland annat i ATP, DNA samt i cellmembranet. Växter som lider brist av fosfor blir hämmade i sin tillväxt och utveckling, vilket vid växtproduktion leder till minskad skörd och sämre frökvalitet (Eriksson et al. 2011).

Växternas upptag av fosfor sker framförallt i form av fosfatjoner och då framförallt som divätefosfat, H_2PO_4^- , men vid högre pH även som vätefosfat, HPO_4^{2-} (Eriksson et al. 2011). Koncentrationen av dessa joner i markvätskan är betydligt lägre än växternas behov och fosfatjonerna rör sig mycket långsamt i jorden. Det är därför mycket viktigt att jorden har förmåga att snabbt leverera nytt fosfor till marklösningen genom desorption av fosfor från markpartiklarna (Syers, Johnston, & Curtin, 2008). Tillgänglighetsmaximum för fosfor ligger mellan pH 6-7 (Eriksson et al. 2011).

Den fosfor som är lättillgängligt för växterna är bara en liten del av markens totala fosforinnehåll. Den stora majoriteten av markfosfor är bundet i mer svårtillgängliga former, som beståndsdel i organiskt material, adsorberat till järn- eller aluminiumoxider, som primärt mineral eller utfällt som sekundärt mineral (Eriksson et al. 2011). Dessa olika former av fosfor kan grovt delas in i olika grupper med olika grader av växttillgänglighet (figur 1). Organiskt bunden fosfor anses vara svårtillgängligt för växer då biologisk nedbrytning måste ske innan upptag är möjligt (Eriksson et al. 2011).

För att mäta jordens fosforinnehåll i det berörda försöket har två tekniker använts. Extraktion med ammoniumacetat-laktat (AL) och extraktion med saltsyra (HCl). AL löser upp vad som anses vara lättillgängligt fosfor, medan extraktioner med HCl även löser upp mer svårösliga oorganiska fraktioner (Bertilsson et al. 2005). Ingen av dessa metoder kan dock användas för att mäta jordens innehåll av organiskt bundet fosfor. Den organiska fraktionen av fosfor i jorden uppskattas till att variera mellan ca 20 och 70 % av det totala innehållet (Essington 2004).



Figur 1. Schematisk bild över markens olika oorganiska fosforformer (H. Kirchmann, L. Ehde, G. Börjesson & T. Kätterer, 2012)

1.4 Fosforanvändningen i Sverige, nu och historiskt

Sedan 1970-talet har användningen av fosforinnehållande mineralgödsel minskat i Sverige och ligger nu på samma nivåer som vid början av 1900-talet (Bertilsson et al. 2005). Trots denna minskning av fosforgödsling beräknas 46 % av åkermarken i Sverige ligga i fosforklass IV och V (Carlsson, Naturvårdsverket 2013). År 2010 uppmättes Sveriges jordbruksmark till 3,1 miljoner hektar (SCB 2013) vilket innebär att cirka 1,5 miljoner hektar i Sverige ligger i fosforklass IV och V, gränsvärden för fosforklasser hittas i tabell 1. Jordbruksverket skriver i sina riktlinjer för gödsling och kalkning från 2014 att en fosforklass högre än III eller IVa inte kan motiveras vare sig ekonomiskt eller miljömässigt.

I en rapport från Naturvårdsverket år 2005 skriver Göte Bertilsson, Håkan Rosenqvist och Lennart Mattsson att jordar med högt fosforinnehåll ska gödulas mindre än ersättning och därmed ”byggas ner”. De slår även fast att ingen av våra vanligt förekommande grödor gynnas av ett P-AL-tal över 10 mg P 100g⁻¹ jord. (Bertilsson et al. 2005)

Tabell 1. Klassindelning och halter av fosfor, mg per 100 g torr jord (Jordbruksverket 2014)

Lättlöslig fraktion		Förrådsfraktion	
Klass	P-AL	Klass	P-HCl
I	<2	1	<20
II	2,0–4,0	2	20-40
III	4,1–8,0	3	41-60
IVa	8,1-12,0	4	61-80
IVb	12,1-16,0	5	>80
V	>16		

1.5 Tidigare utvärdering av försöksserien

Försöksserien Exploatering av höga P-AL-tal har analyserats av Agr. Dr. Lennart Mattsson. I rapporten ”Vikande fosforanvändning – vad händer med bördighet och skördar?” (Mattsson 2010) diskuterades hur olika egenskaper hos jordarna påverkar P-AL nivåerna och skördarnas utveckling. Mattssons slutsatser är att ett pH värde över 6 garanterar att P-AL kan ligga i balans vid kompensationsgödsling av P, att ett P-AL över 12 mg P 100g⁻¹ jord kan exploateras under en längre tid utan skördeförändringar, medan ett P-AL under 6 mg P 100g⁻¹ jord gör att man riskerar sjunkande P-AL-tal och negativa effekter på skördenivåerna om P inte tillförs. Han ser även att gödslingseffekterna är tydligare i vårsäd än i höstsäd.

Mattsson har valt att jämföra olika jordar efter lokalisering, pH-nivå eller ursprunglig P-AL nivå, medan denna undersökning enbart fokuserat på de fem av försöksplatserna som har legat längst tid.

2 Material och metoder

För detta arbete har data från försöksserien ”Exploatering av höga P-AL-tal” (R3-3038) analyserats med målet att finna mönster och trender i hur fosforinnehållet i jordar förändras över tid vid olika nivåer av fosforgödsling.

Försöksserien omfattar sjutton platser med tre olika försöksled med fyra upprepningar på vardera platsen. Ett led helt utan fosfor, kontrollled (A), ett där 15 kg P ha⁻¹ tillförs årligen, ersättningsled (B) och ett där 30 kg P ha⁻¹ tillförs årligen, uppgödsled (C). För att studera jordens innehåll av växttillgängligt fosfor användes P-AL-metoden, en extraktion med ammoniumacetat-laktat som ger ett P-AL-tal i enheten mg P 100 g⁻¹ jord. Det gjordes även extraktioner med 2 M saltsyra (P-HCl) för att även kunna mäta förrådsfosfor i jorden, också P-HCl uttrycks i enheten mg P 100 g⁻¹ jord.

Från de sjutton platser inkluderade i försöket har de fem som legat längst valts ut och undersökts i detta arbete. På de övriga tolv försöksplatserna gick det inte att urskilja några tydliga trender från grafer över P-AL och P-HCl förändring. Enbart data från matjorden har använts för fosforbalanser, då de få provtagningarna av alvjorden inte var tillräckliga.

Prover för matjord har tagits mellan 0-20 cm, alvprover mellan 40-60 cm. I Tabell 2 och 3 visas data från jordarna vid försöksstart. Klons startvärde för P-AL ligger mer än tio enheter lägre än vid det andra mättillfället.

Tabell 2. Startvärden för de fem utvalda jordarna, 0-20 cm

Plats	Jordart	P-AL matjord [mg P/100 g jord]	P-HCl matjord [mg P/100 g jord]	Mullhalt matjord [%]	pH matjord
Bjelkesta, Örsundsbro	mmh ML	21,2	94	3,6	7,2
Götala, Skara	mmh sv l sand	28,6	153	4,1	6,3
Klon, Viksjöfors	ML	10,9	63	5,9	6,1
Lönnstorp, Lomma	mmh moränlätt- lera ¹	9,5	44	4,5	7,2
Tjällmark, Umeå	mr sand	23,2	94	10,4	5,2

Tabell 3. Startvärden för de fem utvalda jordarna, 40-60 cm

Plats	Jordart	P-AL alv [mg P/100 g jord]	P-HCl alv [mg P/100 g jord]	Mullhalt alv [%]	pH alv
Bjelkesta, Örsundsbro	mmh ML	17,5	90	1,6	7,4
Götala, Skara	mmh l sand	17,6	115	3,4	6,5
Klon, Viksjöfors	ML	3,0	42,0	0,8	6,6
Lönnstorp, Lomma	moränlättlera	1,3	36	2,8	7,7
Tjällmark, Umeå	mmh sand	13,3	105	4,7	4,6

Uppgifter för fosforhalt eller torrsbstanshalt i skörd fanns i databasen för majoriteten av åren, men då de saknades användes data från samma gröda då den närmast i tid i växtföljden odlades på samma plats. Dessa uppskattningar har gjorts för åren 1986 och 1991 på plats Lönnstorp, samt för året 1983 för plats Klon.

Alla beräkningar, grafer och regressioner gjordes i Excel. Programmet Minitab, och metoden "one way-ANOVA, Tukey's test" användes för att undersöka förekomsten av signifikanta skillnader ($p < 0,05$) mellan försöksleden.

¹ Jordart tagen från annat fältförsök i området, se Marie Andersson (2014)

2.1 Beräkningar

2.1.1 Markens innehåll av växttillgänglig fosfor

För att räkna om P-AL (mg 100 g⁻¹ jord) till kg P i de översta 20 cm på ett hektar, motsvarande 2000 m³ jord, användes ekvation 1.

Ekvation 1.

$$\text{kg P i } 2000 \text{ m}^{-3} \text{ jord} = 20 * \rho \text{ (g cm}^{-3} \text{ jord)} * P - AL \text{ (mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ jord)}$$

Där 20 är en omräkningsfaktor, ρ är den torra skrymdensiteten och P-AL är jordens innehåll av AL-lösligt fosfor.

Då det inte fanns data för jordarnas ρ användes ekvation 2.

Ekvation 2.

$$\rho \text{ (g cm}^{-3} \text{ jord)} = (-0,19 * SOC \text{ (\%)} + 1,82 \text{ (Kätterer et al. 2006)})$$

Där ρ är markens torra skrymdensitet och SOC är jordens procentinnehåll av organiskt kol (soil organic carbon).

Markens kolhalt antogs vara 58 % av dess mullhalt (Eriksson et al. 2011).

2.1.2 Massbalanser

För att undvika att eventuella mätfel eller andra misstag vid första och sista mättilfället skulle avspeglas för mycket i resultaten användes ekvationer från trendlinjer för P-AL halten för att räkna ut P-AL vid start och slut. Sedan räknades den totala mängden bortförd P ut med hjälp av data över skördenivåer samt P-halten i grödor. Mängden tillförd fosfor räknades ut som antal år gånger aktuell gödselgiva, dvs. 0, 15 eller 30 kg ha⁻¹.

2.1.3 Relativskördar

För att kunna jämföra olika grödors skördenivåer med varandra så används relativtal där kontrolledet (A), som helt saknar P-gödsling, har satts som 100 % och de två andra leden sattes i relation till detta. Siffrorna för relativskördarna härstammar från de fältkort på vilka olika uppgifter om försöken registerades varje år.

3 Resultat

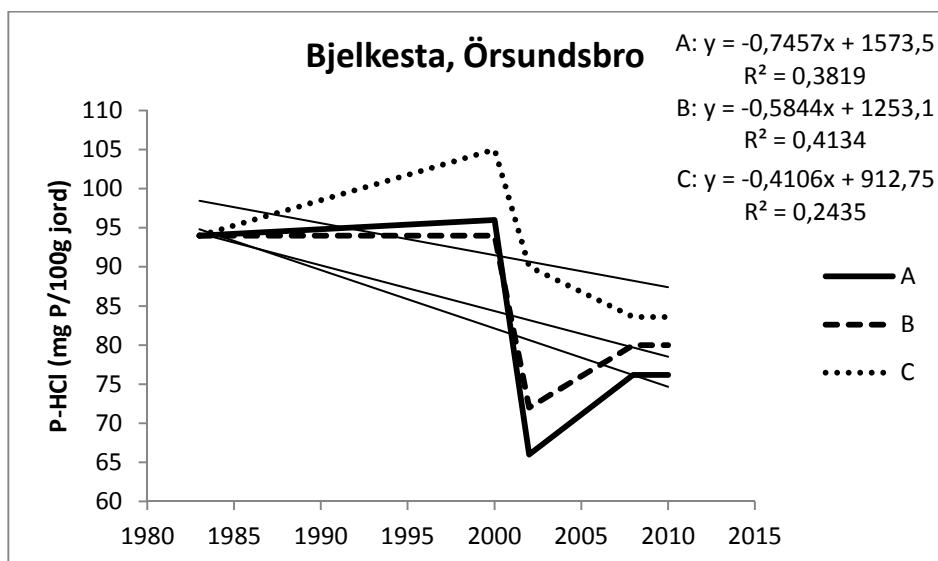
I denna del redovisas hur försökjordarnas uppmätta innehåll av P-HCl och P-AL har förändrats under försöksperioden, samt hur deras pH-värden och skördenivåer utvecklats. En fosforbalans för matjorden samt tabeller över alvens och matjordens beräknade årliga P-AL och P-HCl förändring presenteras också för varje försöksplats.

Varje jord redovisas för sig, och resultaten presenteras i form av grafer och tabeller med en kort beskrivning om vilka trender som går att urskilja. Data över fosforbalanser beskrivs med utgång från det förväntade resultatet, vilket är en minskning av P-HCl i den ogödslade kontrollen (A), ingen förändring i det ersättningsgödslade ledet (B), ($15 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$) samt en ökning i det uppgödslade ledet (C) ($30 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$).

3.1 Bjelkesta, Örsundsbro (C-6-1982)

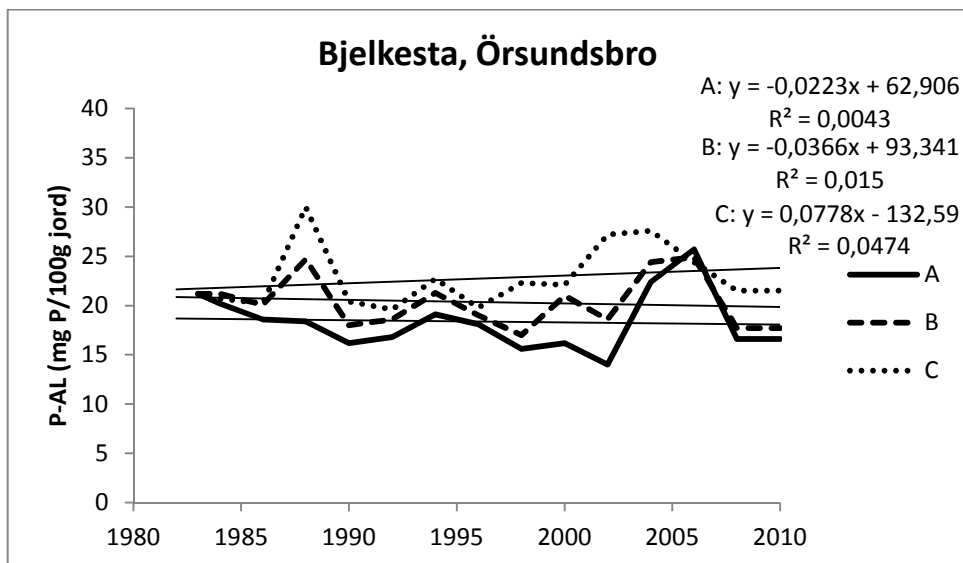
Försöket i Bjelkesta pågick under 28 år, mellan år 1982 och år 2010, på en måttligt mullhaltig mellanlera belägen i Uppland.

Mätning av mängden P-HCl i matjorden har skett vid fem tillfällen mellan 1982 och 2010 (figur 2). Värdena varierar under tidsperioden, men visar en nedåtgående tendens i alla led. Det finns ingen signifikant skillnad mellan de olika behandlingarna.



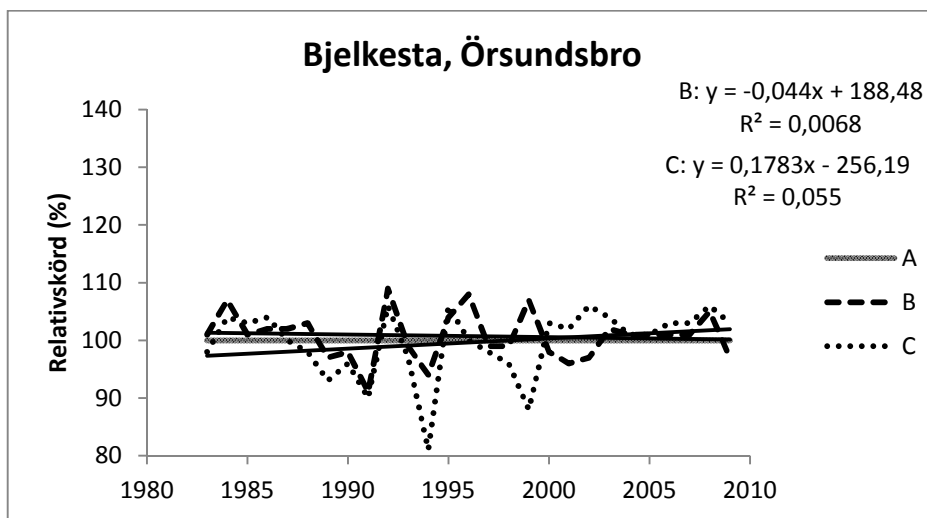
Figur 2. P-HCl för Bjelkesta uttryckt i mg P 100 g⁻¹ matjord. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödslas med 30 kg P ha⁻¹.

Förändringen av P-AL uppmättes femton gånger under tidsperioden 1982-2010 (figur 3). Under denna period ses ingen markant förändring av halten växttillgängligt fosfor (P-AL) i kontrollerledet (A) och ersättningsledet (B), medan en svag ökning kan anas i det uppgödslade ledet (C). Då variationen mellan år är så pass stor kan inte slumpfaktorn från provtagningen uteslutas helt från resultaten, men antalet provtillfällen anses vara tillräckligt många för att kunna skönja en trend. En statistisk analys bekräftar detta och visar att det uppgödslade ledet (C) skiljer sig från kontrollen (A) medan det ersättningsgödslade ledet (B) inte uppvisar signifikant skillnad från kontrollen.

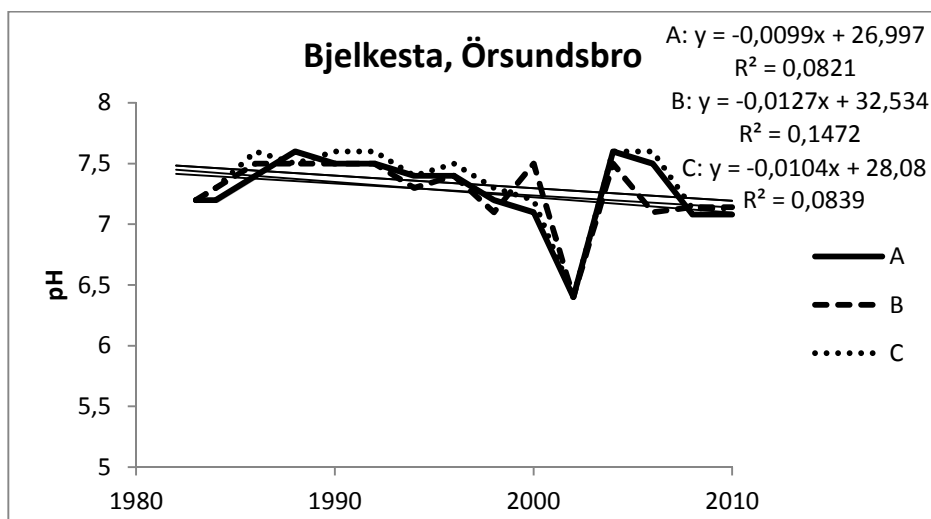


Figur 3. P-AL i matjord, Bjelkesta. Uttryckt i mg P 100 g⁻¹ matjord. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödslas med 30 kg P ha⁻¹.

Relativskördarna med kontrollled (A) satt som referens visar ingen signifikant skillnad mellan led (figur 4).



Figur 4. Relativskördar, Bjelkesta. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödslas med 30 kg P ha⁻¹.



Figur 5. pH, Bjelkesta. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödslas med 30 kg P ha⁻¹.

För försöket i Bjelkesta ligger pH i matjorden runt 7 med en viss minskning över tid i alla led (figur 5). Det syns även en oförklarlig svacka i alla led år 2001.

En fosforbalansräkning för Bjelkestas matjord (tabell 2) visar nettoflödet av fosfor som har skett via gödsling och bortförsel under 26 år (1983-2009) i alla led. Den visar även förändringen av P-AL och P-HCl i jorden. Alla värden är uttryckta i kg fosfor per hektar.

För kontrollen (A) är bortforslingen av fosfor med skörd 464 kg per hektar under de 26 år som försöket pågick. Minskningen av växttillgänglig fosfor var dock enbart 17 kg ha⁻¹, medan minskningen av P-HCl i jorden uppgick till 552 kg.

Mängden tillförd fosfor är högre än mängden bortförd med skörd i det kraftigt uppgödslade ledet (C), vilket ger en nettotillskott på 315 kg P under hela tidsperioden. Förändringen av P-AL under samma period omräknat till kg P ha⁻¹, visar en ökning på 58 kg P ha⁻¹ i det uppgödslade ledet (C). Samtidigt har markens HCl-lösliga fosforinnehåll minskat med 304 kg per hektar.

Tabell 2. Fosforbalans för matjorden i Bjelkesta, 1983-2009

Led	Total mängd P tillförd med gödsel	Total mängd P bortförd med skörd	Nettoflöde (tillfört-bortfört)	Förändring av P-AL	Förändring av P-HCl
	kg P ha ⁻¹	kg P ha ⁻¹	kg P ha ⁻¹	kg P ha ⁻¹	kg P ha ⁻¹
A (0 kg P)	0	464	-464	-17	-552
B (15 kg P)	390	472	-82	-27	-432
C (30 kg P)	780	465	315	58	-304

Värt att notera från tabell 2 är att minskningen av P-HCl i jorden är betydligt högre än vad nettoflödet visar, samt att det uppgödslade ledet (C) uppvisar en minskning i P-HCl trots att nettoflödet av fosfor är positivt, det vill säga att det tillförts mer än vad det har bortförts med skörd.

Alvens innehåll av P-AL har sakta minskat i alla led, medan det i matjorden syns en ökning av P-AL för det uppgödslade ledet (C) (tabell 3). Det sker det en snabbare minskning av P-AL i alven än i matjorden för både kontrollerdet (A) och ersättningsledet (B). I alven har minskningen av P-HCl har gått snabbare än minskningen av P-AL (tabell 4). Både P-AL och P-HCl har uppmätts två gånger i alven.

Tabell 3. Förändring av P-AL i alven (1983-2000) och matjorden (1983-2010), Bjelkesta

Led	P-AL start, alv	P-AL slut, alv	Total förändring alv	Förändring per år, alv	Förändring per år, matjord
	mg 100 g ⁻¹ jord	mg 100 g ⁻¹ jord	mg 100 g ⁻¹ jord	mg 100 g ⁻¹ jord	mg 100 g ⁻¹ jord
A (0 kg P)	17,5	11,9	-5,6	-0,33	-0,02
B (15 kg P)	17,5	12,4	-5,1	-0,30	-0,04
C (30 kg P)	17,5	10,6	-6,6	-0,39	0,08

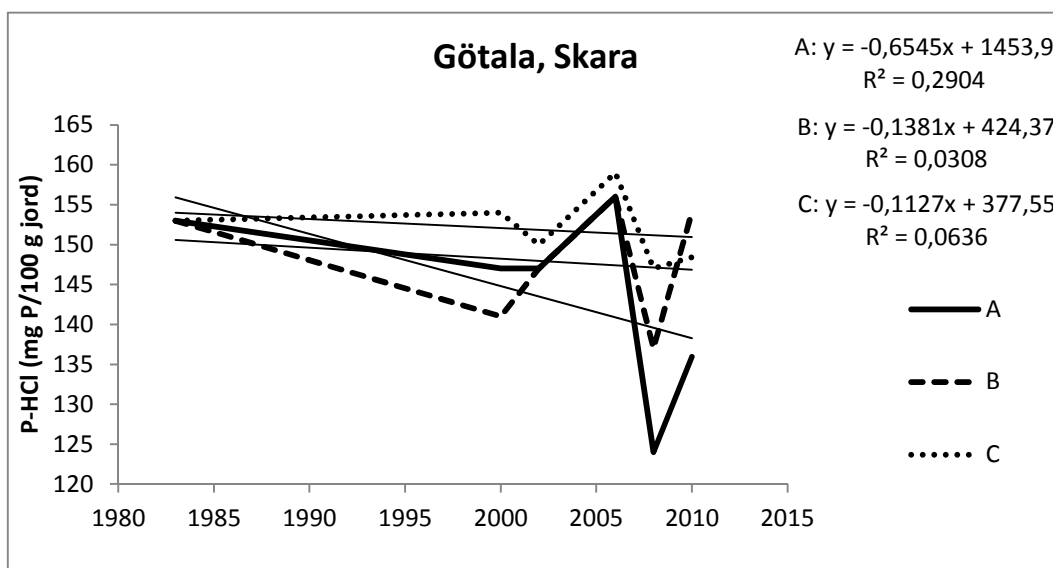
Tabell 4. Förändring av P-HCl i alven (1983-2000) och matjorden (1983-2010), Bjelkesta

Led	P-HCl start, alv mg 100 g ⁻¹ jord	P-HCl slut, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Total förändring alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, matjord mg 100 g ⁻¹ jord
A (0 kg P)	90	81	-9	-0,53	-0,75
B (15 kg P)	90	86	-4	-0,24	-0,58
C (30 kg P)	90	79	-11	-0,65	-0,41

3.2 Götala, Skara (R 304-82)

Denna jord ligger i Västra Götaland och är en måttligt mullhaltig svagt lerig sandjord. Försöket på denna plats låg mellan år 1982 och 2010.

I alla led ses en minskande tendens för P-HCl i jorden, med brantast minskning för det ogödslade kontrollledet (A) (figur 6). Det finns ingen signifikant skillnad mellan de olika försöksleden. Prover tog vid sex tillfällen.

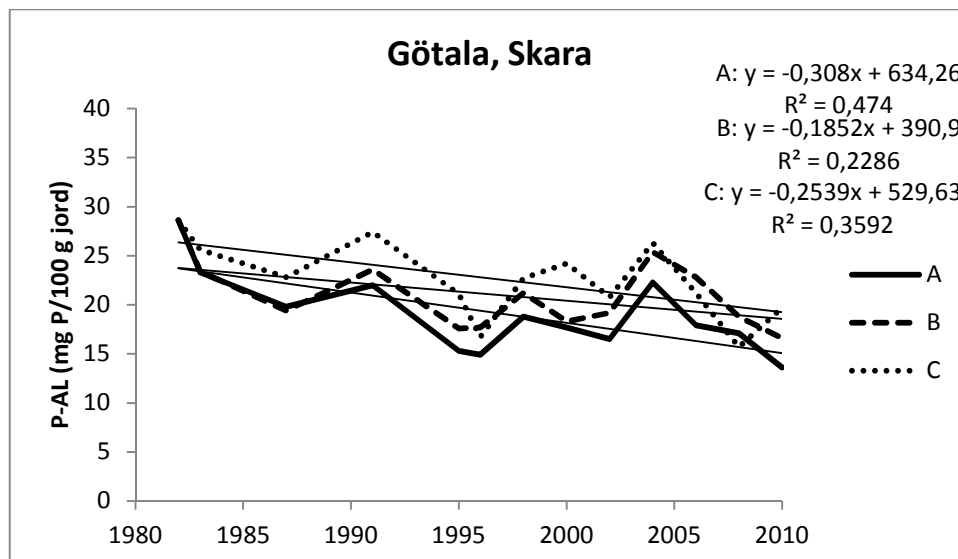


Figur 6. P-HCl (P-HCl) Götala, uttryckt i mg P per 100 g matjord. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödslas med 30 kg P ha⁻¹.

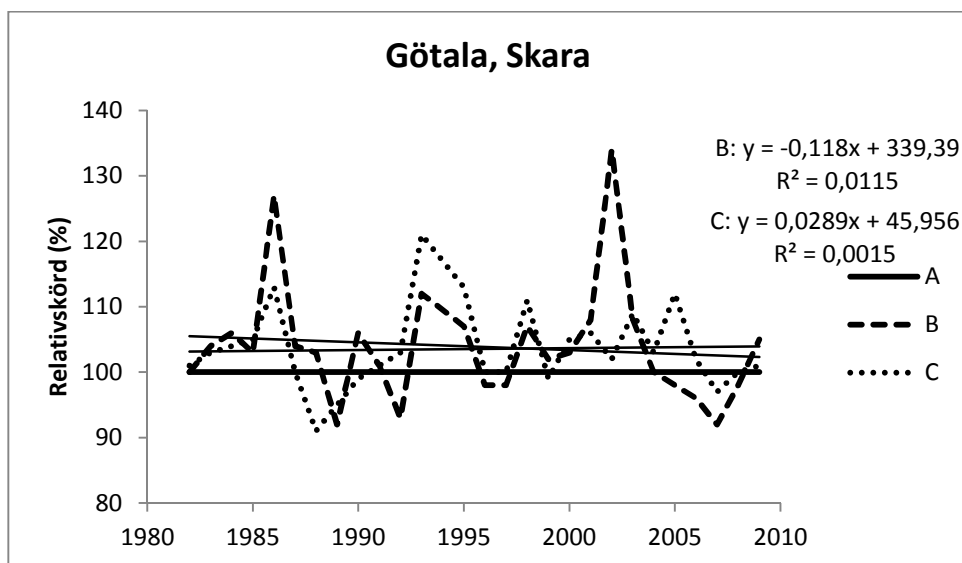
Värden för P-AL har uppmätts tolv gånger under försöksperioden. De har under denna tid sjunkit i alla tre led (figur 7). Det finns inte någon signifikant skillnad

mellan leden och värdena varierar tydligt mellan åren, alla led efter samma mönster. Det kan konstateras att P-AL-talen från start var mycket höga (25-30mg P 100 g⁻¹ jord), och att inte ens kraftig uppgödsling med 30 kg P ha⁻¹ tycks motverka en sjunkande tendens.

I diagrammet över relativskördar (figur 8) går det även att se en tendens till en svagt ökande trend för skördarna i det uppgödslade ledet (C) samt en minskande för det ersättningsgödslade (B). Den kraftiga variationen mellan olika år gör det dock svårt att dra någon slutsats om skördeutvecklingen. En statistisk analys visar att det inte finns någon signifikant skillnad i skördenivå mellan de olika försöksleden.

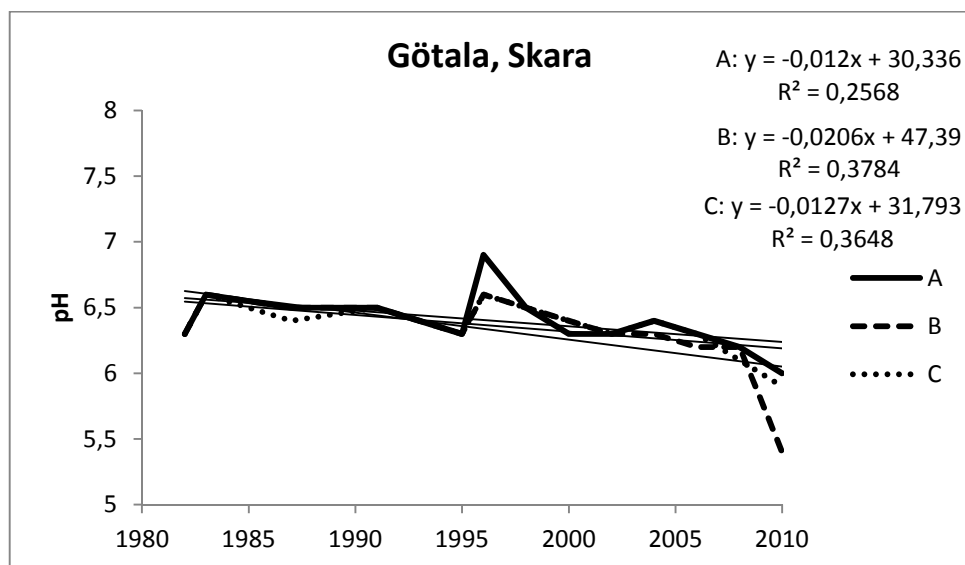


Figur 7. P-AL matjord, Götala. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödslas med 30 kg P ha⁻¹.



Figur 8. Relativskördar, Götala. Led A är kontroll med 0 kg P ha^{-1} , led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha^{-1} och led C uppgödslas med 30 kg P ha^{-1} .

Jorden har ett initialt pH-värde på omkring 6,5. I alla led tycks pH-värdet visa en svagt sjunkande tendens, se figur 9. Efter 30 år ligger det slutgiltiga pH-värdet mellan 6,0 och 6,5 för led (A) och (C). Led (B) minskar nästan en hel enhet mellan näst sista och sista mättillfället.



Figur 9. pH, Götala. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödslas med 30 kg P ha⁻¹.

Tabell 5. Fosforbalans för matjorden i Götala, 1982-2009

Led	Total mängd P tillförd med gödsel kg P ha ⁻¹	Total mängd P bortförd med skörd kg P ha ⁻¹	Nettoflöde (tillfört-bortfört) kg P ha ⁻¹	Förändring av P-AL kg P ha ⁻¹	Förändring av P-HCl kg P ha ⁻¹
A (0 kg P)	0,0	437,4	-437,4	-227,6	-483,6
B (15 kg P)	405,0	447,7	-42,7	-136,8	-64,2
C (30 kg P)	810,0	449,3	360,8	-187,6	-52,4

För försöket i Götala syns en minskning av P-HCl i det uppgödslade ledet (C), trots ett positivt nettoflöde. I de två övriga leden syns en minskning av P-HCl som i storleksordning ligger närmare nettoflödet av vad som är fallet i led (C). Anmärkningsvärt är att minskningen av P-HCl i jorden är mindre än minskningen av P-AL i de två gödslade leden (B och C).

I tabell 6 och 7 visas förändringen av P-AL och P-HCl-tal i alven, 40-60 cm djup. Observera att tidsperioden för alvproverna är nio år kortare än tidsperioden för matjorden och att mängden prover tagna i matjorden är betydligt högre.

I alla led är minskningen av P-AL snarlik för matjorden och alven, med störst skillnad i det ersättningsgödslade led (B) (tabell 6). Alla led visar också en minskning av P-HCl i både matjord och alv, där kontrollen (A) har en snabbare minskning i matjorden medan ersättnings- (B) och uppgödslingsledet (C) minskar fortare i alven än matjorden (tabell 7).

Tabell 6. Förändring av P-AL i alv (1982-2000) och matjord (1982-2010), Götala

Led	P-AL start, alv mg 100 g ⁻¹ jord	P-AL slut, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Total förändring, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, matjord mg 100 g ⁻¹ jord
A (0 kg P)	17,6	11,5	-6,1	-0,34	-0,31
B (15 kg P)	17,6	11,3	-6,3	-0,35	-0,19
C (30 kg P)	17,6	13,6	-4,0	-0,22	-0,25

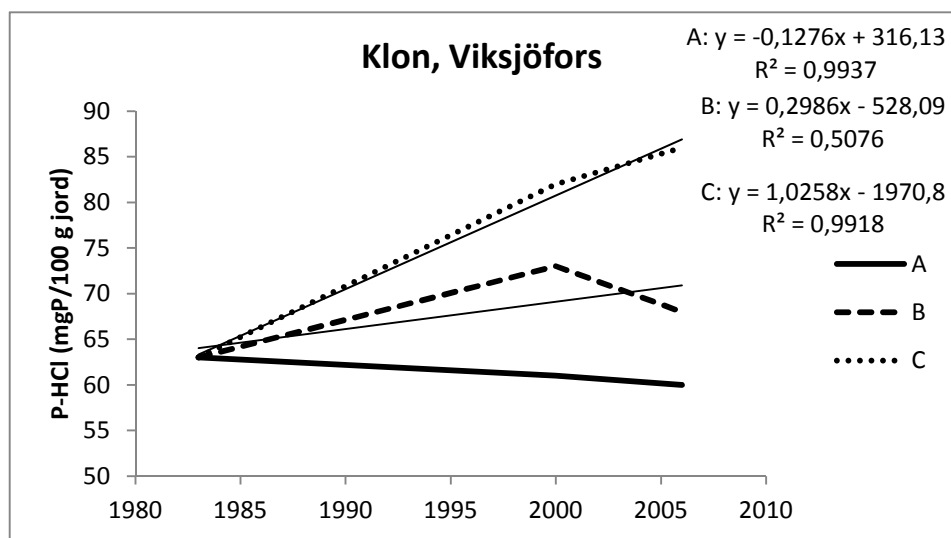
Tabell 7. Förändring av P-HCl i alv (1982-2000) och matjord (1982-2010), Götala

Led	P-HCl start, alv mg 100 g ⁻¹ jord	P-HCl slut, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Total förändring mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, matjord mg 100 g ⁻¹ jord
A (0 kg P)	115	109	-6,0	-0,33	-0,65
B (15 kg P)	115	106	-9,0	-0,50	-0,14
C (30 kg P)	115	107	-8,0	-0,44	-0,11

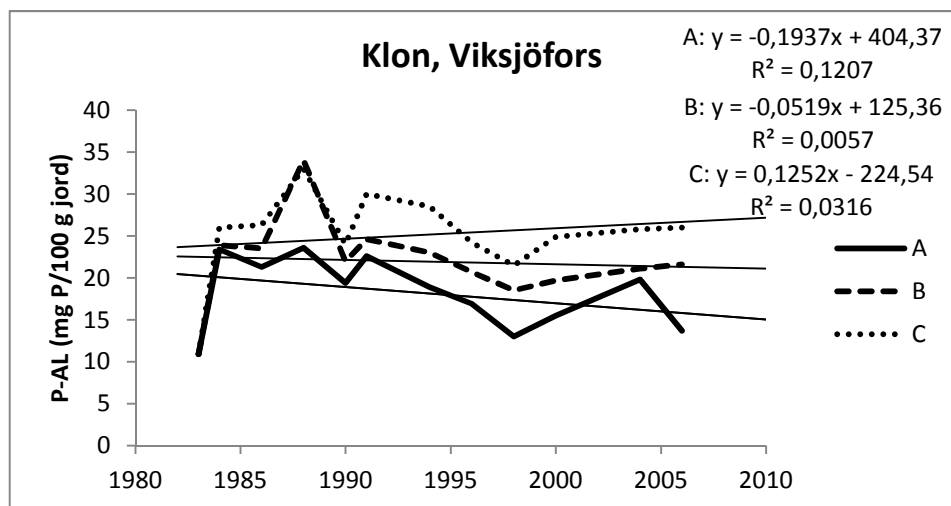
3.3 Klon, Viksjöfors (X 8-83)

Viksjöfors ligger i Gävleborgs län, i linje med Bollnäs. Jorden där försöket låg är en mellanlera med ca 6 % mullhalt. Försöket pågick 1983 till 2006.

Markens innehåll av P-HCl mättes tre gånger under försökstiden (figur 10). Det finns ingen signifikant skillnad mellan leden.



Figur 10. P-HCl (P-HCl) för Klon. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödsclas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödsclas med 30 kg P ha⁻¹.

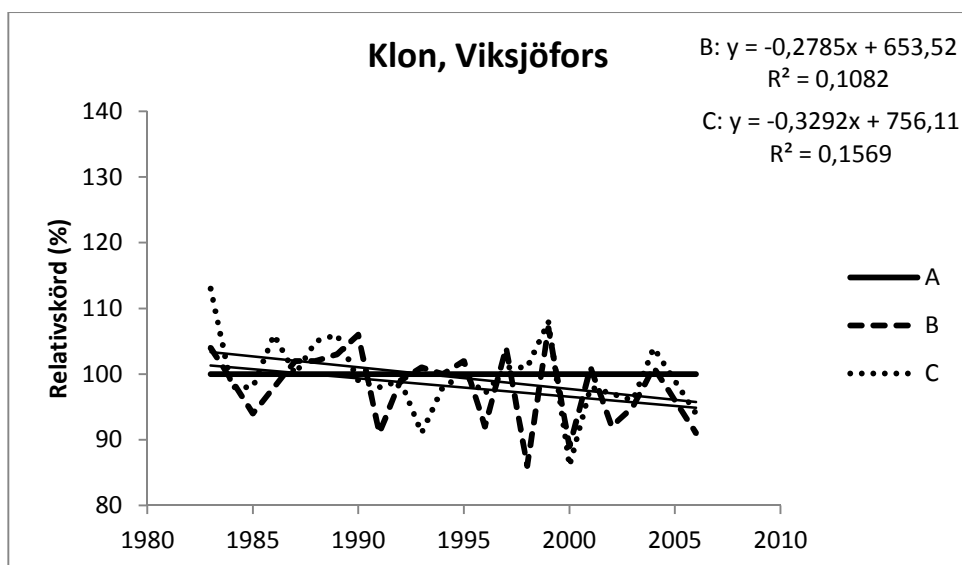


Figur 11. P-AL matjord, Klon. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödsclas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödsclas med 30 kg P ha⁻¹.

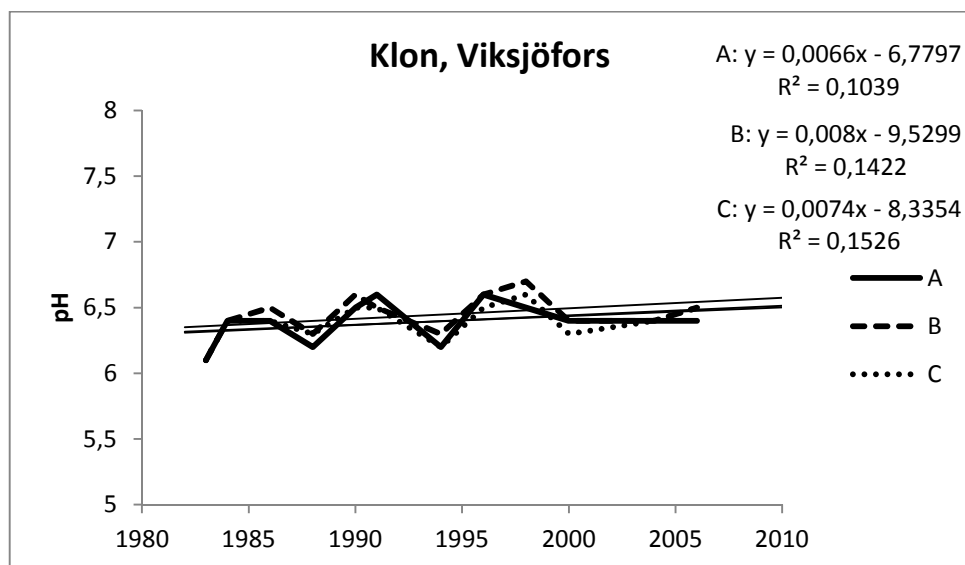
I figur 11 syns en minskning av P-AL i kontrollen (A) jämfört med det andra mät-fallet men inte med det första, som är det lägsta uppmätta värdet under hela försöksperioden. Det syns även en svag minskning i ersättningsledet (B) samt en signifikant ökning i det uppgödslade ledet (C). P-AL mättes tolv gånger under försöksperioden.

Relativskördar för Klon för de gödslade leden (B) och (C) uppvisar en viss minskande trend och har lägre medelvärde jämfört med referensskördarna (A) (figur 12). Huruvida detta beror på en minskning för led (B) och (C) eller en ökning för kontrollen (A) är omöjligt att se från denna graf. Statistisk analys visar ingen signifikant skillnad mellan försöksleden.

Under försöksperioden varierar pH något men tycks ligga ganska stabilt runt mellan pH 6 och 7 med en viss ökning över tid för alla led (figur 13).



Figur 12. Relativskördar, Klon. Led A är kontroll med 0 kg P ha-1, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha-1 och led C uppgödslas med 30 kg P ha-1.



Figur 13. pH, Klon. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödslas med 30 kg P ha⁻¹.

I tabell 8 redovisas fosforbalansen för matjorden i Klon. Förändringen av P-HCl är oväntad i kontroll (A) och ersättning (B). I kontrollen syns en totalförändring som är mindre än vad som har bortförts med skörd och i uppgödslingsledet ökar P-HCl med mer fosfor än vad som tillförts enligt nettoflödet. Det uppgödslade led (C) uppvisar en ökning som ligger i linje med det förväntade resultatet. För kontrollen är minskningen av P-AL större än minskningen av P-HCl.

Tabell 8. Fosforbalans för matjorden i Klon, 1983-2006

Led	Total mängd P tillförd med gödsel kg P ha ⁻¹	Total mängd P bortförd med skörd kg P ha ⁻¹	Nettoflöde (tillfört-bortfört) kg P ha ⁻¹	Förändring av P-AL kg P ha ⁻¹	Förändring av P-HCl kg P ha ⁻¹
A (0 kg P)	0,0	332,6	-332,6	-103,9	-38,7
B (15 kg P)	345,0	329,4	15,6	-27,8	111,4
C (30 kg P)	690,0	350,5	339,5	67,2	311,0

Tabell 9. Förändring av P-AL för alv (1982-2000) och matjord (1982-2006), Klon

Led	P-AL start, alv mg 100 g ⁻¹ jord	P-AL slut, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Total förändring mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, matjord mg 100 g ⁻¹ jord
A (0 kg P)	3	2,5	-0,5	-0,03	-0,19
B (15 kg P)	3	3,1	0,1	0,006	-0,05
C (30 kg P)	3	2,9	-0,1	-0,006	0,13

Tabell 10. Förändring av P-HCl för alv (1982-2000) matjord (1982-2006), Klon

Led	P-HCl start, alv mg 100 g ⁻¹ jord	P-HCl slut, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Total förändring, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, matjord mg 100 g ⁻¹ jord
A (0 kg P)	42	52 ^a	10	0,56 ^a	-0,13
B (15 kg P)	42	52 ^a	10	0,56 ^a	0,30
C (30 kg P)	42	52 ^a	10	0,56 ^a	1,03

^a=Misstänkt felaktigt värde

I tabell 9 och 10 visas förändringen av P-AL och P-HCl i alv och i matjord. För kontrollen (A) har P-AL minskat fortare i matjorden än i alven. För ersättningsledet (B) har det skett en långsam ökning av P-AL i alven och en minskning i matjorden. I det uppgödslade ledet (C) är läget omvänt från (B) och det syns istället en svag minskning i alven och en ökning i matjorden.

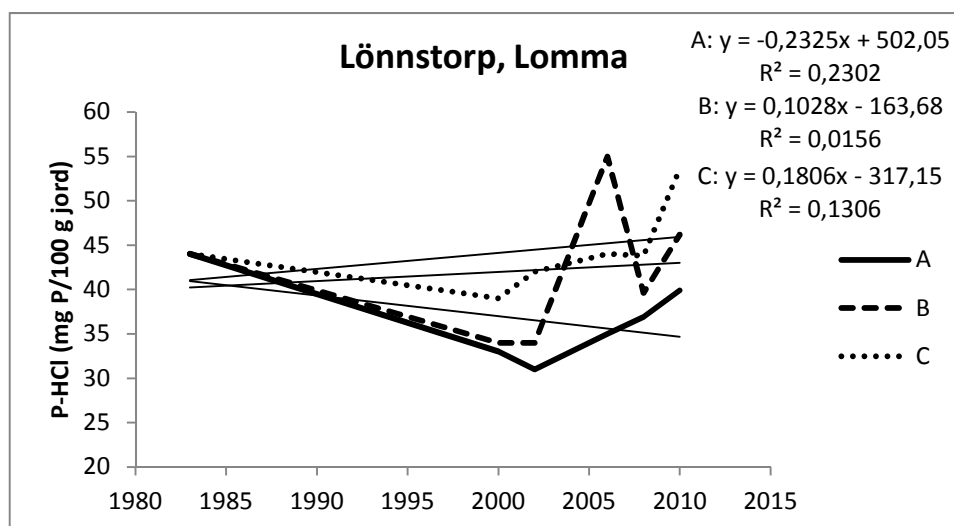
De rapporterade mätvärdena för P-HCl i alven är exakt samma för alla led, vilket tyder på någon form av mät- eller hanteringsfel och det går därmed inte att dra några slutsatser från dessa data.

3.4 Lönnstorp, Lomma (M 360-83)

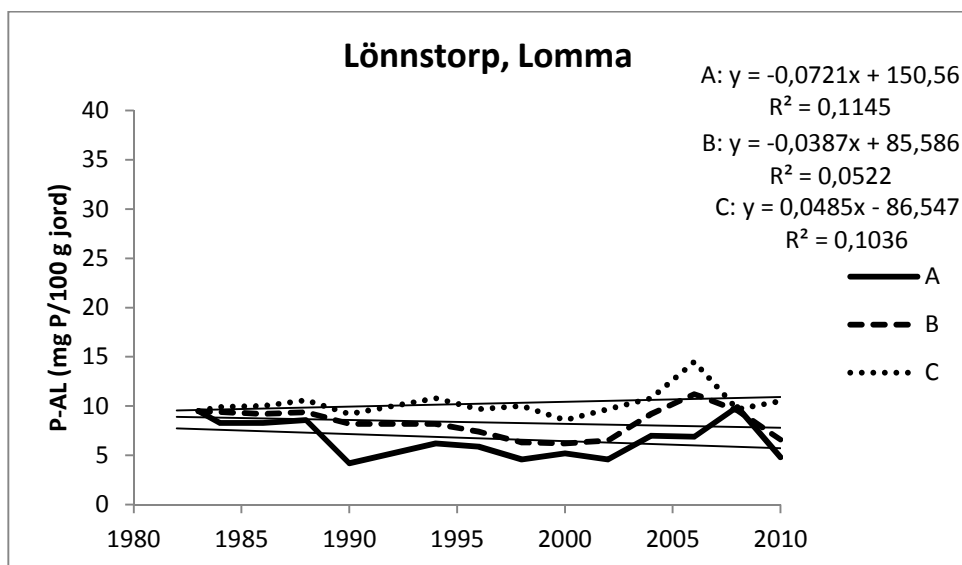
Lomma ligger i Skåne och jordarten i området är en måttligt mullhaltig moränlättera. Försöket pågick mellan år 1983 och år 2010.

Som synes i diagrammet över P-HCl (figur 14) så varierar värdet från provtagningarna markant, och ingen signifikant skillnad mellan de olika behandlingarna kan hittas vid en statistisk analys. Provtagning av P-HCl har skett 6 gånger under försöksperioden.

P-AL-talen har uppmätts 13 gånger (figur 15) och ligger någorlunda stabilt. Startvärdet för P-AL är betydligt lägre än för de andra försöksplatserna. Det finns signifikant skillnad mellan de gödslade leden (B) och (C) och kontrollen (A).

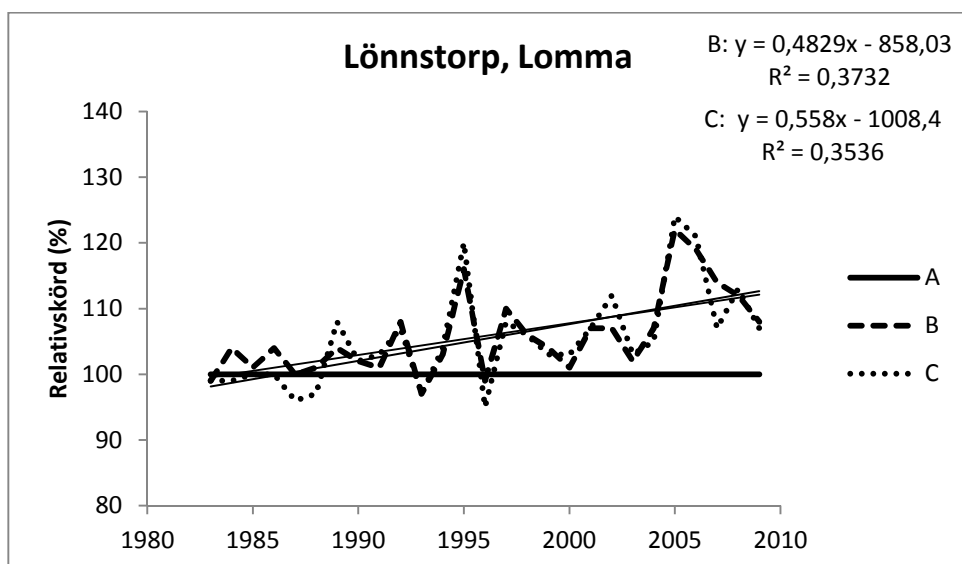


Figur 14. P-HCl för Lönnstorp. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödslas med 30 kg P ha⁻¹.

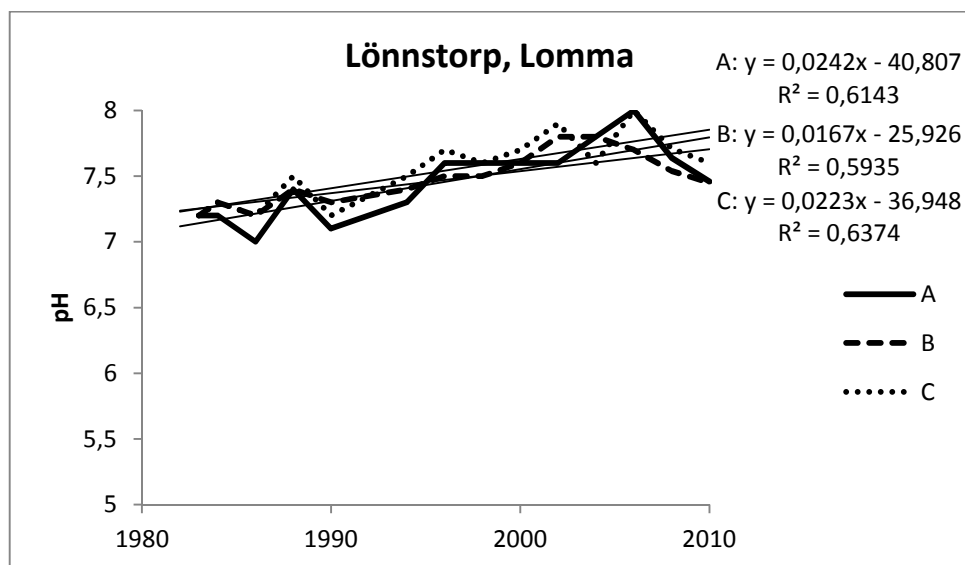


Figur 15. P-AL matjord, Lönnstorp. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödslas med 30 kg P ha⁻¹.

För relativskördarna, figur 16, ses en tydlig ökning för de gödslade leden (B) och (C) beroende antingen på en skördeminskning i det ogödslade ledet (A) eller på en skördeökning för de gödslade. Både ersättning- (B) och uppgödslingsledet (C) skiljer sig signifikant från kontrollen (A).



Figur 16. Relativskördar, Lönnstorp. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödslas med 30 kg P ha⁻¹.



Figur 17. pH, Lönnstorp. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödselas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödselas med 30 kg P ha⁻¹.

I alla led är pH-värdet svagt ökande, från lite över 7 till över 7,5 (figur 17).

I tabell 11 ses fosforbalansen för Lönnstorp. Förändringen av växttillgängligt P följer ungefär det förväntade mönstret, med störst minskning i det ogödslade ledet (A) och en ökning i det uppgödslade (C). Vad gäller förändringen av P-HCl så är ökningen i led B förvånande eftersom nettoflödet är negativt, fosformängden i jorden borde följaktligen minska. En minskning i det ogödslade kontrolledet (A) är väntad, likaså en ökning i det uppgödslade ledet (C).

Tabell 11. Fosforbalans för matjorden i Lönnstorp, 1983-2010

Led	Total mängd P tillförd med gödsel kg P ha ⁻¹	Total mängd P bortförd med skörd kg P ha ⁻¹	Nettoflöde (tillfört-bortfört) kg P ha ⁻¹	Förändring av växttillgängligt P kg P ha ⁻¹	Förändring av P-HCl kg P ha ⁻¹
A (0 kg P)	0,0	427,7	-427,7	-51,6	-166,3
B (15 kg P)	405,0	498,2	-93,2	-27,7	73,5
C (30 kg P)	810,0	524,8	285,2	34,7	129,1

Tabell 12. Förändring av P-AL för alv (1982-2004) och matjord (1982-2010), Lönnstorp

Led	P-AL start, alv mg 100 g ⁻¹ jord	P-AL slut, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Total förändring alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, matjord mg 100 g ⁻¹ jord
A (0 kg P)	1,3	2,8	1,5	0,06	-0,07
B (15 kg P)	1,3	2,4	1,1	0,04	-0,04
C (30 kg P)	1,3	3,6	2,3	0,09	0,05

Tabell 13. Förändring av P-HCl för alv (1982-2000) och matjord (1982-2010), Lönnstorp

Led	P-HCl start, alv mg 100 g ⁻¹ jord	P-HCl slut, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Total förändring, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, matjord mg 100 g ⁻¹ jord
A (0 kg P)	36	26	-10	-0,37	-0,23
B (15 kg P)	36	25	-11	-0,41	0,10
C (30 kg P)	36	30	-6	-0,22	0,18

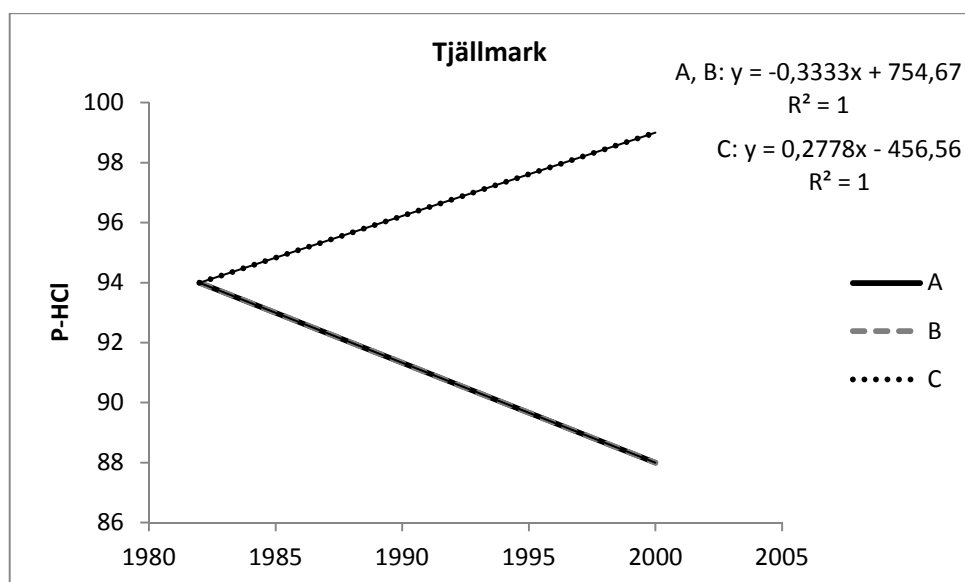
I alla led syns en ökning av P-AL i alven (tabell 12) men enbart det uppgödslade led (C) visar även en ökning i matjorden. För de andra två leden, kontrollen (A) och ersättningsledet (B) har P-AL minskat i matjorden.

För P-HCl (tabell 13) kan en likartad minskning ses i både matjord och alv för kontrolledet (A), medan det syns en ökning av P-HCl i matjorden kombinerat med en minskning i alven för ersättningsledet (B) och uppgödsledet (C).

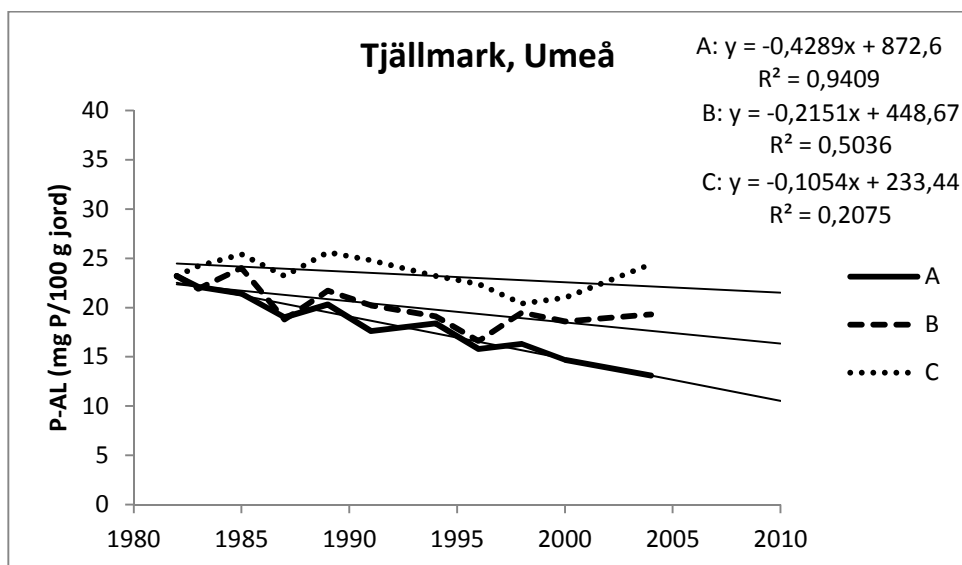
3.5 Tjällmark, Umeå (AC 13-82)

Av de analyserade försöken så är Tjällmark det nordligaste. Jordarten på försöksplatsen är en mullrik sand. Försöket pågick mellan 1982 till 2004.

P-HCl mättes enbart två gånger, 1982 samt 2000 (figur 17). Förändringen av P-HCl är exakt lika för kontrollen (A) och ersättningsledet (B) (figur 18). Detta tyder på någon form av mätfel eller liknande då det ter sig osannolikt att de två leden ska vara på exakt samma fosfornivå efter 17 år av olika behandling. Signifikanta skillnader vore orimligt för enbart två mättillfällen, men det finns indikation för en uppåtgående tendens för det uppgödslade ledet (C).



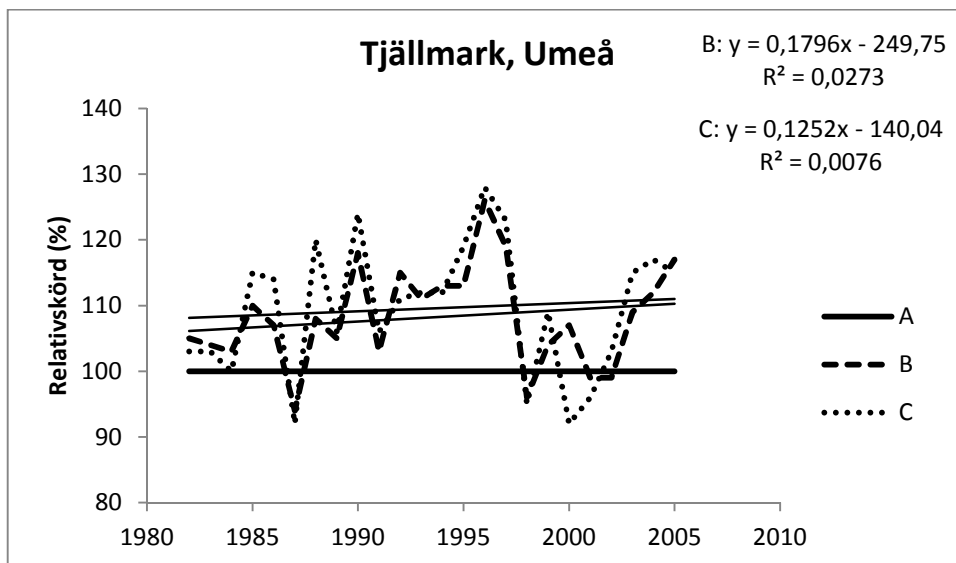
Figur 18. P-HCl för Tjällmark. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödslas med 30 kg P ha⁻¹.



Figur 19. P-AL förändring i matjorden, Tjällmark. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödslas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödslas med 30 kg P ha⁻¹.

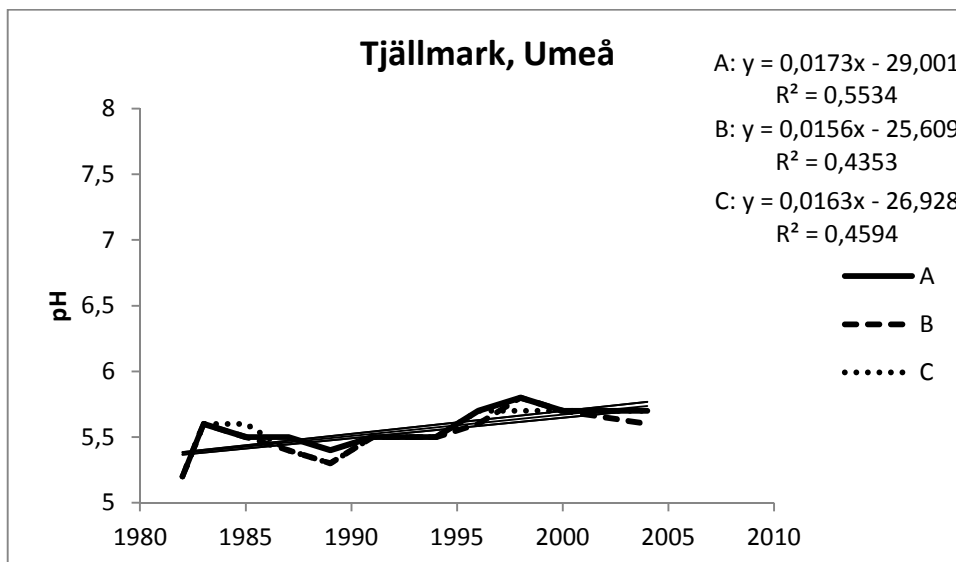
I figur 19 kan man se hur P-AL-talen för alla led går ner, med den största minskningen för det ogödslade ledet. Det uppgödslade ledet (C) skiljer sig signifikant från de två andra. Provtagning av P-AL har skett tio gånger.

Relativskördarna för de gödslade leden är högre än för det ogödslade. En svag ökning för det ersättningsgödslade (B) och det uppgödslade (C), alternativt en minskning för kontrollen (A) kan anas (figur 20). Både led (B) och (C) skiljer sig signifikant från kontrollen.



Figur 20. Relativskörd, Tjällmark. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödsas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödsas med 30 kg P ha⁻¹.

Under hela försöksperioden ligger pH runt 5,5 med en svag ökning för alla led (figur 20). Tjällmark uppvisar därmed det lägsta pH-värdet bland de inkluderade försöksplatserna.



Figur 21. pH, Tjällmark. Led A är kontroll med 0 kg P ha⁻¹, led B ersättningsgödsas med 15 kg P ha⁻¹ och led C uppgödsas med 30 kg P ha⁻¹.

Tabell 13. Fosforbalans för matjorden i Tjällmark, 1982-2000

Led	Total mängd P tillförd med gödsel kg P ha ⁻¹	Total mängd P bortförd med skörd kg P ha ⁻¹	Nettoflöde (tillfört-bortfört) kg P ha ⁻¹	Förändring av P-AL kg P ha ⁻¹	Förändring av P-HCl kg P ha ⁻¹
A (0 kg P)	0,0	275,8	-275,8	-104,1	-80,9
B (15 kg P)	270,0	287,8	-17,8	-52,2	-80,9
C (30 kg P)	540,0	303,8	236,2	-25,6	67,4

Tabell 13 visar fosforbalansen för Tjällmarks matjord. Att förändringen av P-HCl är exakt samma för både kontrollen och ersättningsledet (B) är orealistiskt och för stor vikt bör inte läggas vid de värdena. Led (C) som uppgödslats med 30 kg P ha⁻¹ uppvisar en ökning av P-HCl, dock mindre än nettoflödet. Samtidigt har mängden växttillgänglig fosfor i led (C) minskat.

Tabell 14. Förändring av P-AL i alv (1982-2000) och matjord (1982-2004), Tjällmark

Led	P-AL start, alv mg 100 g ⁻¹ jord	P-AL slut, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Total förändring, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, matjord mg 100 g ⁻¹ jord
A (0 kg P)	13,3	1,5	-11,8	-0,54	-0,43
B (15 kg P)	13,3	1,4	-11,9	-0,54	-0,22
C (30 kg P)	13,3	1,2	-12,1	-0,55	-0,11

Tabell 15. Förändring av P-HCl i alv (1982-2000) och matjord (1982-2000), Tjällmark

Behandling	P-HCl start, alv mg 100 g ⁻¹ jord	P-HCl slut, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Total förändring, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, alv mg 100 g ⁻¹ jord	Förändring per år, matjord mg 100 g ⁻¹ jord
A (0 kg P)	105	66	-39	-2,17	-0,33 ^a
B (15 kg P)	105	62	-43	-3,39	-0,33 ^a
C (30 kg P)	105	63	-42	-2,33	0,28

^a= misstänkt felaktig data

Tabell 14 visar alvens och matjordens förändring av P-AL. I alven var minskningen av P-AL likartad och snabbare än förändringen i matjorden för alla led. I matjorden minskade P-AL som fortast för kontrollen (A) och som saktast för det uppgödslade ledet (C).

Förändringen av P-HCl i alven (tabell 15) var även den likartad i alla led. I alven har P-HCl minskat med högst hastighet av de fem jordar inkluderade i detta arbete, i alla tre led. För kontrollen (A) och ersättningsledet (B) var minskningen i matjorden exakt densamma, vilket tyder på felaktigheter i provtagningen, medan det uppgödslade ledet visar på en ökning av P-HCl.

4 Diskussion

4.1 Fältförsökens utformning och genomförande

Det fanns en del brister i utformningen av försöksserien ”Exploatering av höga P-AL-tal” som starkt försvårar möjligheten att dra kvalificerade slutsatser från uppmätta data.

Först och främst så saknas provtagning från jordhorisonten 20-40 cm, någonting som försvårar möjligheten att göra korrekta fosforbalanser för hela jordhorisonten, 0-60 cm. Detta kombinerat med att fosforprover för alven i många fall enbart tagits två gånger under hela försöksperioden ger en hög osäkerhet i alla resultat rörande fosforhalten i jorden under 20 cm djup.

En annan försvårande faktor är att provtagningar för matjord, alv, P-AL, P-HCl, fosforhalt i skörd samt skördenivåer ofta avslutats vid olika tidpunkter, ibland med tio års skillnad, för en och samma försöksplats. Detta ger både utrymme för misstag i databehandlingen samt försvårar möjligheten att se korresponderande trender mellan till exempel fosforhalt i matjorden och fosforhalt i alven.

Sist så bör även den relativt höga mängden av orimliga värden för fosforhalter nämnas. I de fall då mätvärdena visar exakt samma värde i alla led, även efter ett antal år med olika gödselgivor, borde en extra mätning gjorts. Det är för mig

omöjligt att veta om dessa sannolikt felaktiga värden beror på mätfel eller fel vid inskrivning av data från försökskort, men i vilket av fallen så borde detta uppmärksammas tidigare och om möjligt kontrollerats igen, något som i nuläget är svårt att genomföra.

4.2 Diskussion av hypoteser

i) Utan fosforgödsling förblir förrådet av P-AL för jordar i eller över P-AL-klass III oförändrat under försöksperioden så länge jordens pH ligger över 6.

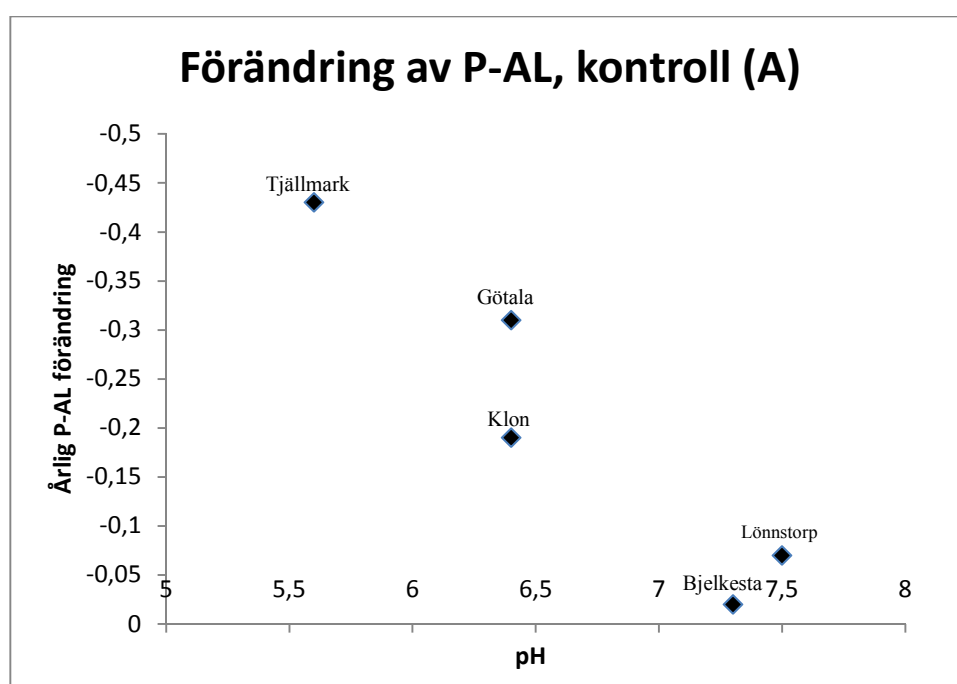
Förrådet av växttillgänglig fosfor anses vara det samma som fosfor extraherat genom P-AL metoden, så denna hypotes testas genom en granskning av jordarnas P-AL förändring per år. Hypotesen är att ett pH-värde över 6,0 i en jord med hög fosforklass kan garantera att nivåerna av växttillgänglig fosfor hålls i balans, trots en nettobortförsel av fosfor från jorden. Det skulle alltså ske en övergång av förrådsfosfor till växttillgänglig fosfor för att kompensera förlusten av växttillgänglig fosfor via bortförsel av grödor. Gränsvärdet för pH är satt efter Mattsons observationer från tidigare utvärderingar av samma försök, där han framlägger slutsatsen att ett pH-värde över sex garanterar ett stabilt P-AL förutsatt att det är en jämvikt mellan bortförsel och tillförsel (Mattson 2010).

Genomsnittsvärde för pH är över 6,0 för alla försöksplatser utom Tjällmark, Umeå. Förutom Tjällmark är Götala den enda plats där ett pH under 6,0 uppmätts, vilket där skedde år 2010 för de två gödslade leden (B) och (C).

På alla försöksplatser så visar matjordens fosforbalans, som kan ses i resultatdelen för respektive jord, att bortforslingen av fosfor via skörd är högre än minskningen av växttillgängligt fosfor i matjorden. Detta i sig kan dock inte användas som en säker indikation för en övergång av fosfor från förrådsfosfor till växttillgänglig, då grödorna mycket väl har kunnat ta upp fosfor från jordlager under 20 cm djup.

Tabell 16. Försöksjordarnas genomsnittliga pH-värden samt deras årliga förändring av P-AL och P-HCl för kontrollen (A).

Försöksplats	Genomsnittligt värde	pH-	Årlig förändring av P-AL (mg P 100 g ⁻¹ jord)	Årlig förändring av P-HCl (mg P 100 g ⁻¹ jord)
Bjelkesta	7,3		-0,02	-0,75
Götala	6,4		-0,31	-0,65
Klon	6,4		-0,19	-0,13
Lönnstorp	7,5		-0,07	-0,23
Tjällmark	5,6		-0,43	saknas



Figur 22. Jordarnas årliga förändring av P-AL plottat mot pH-värde, för kontrollen (A). Notera y-axels skala med ökande negativa värden uppåt.

Då alla led visar en årlig minskning av växttillgängligt fosfor kan hypotesen förkastas. De fem analyserade försöksplatserna visar inte på att ett pH över 6,0 skulle garantera ett bibehållet P-AL-tal i matjorden ifall ingen fosforgödsling sker. En intressant aspekt är dock att pH-värdet i jorden tycks påverka i vilken hastighet P-AL-talet minskar i de ogödslade kontrollleden, vilket kan ses i figur 22 där den

årliga förändringen av P-AL har plottats mot jordarnas pH-värden. Det tycks här som att högre pH hänger samman med en långsammare minskning av växttillgängligt fosfor, P-AL, och vice versa. Detta kan förklaras med att processen där fosfatjoner binder till oxidtytor är starkt pH-beroende. När pH ökar minskar adsorptionen av fosfat eftersom järn- och aluminiumoxidernas positiva laddning minskar (Ericsson et al 2011). Dessa processer bör ge en lägre fosforfixering i jordar med högre pH, och därför en stabilare P-AL nivå över tid.

ii) I de försöksled där kompensationsgödsling av fosfor ges (15 kg P ha⁻¹ år⁻¹) sker ingen förändring av P-AL eller P-HCl under försökets tidsperiod, förutsatt att jordens pH ligger över 6.

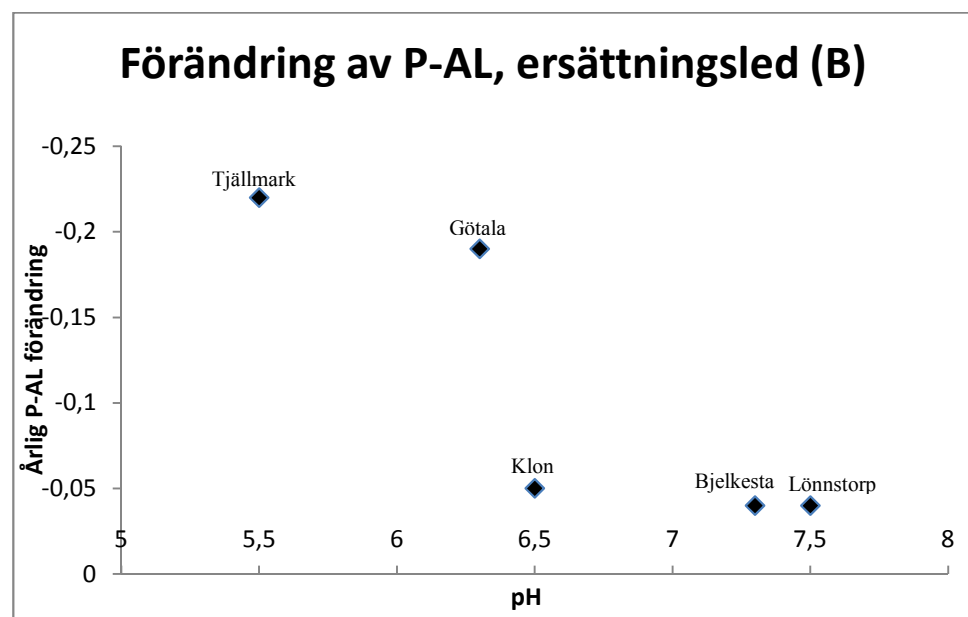
Denna hypotes är den samma som en av de slutsatser Mattson drog från sin genomgång av försöksjordarna (Mattsson 2010). Återigen är Tjällmark den enda jord med ett genomsnittligt pH-värde under gränsvärdet. Minskningen av P-AL är mindre i försökens ersättningsgödslade led (B) än i kontrollleden (A) och för vissa av platserna har det även skett en ökning av P-HCl. En förändring av P-AL tycks dock ske även med ett pH-värde över 6, så hypotesen måste förkastas.

I figur 23 visas den årliga förändringen av P-AL plottat mot jordarnas pH värden. I denna figur ser det ut som att hastigheten som minskningen av P-AL sker i går ner kraftigt vid ett pH på cirka 6,5. Med enbart fem försöksplatser går det inte att dra någon generell slutsats, men från dessa resultat tycks det som att ett pH på 6,5 kan garantera en långsam minskning av P-AL värdet i matjorden, medan ett pH under detta gränsvärde ger upphov till en snabbare minskning. Anledningen till den uppfattade kraftiga minskningen kan även vara platsernas skilda jordarter. Götala som uppvisar en snabbare minskning av P-AL är en måttligt mulhaltig svagt lerig sandjord, medan Klön är en mellanlera.

Förändringen av P-HCl har i vissa av jordarna varit i samma storleksordning som i det ogödslade kontrollledet (A), och det tycks inte finnas något samband mellan förändringens hastighet och jordens pH.

Tabell 17. *Försöksjordarnas genomsnittliga pH-värden samt deras årliga förändring av P-AL och P-HCl för det ersättningsgödslade ledet (B).*

Försöksplats	Genomsnittligt värde	pH-	Årlig förändring av P-AL (mg P 100 g ⁻¹ jord)	Årlig förändring av P-HCl (mg P 100 g ⁻¹ jord)
Bjelkesta	7,3		-0,04	-0,58
Götala	6,3		-0,19	-0,14
Klon	6,5		-0,05	0,3
Lönnstorp	7,5		-0,04	0,1
Tjällmark	5,5		-0,22	saknas



Figur 22. Jordarnas årliga förändring av P-AL plottat mot pH-värde, för det ersättningsgödslade ledet (B). Notera y-axels skala med ökande negativa värden uppåt.

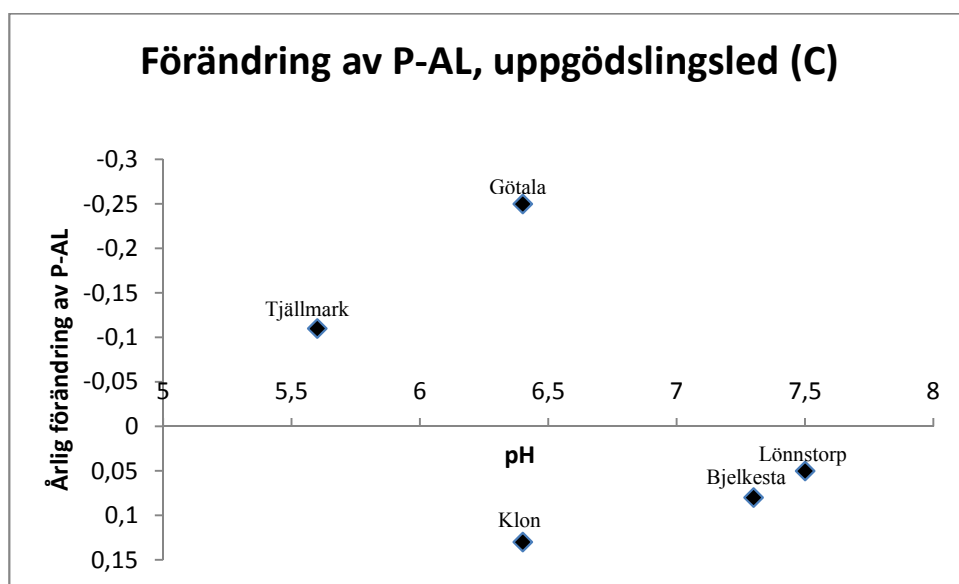
iii) I de försöksled som uppgödslas med fosfor ($30 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$) kommer både P-HCl och P-AL att öka.

Denna hypotes tycks inte heller den stämma. På en av platserna, Götala, har både P-AL och P-HCl minskat, och det har även skett en P-AL minskning i Tjällmark samt en P-HCl minskning i Bjelkesta. Dessa händelser visar att en uppgödning med 30 kg P ha^{-1} inte alltid ger en ökning av förrådsfosfor i matjorden, även om mängden tillförd fosfor överstiger mängden som förts bort med skörd. En summering över de olika platsernas förändringshastigheter och pH-värden finns i tabell 18.

Även i detta försöksled tycks pH vara en bidragande faktor i hur jordens fosforinnehåll förändras, i det här fallet huruvida jordens innehåll av P-AL ökar eller minskar vid uppgödning. Ett diagram över förändringshastigheten ställt mot pH visas i figur 24. De platser där P-AL har ökat ligger alla i den högre delen av jordarnas pH skala och består av mellan- eller lättleror. Intressant är att Götala, mmh sv lerig sandjord, och Klön, ML, har samma genomsnittliga pH-värde på 6,4, men Götala uppvisar en minskning och Klön en ökning. Detta skulle kunna förklaras med de två platsernas olika jordarter, eftersom samma trend synd i de ersättningsgödslade leden (B). Detta stärker teorin att jordarten spelar roll för förändringshastigheten. Den andra plats som uppvisade en minskning av P-AL var Tjällmark, en mullrik sand. Tidigare försök har visat att kraftigt gödslade sandjordar kan läcka stora mängder på grund av låg förmåga för fosforbindning (Djordjic & Bergström 2005), men någon slutsats kan inte dras om läckage utifrån dessa data. Fosfor kan även ha förflyttats längre ner i marken eller fastlagts i former som inte är lösliga i AL eller HCl.

Tabell 18. Försöksjordarnas genomsnittliga pH-värden samt deras årliga förändring av P-AL och P-HCl för det uppgödslade ledet (C).

Försöksplats	Genomsnittligt pH-värde	Årlig förändring av P-AL (mg P 100 g ⁻¹ jord)	Årlig förändring av P-HCl (mg P 100 g ⁻¹ jord)
Bjelkesta	7,3	0,08	-0,41
Götala	6,4	-0,25	-0,11
Klon	6,4	0,13	1,03
Lönnstorp	7,5	0,05	0,18
Tjällmark	5,6	-0,11	0,28



Figur 24. Jordarnas årliga förändring av P-AL plottat mot pH-värde, för det uppgödslade ledet (C). Notera y-axels skala med ökande negativa värden uppåt.

iv) Vid en P-AL nivå över 12 mg P 100 g⁻¹ jord är skördenivåerna stabila även utan fosforgödsling.

Denna hypotes är tagen från en av de slutsatser Mattsson drog från sin genomgång av samma försöksserie (Mattsson 2010). Värt att nämna är att eftersom det är relativskördar som har studerats så är det omöjligt att säga att en eventuell skillnad mellan led beror på huruvida det ena ledet har ökat i skördenivå eller om det andra har minskat i skördenivå, eller en kombination av de båda. På alla försöksplatser var variationen mellan år stor. För alla platser var dessutom trenderna för det ersättningsgödslade ledet (B) och det uppgödslade ledet (C) väldigt lika, trots att led (C) varje år fått en dubbel så hög fosforgiva.

Den enda plats inkluderad i detta arbete med ett P-AL-tal under 12 mg P 100 g⁻¹ jord är Lönnstorp. I detta försök syns även en signifikant skillnad mellan det ogödslade ledet (A) och de två gödslade leden (B) och (C). Vid försökets avslutande ger bägge de gödslade leden cirka 10 % högre skördar än det ogödslade kontrollerledet.

De övriga försöksplatserna innehar under hela försökstiden ett P-AL-tal som är högre än 12 mg P 100 g⁻¹ jord, där enbart Tjällmark uppvisar en signifikant skillnad mellan kontrollen och de två gödslade leden, vilka över tid ger allt högre skördenivåer än det ogödslade. När försöket avslutades hade Tjällmark ett P-AL på 13,3 mg P 100 g⁻¹ jord i matjorden och 1,5 mg P 100 g⁻¹ jord i alven i det ogödslade ledet.

Min slutsats från dessa resultat är att hypotesen inte helt kan förkastas, eftersom Tjällmark ligger precis på gränsen för att ligga under ett P-AL på 13 i matjorden, samt har så pass lågt P-AL i alvjorden. Regeln att skörden inte förändras av exploateringen vid ett P-AL-tal högre än 12 bör i min mening dock ses som en tumregel och inte en absolut sanning, då förutsättningar för olika jordar och grödor skiljer sig från varandra samt att hänsyn bör tas till fosfornivåerna för hela rotzonen.

5 Slutsatser

Det finns en del praktiska och statistiska hinder, beskrivna i diskussionsdelen, som försvårar möjligheten att dra säkra slutsatser från denna genomgång av försöksdata. Alla de resonemang jag utvecklat bör ses i ljuset från dessa svagheter.

Målet med denna undersökning var att hitta trender i hur jordens fosforhalt förändras över tid med olika givor av fosfor. Då alla jordar hade olika utgångslägen är detta en svår sak att göra, och mina resultat väcker möjligen lika många frågor som de ger svar.

Av de fyra ställda hypoteserna så förkastades alla utom nummer iv som sa att skördenivåerna skulle ligga oförändrade vid ett P-AL-tal högre än 12. Alla teorier om jordarnas förändring av fosfor visade sig vara felaktiga, i många fall på grund av att jordarna uppvisade en minskning av växttillgängligt fosfor i matjorden.

Den intressantaste trenden jag fann var relationen mellan pH och förändringshastigheten av växttillgängligt fosfor. Det tycks, enligt mina resultat, som att ett högre pH-värde ger en långsammare minskning alternativt en ökning av mängden växttillgängligt fosfor, beroende på gödsling och eventuellt jordart. Fem undersökta jordar är dock ett för litet material för att kunna dra någon absolut slutsats från detta samband.

Slutligen är min åsikt att denna undersökning är långt ifrån tillräcklig för att upphämta all kunskap som kan fås från datamaterialet, och min förhoppning är att andra kommer ta vid och fortsätta arbeta med resultaten från denna försöksserie.

Referenser

Albertsson, B., Jordbruksverket, (2013). *Riktlinjer för gödsling och kalkning 2014*, (Jordbruksinformation 11-2013), Stockholm: Jordbruksverket.

Tillgänglig:

<http://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/jo1311.html>

[2014-04-21]

Andersson, M (2014). *Fasta körspår till framtiden*. Alnarp: SLU. Examinensarbete inom institutionen för biosystem och teknologi.

Bertilsson, G., Rosenqvist, H. & Mattsson, L., Naturvårdsverket, (2005). *Fosforgödsling och odlingsekonomi med perspektiv på miljömål*. Stockholm: Naturvårdsverket. ISBN: 91-620-5518-6

Carlsson, A.-L., Naturvårdsverket, (2013). *Lättlösliga former av fosfor och kalium i åkermark*. Tillgänglig:

[http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-](http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning-)

[miljoarbetet/Vagledning-](http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning-)

[amnes-](http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning-)

[vis/Miljoovervakning/Bedomningsgrunder/Odlingslandskap/Ak](http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning-)

ermarkens-kvalitet/Lattlosliga-former-av-fosfor-och-kalium/.[2014-05-20]

- Djordjic, F. & Bergström, L. (2005). *Conditional phosphorus index as an educational tool for risk assessment and phosphorus management*. *Ambio* 34, 296-300.
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I., Simonsson, M., (2011). *Marklära*. Lund: Studentlitteratur AB. ISBN: 978-91-44-06920-3
- Essington, M. E. (2004). *Soil and water chemistry, an integrative approach*. Florida: CRC Press LLC. ISBN: 0-8493-1258-2
- Kirchmann, H., Ehde, L., Börjesson, G. & Kätterer, T. (2012). *Fosfor i ett annat ljus*, Power Point presentation för Greppa Näringen
- Kätterer, T., Andrén, O. & Jansson, P.-E., (2006). *Pedotransfer functions for estimating plant available water and bulk density in Swedish agricultural soils*. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, 56(4), pp.263–276. Tillgänglig: <http://dx.doi.org/10.1080/09064710500310170> [2013-04-05]
- Mattsson, A.L., (2010). *Vikande fosforanvändning – vad händer med bördighet och skördar?*. Opublicerad. Tillgänglig: <http://www.yumpu.com/sv/document/view/20007777/vikande-fosforanvandning-vad-hander-med-bordighet-och-yara> [2014-06-04]
- Statistiska centralbyrån, (2013). *Markanvändningen i Sverige, sjätte utgåvan*. SCB, enheten för miljöekonomi och naturresurser: Stockholm. Tillgänglig:http://www.scb.se/sv_/Hitta

statistik/Publiceringskalender/Visa-detaljrad-
information/?publobjid=19880+ [2014-03-21]

Syers, J.K., Johnston, A.E. & Curtin, D., (2008). *Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use* (FAO Fertilizer and plant nutrition bulletin 18), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome.