

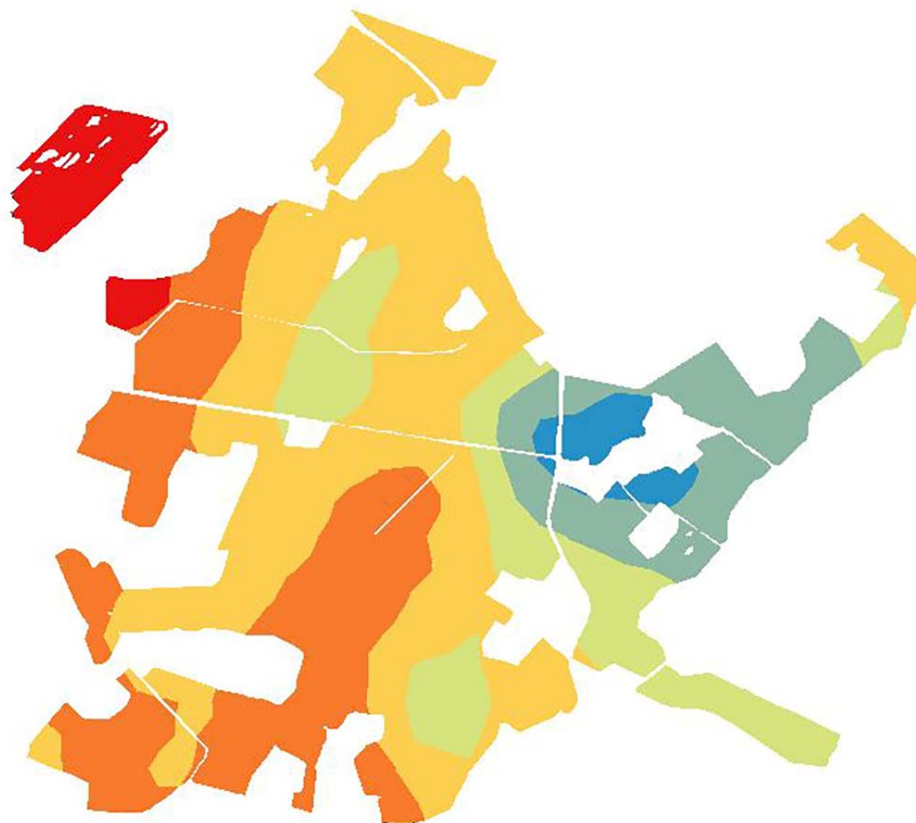
Hur bra är dagens rekommendationer för markkartering?

– Förändringar av fosforhalter i svensk åkermark över tid

How good are the current recommendations for soil mapping?

– Changes of phosphorus content in Swedish arable land over time

Fabian Ringdahl



Magisteruppsats i markvetenskap
Agronomprogrammet – inriktning mark/växt

Hur bra är dagens rekommendationer för markkartering? – Förändringar av fosforhalter i svensk åkermark över tid

How good are the current recommendations for soil mapping?
– Changes of phosphorus content in Swedish arable land over time

Fabian Ringdahl

Handledare: Karin Hamnér, institutionen för mark och miljö, SLU

Biträdande handledare: Malin Lovang, Lovang landbrukskonsult AB & Johanna Wetterlind, institutionen för mark och miljö, SLU

Examinator: Bo Stenberg, institutionen för mark och miljö, SLU

Omfattning: 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A1E

Kurstitel: Självständigt arbete i markvetenskap – magisterarbete

Kurskod: EX0728

Program/utbildning: Agronomprogrammet – inriktning mark/växt 270 hp

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2018

Omslagsbild: Exempel på P-AL status över en lantbruksfastighet

Serietitel: Examensarbeten, Institutionen för mark och miljö, SLU

Delnummer i serien: 2018:01

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

Nyckelord: fosfor, P-AL, markkartering, gödsling, bördighet, fosforgödsel

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för mark och miljö

Sammanfattning

Det har under lång tid i Sverige varit allmän praxis att upprätta en markkartering för att använda som underlag vid beslut om hur insatser i form av gödsel och kalk bör fördelas. De rekommendationer som finns idag för hur ofta en markkartering bör utföras går ut på att en grundkartering upprättas för lerhalt, mullhalt, P-AL, K-AL och pH. Sedan görs en uppföljningskartering med ungefär tio års mellanrum. Det finns dåligt med underlag för hur ofta en markkartering behöver upprättas och enligt den undersökta litteraturen har inga studier gjorts om hur förändringar mellan markkarteringar sett ut. I denna studie inkluderas åtta svenska gårdar. Markkarteringar från två olika tillfällen på gårdarna har jämförts för att undersöka hur fosfortalen förändrades under perioden mellan karteringarna. Förändringar mellan markkarteringarna kunde fastställas, där ett medeltal av ca 35 % av arealen hade ökat med mer än 20 % P-AL-tal och ca 14 % av arealen påvisade en minskning av P-AL-tal med mer än 20 %. Det var stora skillnader mellan gårdarna och på vissa gårdar hade en ökning skett på i stort sett hela arealen medan andra gårdar påvisade en stor minskning på större delen av arealen. Statistiska analyser av förändringarna gjordes för att undersöka om det gick att korrelera lerhalt, mullhalt, ursprungligt P-AL-tal och ursprungligt pH med förändringarna av P-AL. Av de statistiska analyserna framgick att det främst var ursprungligt P-AL som korrelerade med förändringens storlek där lägre P-AL-tal ledde till en större positiv förändring och ett högt P-AL-tal till stora negativa förändringar. För gårdarna togs det även fram fosforbalanser på skiftesnivå för att jämföra dessa med förändringarna av fosfor. En del av förändringarna kan kopplas till att en uppgödsling av fosfor har skett men vissa förändringar är svåra att förklara. Vissa förändringar visade sig inte bli som förväntat med hänseende till de långliggande bördighetsförsöken, särskilt inte där höga givor av fosfor appliceras. Fosforbalanserna visade på att de flesta gårdar borde ha haft en generell minskning av P-AL-talen, men så var inte fallet. En mer omfattande undersökning bör göras om hur länge höga fosforgivor förmår leverera fosfor samt hur nära inpå en applicering av höga fosforgivor som det är lämpligt att upprätta en markkartering. För att komma ifrån variationer av fosfortalen på grund av höga fosforgivor och i sin tur se trender av hur fosforstatusen förändras, skulle ett alternativ vara att ändra rekommendationerna så att markkarteringen utförs som ett led i växtföljden.

Nyckelord: fosfor, P-AL, markkartering, gödsling, bördighet, fosforgödsel

Abstract

For a long time in Sweden, there has been a general practice to perform soil mapping as a basis for manure and lime distribution. The recommendations currently available for how often soil mapping should be performed consist of basic mapping for clay content, organic carbon content, P-AL, K-AL and pH. After that a follow-up action is performed approximately every ten years. There is a lack of support for how often a soil mapping needs to be established and according to the literature that has been studied, no studies have been made concerning observed changes of phosphorus content in soil mapping over time. In the present study, eight Swedish farms were included. Soil maps from two different occasions performed on the farms have been compared to evaluate how the amount of AL-extractable phosphorus in soil changed during the period between the soil mappings. Results showed that changes in P content between the occasions could be detected, where an average of about 35 % of the area had an increase in P-AL by more than 20 % and about 14 % of the area had a decrease in P-AL by more than -20 %. However, large differences were found between farms, and on some farms, the phosphorus content had increased in almost the entire area, compared with others where the content had decreased in the majority of the area. Statistical analyses of the changes in P-AL was performed in order to investigate whether it was possible to correlate clay content, organic carbon content, initial P-AL and initial pH with changes of P-AL between the two occasions. It was found that primarily the initial P-AL was correlated with the size of the change where lower P-AL values led to a greater positive change and a high P-AL value to major negative changes. For the farms, phosphorus balances were also conducted at field level to compare these with the changes in phosphorus content in the soil maps. Some of the changes can be linked to the fact that phosphorus fertilizer has been spread in order to rise the phosphorus level, but some changes are difficult to explain. One trend shown is that changes are not as expected with respect to the long-term fertility trials, especially when high amounts of phosphorus are applied. Phosphorus balances showed that most farms should have had a general decrease in P-AL values, but that was not the case. Further studies should be done on for how long time high phosphorus applications are able to deliver phosphorus and how close a soil mapping can be established after a high phosphorus application. In order to avoid variations of P-AL values in soil mapping due to high phosphorus applications and in order to see trends of how phosphorus status changes, an alternative would be to change the recommendations so that soil mapping is performed as part of the plant sequence.

Key-words: phosphorus, P-AL, soil mapping, soil analysis, fertilizer, soil fertility

Populärvetenskaplig sammanfattning

För att kunna fatta välgrundade beslut när det kommer till kalkning och gödsling av åkermark är det nödvändigt för lantbrukare att veta vilket behov som finns ute på fälten. För att få en uppfattning av detta har markkartering använts i Sverige under en lång tidsperiod. Markkartering utförs genom att jordprover tas på flera platser på ett fält för att sedan låta analysera dessa och upprätta en karta av resultaten. Det som analyseras är normalt fosfor, kalium, pH och i vissa fall även några mikronäringsämnen. Rekommendationen från jordbruksverket är att första gången en markkartering upprättas så skall även jordart analyseras. Det ämne av de som analyseras som är mest relevant och omdiskuterat ur miljösynpunkt är fosfor. Det räcker med små läckage av fosfor från åkermark för att det ska orsaka stora problem i vattendrag och sjöar. Därför är detta ämne särskilt intressant när det kommer till markkartering för att man skall kunna fatta välgrundade beslut för hur man skall gödsla med fosfor.

För att få mer kunskap om hur fosforstatusen förändrar sig över tid utfördes under hösten 2017 ett examensarbete. Det gick ut på att markkarteringar från verkliga gårdar analyserades för att undersöka hur förändringen av fosfor sett ut mellan två markkarteringar och om man kunde se vad dessa förändringar berodde på. Det framkom i undersökningen att på samtliga åtta gårdar som analyserades förekom förändringar av P-AL mellan markkarteringarna. Dock visade det sig att skillnaderna mellan gårdarna var stora. På vissa gårdar hade fosforhalten ökat i stort sett på hela arealen medan andra hade väldigt små förändringar eller så hade fosfortalen minskat på stora delar av arealen. För att komma fram till vad förändringarna berodde på så utfördes uträkningar på hur mycket fosfor som tillfördes som gödsel och hur mycket som bortfördes med skörd under tidsperioden mellan markkarteringarna. Vissa förändringar på gårdarna gick att koppla till fosforbalansen men vissa avvek ändå kraftigt från dem. I de fall där fosfor tillförts i stora givor på fälten upplevdes en fosfortopp i analysen om markkarteringen upprättats strax efter en sådan giva. Därför drogs slutsatsen att när stora fosforgivor läggs kan det vara nödvändigt att ta hänsyn till detta när man som lantbrukare planerar sin gödsling. Ifall man inte gör det riskerar man att gödsla för lite fosfor under en stor del av perioden mellan markkarteringar.

Innehållsförteckning

Inledning.....	1
Syfte	2
Markkartering.....	3
Fosfor i marken	5
Analys av fosfor	6
Förändring av fosfortal i marken.....	7
Fosforflöden i mark	7
Typ av fosforgödsel.....	8
Rekommendationer kring fosforgödsling.....	9
Markens inverkan på förändring av fosforhalter över tid.....	9
Material och metoder.....	11
Dataunderlag	11
Databearbetning och statistik	13
Interpolering och förändring av P-AL fördelat på areal	13
Samband mellan förändringar och markfaktorer	14
Växtnäringsbalanser och beräkning av P-AL förändring	14
Resultat och diskussion	16
Markfaktorers inverkan på förändring av P-AL-tal.....	16
Långliggande försök och fosforbalanser	18
Förändring av fosfortal på gårdar	20
Variation mellan gårdar	20
Variation inom gårdarna	24
Variation mellan skiften	25
Variation inom skiften	29
Förslag till utformning och utvärdering av markkarteringar	30
Slutsatser	31
Förslag på forskning.....	31
Referenslista	33

Inledning

Att upprätta en markkartering är av yttersta vikt för de flesta lantbrukare för att få en uppfattning av deras jords beskaffenhet vad gäller näringsinnehåll och jordart. Detta för att de ska kunna optimera sin gödsling och på så vis utnyttja resurser på bästa sätt, både för miljö och ekonomi. Att gödsla efter markkartan har varit allmän praxis i svenskt lantbruk under en lång tid men trots detta är det många frågetecken kring markkartering som fortfarande behöver klargöras. Den allmänna rekommendationen till lantbrukare idag är att markkartering bör utföras och sedan förnyas med tio års mellanrum (Albertsson *et al.*, 2016). I andra länder som t.ex. Storbritannien rekommenderar man ofta kortare intervall (AHDB 2017). Fosfor (P) är ett ämne som utgör ett stort miljöproblem då även små förluster av fosfor till vattendrag och hav har stor negativ påverkan på dess ekosystem. Detta gör att fosfor är särskilt intressant när det kommer till lantbrukares gödsel användning. Det är också ett essentiellt makronäringsämne för jordbruksgrödor och fosforbrist leder till sänkta skördenivåer och ökad skördevariation. I långliggande försök kan man tydligt se att fosforhalten i mark är något som tar lång tid att förändra, både ökning och minskningar (Bergström *et al.*, 2015; van der Salm *et al.*, 2017; Carlgren & Mattsson 2001). Att upprätta en markkartering är förknippat med stora utgifter för lantbrukaren varför korta intervall mellan markkartering bidrar till försämrad lönsamhet om inte åtgärden betalar sig. Med anledning av detta är målet med denna studie att utröna nyttan med en återkommande markkartering vart tionde år samt se om förändringar i rekommendationerna är nödvändiga med avseende på fosfortalens förändring. Arbetet bygger på verkliga gårdar där markkarteringar från olika år har jämförts för att på så vis se hur förändringar av fosfor ser ut på dessa gårdar. Dessa förändringar har sedan analyserats för att söka svar på frågeställningarna.

Syfte

Syftet med denna studie var att utröna hur förändringar av P-AL-tal ser ut över tid på verkliga gårdar, samt att undersöka om dessa eventuella förändringar kan bero på någon faktor som mäts i markkarteringar eller med hjälp av fosforbalanser. Detta för att kunna ta reda på hur rekommendationer för markkartering med hänseende på fosfor bör utformas.

Frågeställningar

Hur ser förändringen av fosforstatusen i marken ut över tid på verkliga gårdar?

Kan vi se vad eventuella förändringar beror på? Skulle de kunna vara kopplade till någon markfaktor som finns i analyserna som görs inom markkarteringarna?

Hur skall en markkartering användas och bör rekommendationerna för markkartering ses över?

Markkartering

Syftet med en markkartering är att ge lantbrukaren information om markens näringsstatus och kalkbehov. Med den informationen kan sedan lantbrukaren fatta mer välgrundade beslut om hur olika insatser i form av gödsling och kalkning bör riktas (Albertsson *et al.*, 2016). Redan på 1920-talet började man i Sverige ta fram markkarteringar för att ta reda på jordens pH och jordart. Vid 1930-talet började man även inkludera fosfor i analysen då fosfor extraherades med 2 % -ig citronsyra på initiativ av O. Arrhenius. Värdena från analysen uttrycktes i form av mg $P_2O_5/100g$ jord och delades sedan in i sex klasser. Utifrån dessa klasser skapade sedan Arrhenius kartor med markens innehåll av fosfor (Lindén, 2007). Vid 1932 publicerade H. Egnér sin så kallade Laktatmetod, det är denna som än idag ligger till grund för analyser av flera näringsämnen i Sverige (Lindén, 2007).

Idag kan en markkartering innehålla flera analyser utöver de som tidigare nämnts t.ex. analys av kalcium, magnesium, koppar och bor. De som minst bör ingå vid framtagningen av en markkartering är fosfor, kalium och pH men analyser av de andra ämnena kan vara bra om man misstänker brist (Albertsson *et al.*, 2016).

I Sverige rekommenderas markkartering med GPS positionering där provpunkterna fördelas i ett rutnät med hundra meters mellanrum åt samtliga håll, vilket innebär att varje punkt representerar cirka ett hektar. Vid varje provpunkt ses sedan en cirkel om 3-5m i radie ut. Inom varje provpunktcirkel tas 10 borrstick ned till 20cm djup, vilket utgör underlaget för analys (Albertsson *et al.*, 2016). Efter att analyserna av proverna har utförts kan kartor upprättas för att åskådliggöra fördelningen av näringsämnen på fältnivå. För visades värdet för den aktuella punkten på kartan antingen med en symbol eller endast ett värde vilket gjorde det svårare att se variationerna tydligt på kartan. Även grova kartbilder där variationen visades med färg upprättades. Idag används istället interpolerade kartor med olika färgskalor vilket gör det lättare att visuellt se variationen. De interpolerade kartorna underlättar även att ta fram underlag för varierad spridning av insatser (Söderström, 2010). För att skapa en interpolerad karta krävs det att det finns ett rumsligt samband mellan punkterna, alltså att punkter som ligger nära varandra är mer lika än de som ligger långt ifrån varandra. I de fall där ett sådant samband finns kan en karta upprättas där arealen mellan punkterna tilldelas ett värde som uppskattas utifrån de närliggande punkterna (Delin, 2000). Jordbruksverket rekommenderar idag att en markkartering bör upprättas med lerhalt, mullhalt, fosforinnehåll, kaliuminnehåll samt pH. Efter att en sådan är upprättad bör en omkartering med minst fosfor, kalium och pH ske med tio års mellanrum (Albertsson *et al.*, 2016). Längre intervall, 11-15år, kan vara befogat om:

- jämna jordartsförhållanden råder
- inget förväntat kalkbehov finns
- inga eller måttliga stallgödselgivor läggs
- en uppföljning med växtnäringsbalanser vart femte år utförs

Kortare intervall än tio år, 7-9 år, rekommenderas då:

- ojämna jordartsförhållanden råder
- krävande specialgrödor odlas
- ett förväntat stort kalkbehov finns
- intensiv vallodling sker
- stora stallgödselgivor läggs
- gården har lätta och lerfria jordar

Underlaget för rekommendationerna grundar sig på erfarenheter från Markkarteringsrådet som består av en sammanslutning av flertalet företag, Sveriges lantbruksuniversitet, Jordbruksverket m.m. Dessa har i samråd tagit fram god markkarteringssed (Albertsson *et al.*, 2016). I andra länder rekommenderas ofta ett kortare intervall, Storbritannien har till exempel en rekommendation på 3-5 år (AHDB, 2017). Deras rekommendationer bygger på att värden från en markkartering ofta är osäkra och att framförallt pH värden och Kalium på lättare jordar tenderar att ha relativt snabba förändringar varför de rekommenderar korta intervaller mellan provtagningar (pers meddelande Knight). De vill alltså undvika att gödsling på felaktiga grunder sker under längre perioder.

Fosfor i marken

Fosforinnehållet i marken är förhållandevis stort och kan uppgå till mer än 1000 kg/ha i matjorden (Bertilsson *et al.*, 2005). Större delen av denna fosfor är dock mer eller mindre bunden och inte lättillgänglig för växterna. Växter tar primärt upp den fosfor som är löst i marklösningen och förekommer som jonerna divätefosfat, H_2PO_4^- , och vätefosfat, HPO_4^{2-} . Vilken av dessa former fosfor föreligger i är starkt beroende av vilket pH marken har och de förekommer i samma koncentrationer vid pH 7,2. Vid högre pH ökar andelen vätefosfat och andelen divätefosfat minskar, och vice versa vid ett lägre pH (Eriksson *et al.*, 2011; Beaton *et al.*, 2005). Det är dock som sagt en liten mängd som är löst i marken, ca 0,05 kg P/ha i jordbruksmark, resten föreligger i mer svårösliga, antingen organiska eller oorganiska, former. Den fosfor som är bunden till organiska former finns i det organiska materialet i marken så som gamla skörderester, organiska gödselmedel m.m. Den totala andelen fosfor som föreligger i organisk form kan variera mellan 15-80 %. (Beaton *et al.*, 2005). För att den organiska fosfor skall kunna komma växterna tillgodo krävs en biologisk nedbrytning av det organiska materialet för att fosfor skall kunna mobiliseras och övergå till oorganiska former. Denna process kan dock också gå åt andra hållet genom att mikroorganismer och växter tar upp fosfor vilket resulterar i att fosfor immobiliseras och fastläggs som organisk fosfor i det organiska materialet igen (Eriksson *et al.*, 2011).

Hur den oorganiska fosfor föreligger är starkt beroende av pH. Vid låga pH-värden (3-4) kan fosfor fällas ut tillsammans med Fe^{3+} eller Al^{3+} och bilda sekundära mineraler. Denna fosfor är mycket hårt bunden och det krävs ett högre pH för att de skall frigöras. Vid höga pH-värden kan fosfor istället fällas ut med Ca^{2+} och bilda sekundära mineraler, även dessa är mycket svårösliga och en pH sänkning krävs för att fosfor ska bli tillgänglig igen (Eriksson *et al.*, 2011). Det tredje alternativet för oorganisk fosfor är att fosfatjonerna kan adsorberas till ler- och mineralparticklar i marken. Vid denna reaktion binds inte fosfor lika starkt till marken som vid de andra två fallen utan reaktionen har en större benägenhet att gå åt bägge håll. Reaktionen är dock fortfarande starkt beroende av pH och fosfor är som mest lösligt vid pH-värde 6-7 (Eriksson *et al.*, 2011). Även markens fosforstatus är av betydelse då processen strävar efter jämvikt mellan markvätskan och inbindningen till adsorptionsytorna i marken. Därmed ökar halten fosfor i marklösningen i en mark med hög fosforhalt då dessa ytor redan är mättade med fosfor. Detta leder till att en mindre mängd fosfor kan bindas in till ytan. Likaså sker det omvända i en jord med lägre fosforstatus då fler ytor för fosfor finns att binda in till vilket leder till en lägre halt i marklösningen (Prakash *et al.*, 2017; Sims & Sharpley, 2005). Då marklösningen innehåller ytterst lite fosfatjoner (ca 0,05 kg P/ha) är växterna beroende av att fosfor löses ut i markvätskan under växtperioden för att de skall kunna tillgodose behovet (Eriksson *et al.*, 2011). Mellan marklösningen och den

adsorberade fosfor sker ett ständigt utbyte av fosfor. Då växterna tar upp fosfor från marklösningen frigörs mer av den adsorberade fosfor för att uppnå en jämvikt mellan den adsorberade fosfor och fosforhalten i marklösningen. Den adsorberade fosfor tillsammans med fosfor i marklösningen kallas därför lättillgänglig fosfor (Curtin *et al.* 2008; Eriksson *et al.*, 2011).

Analys av fosfor

För att analysera lättillgänglig fosfor och kalium i mark finns ett flertal olika metoder. Den som idag används i störst utsträckning i Sverige är Egnérs metod med extraktion med hjälp av ammoniumacetatlaktat, även kallad Egnérs AL-metod. Denna metod används även i Norge, Belgien, Ungern, Litauen och Slovenien (Eriksson *et al.*, 2011; Jordan-Meille *et al.*, 2012). Egnérs AL- metod bygger på extraktion med en lösning 0,100M NH₄-laktat +0,400 M ättiksyra vid pH 3,75. Mängden fosfor som utlöses vid extraktionen beräknas i milligram fosfor per 100gram torkad finjord och kallas för P-AL-tal. Jordarna kan sedan delas in i klasser utefter vilket P-AL-tal de har, se Tabell 1 (Eriksson *et al.*, 2011). I alkaliska jordar och jordar med mycket fosfor bundet i olika former av kalcium överskattas värdet av tillgänglig fosfor då den sura AL metoden löser ut stora mängder av fosfor bunden ihop med kalcium. Denna kalciumbundna fosfor är hårt bunden och kommer normalt inte växten tillgodo (Eriksson *et al.*, 2011). I andra delar av Europa som domineras av mer kalkhaltiga jordar används därför Olsen-metoden i större utsträckning (Eriksson *et al.*, 2011). Vid bestämning av tillgänglig fosfor med Olsen-P används en extraktion med 0,5M NaHCO₃-lösning vid pH 8,5, extraktionen sker alltså med en basisk lösning istället för en sur, vilket gör att kalciumbundna fosfor inte löses ut (Eriksson *et al.*, 2011).

Tabell 1. Fosforinnehållet i jord i de olika klasserna (Albertsson *et al.*, 2016)

Lättlöslig fosfor	
KLASS	P-koncentration (mg P/100g jord)
I	<2,0
II	2,0–4,0
III	4,1–8,0
IVa	8,1–12
IVb	12,1-16
V	>16

Förändring av fosfortal i marken

Fosforflöden i mark

I åkermark tillkommer och frånfaller fosfor på flera vis, tillförsel av fosfor sker främst genom gödsling av gröda men även en liten del genom nedfall. De främsta flödena från mark består av bortförsel med gröda, utlakning och ytavrinning där bortförsel med skörd står för den i särklass största bortförseln (Bergström *et al.*, 2007). De största volymerna av fosfor som rör sig till och från odlingsystemet är kopplade till odlingen och då framförallt gödsling och bortförsel med skörd (Bergström *et al.*, 2007). De olika grödorna har olika krav på mängd fosfor och även varierad mängd fosfor bortförs med skörden. Det kan även skilja inom samma grödtyp hur stor bortförseln är. En vetegröda kan till exempel föra bort mellan ca 1,9 och 5,6 kg P/ton gröda med ett medelvärde på 3,7 kg (Eriksson *et al.*, 2010). Dessa halter verkar inte ha något samband med P-AL-talen i marken men däremot verkar höga skördar generellt ge lägre fosforhalter i kärnan, på grund av en utspädningseffekt. Halterna kan även vara beroende av gödslingsintensiteten under provtagningsåret (Eriksson *et al.*, 2010). Detta leder till att det som har störst påverkan på fosforbortförsel från jordbruksmark är skördemängd. En högre skördemängd leder alltså till större bortförsel av fosfor (Bertilsson *et al.*, 2005). En normal gröda för bort mellan 15 och 30 kg P/ha (Bertilsson *et al.*, 2005).

En ytterst liten del av tillförseln i agrara system kommer från nedfall från atmosfären, det rör sig inom 0,2 - 1,2 kg P/ha och härstammar från förbränningsprocesser, pollen och dammpartiklar. Fosfordeposition är svår att kvantifiera vilket bidrar till oklarheter kring hur stor påverkan det har på olika ekosystem (Bergström *et al.*, 2007). Flöden ut ur systemet är även som tidigare nämnts, ytavrinning och utlakning. Dessa flöden är även de små men har stor betydelse på miljön då de bidrar till övergödning i sjöar och vattendrag. Utlakning av fosfor i mark sker genom att fosfor följer med dräneringsvattnet genom markprofilen till dräneringssystemet och sedan ut i vattendrag (Börling *et al.*, 1999). Det som till störst del påverkar vilken utlakning en jord har är jordens förmåga att binda och ge ifrån sig fosfor samt vilken typ av struktur marken har och därmed hur vattenflödet genom mark fungerar. De jordar som har en sådan struktur att vattnet transporteras jämt och långsamt genom hela profilen har lägre halter av fosfor i utlakningsvattnet då en större andel av fosfor hinner bindas in till markpartiklar. De jordar som har gott om makroporer och därmed snabba flöden av vatten och liten potentiell yta för fosfor att binda in till har högre halter av fosfor i utlakningsvattnet (Djodjic *et al.*, 2004; Börling, 2003). Jordens P-AL-tal har betydelse för hur mycket fosfor som lakas ut men den är dock av mindre vikt vilket gör att det inte enbart går att använda jordens P-AL-tal vid bestämning av potentiell utlakningsrisk (Djodjic *et al.*, 2004; Börling, 2003). Mängden fosfor som lakas ut ur svensk åkermark har

mätts till 0,1-1,8 kg P/ha och år, medelvärdet för svenska jordar ligger på 0,23 kg P/ha och år (Bergström *et al.*, 2007). Utlakningen varierar en del inom Sverige där den största utlakningen sker i de södra delarna, 0,6 kg P/ha och år, och mindre utlakning i de norra, 0,14 kg P/ha och år.

Ytvattenavrinning som kan föra med sig olika former av fosfor är ytterligare en möjlighet för fosfor att transporteras bort från odlingssystemen. Ytvattenavrinning inträffar då vatten inte infiltreras genom profilen, detta kan till exempel ske vid hårt packad jord, snösmältning på tjälad mark och kraftigt regn då vattnet inte hinner infiltrera (Ulén, 2005). Den fosfor som transporteras med ytvattnet kan föreligga i löst, partikelbunden eller organisk form. De olika formerna förs bort i olika koncentrationer beroende på vilka förutsättningar som råder vid ytvattenavrinningen. Då snösmältning sker på tjälad mark ökar andelen partikelbunden fosfor i avrinningsvattnet. Vid ytavrinning under perioder utan vegetation och från jordar som nyligen blivit gödslade eller med ett högt innehåll av fosfor kan halten av löst fosfor vara betydande. Risken för förlust av organisk fosfor är störst då kraftig nederbörd inträffar efter spridning av stallgödsel (Ulén, 2005).

Typ av fosforgödsel

Vid fosforgödsling används organiska gödselmedel så som stallgödsel, slam från reningsverk m.m. eller mineralgödsel. I de organiska gödselmedlen föreligger en del av fosfor i organisk form och en del i oorganisk form till skillnad från mineralgödselmedlen som är oorganiska och vattenlösliga. Hur förhållanden ser ut varierar mellan olika organiska gödselmedel (Beaton *et al.*, 2005). Tabell 2 visar hur variationen kan se ut för gödsel från olika djurslag (Barnett, 1994).

Då organisk fosfor behöver mineraliseras för att vara växttillgängligt uppstår en fördröjning innan all fosfor som appliceras kommer växten tillgodo (Beaton *et al.*, 2005). Detta gör att på längre sikt kan fosfortillförsel via stallgödsel motsvara samma tillförsel som med mineralgödsel men på kort sikt har fosfor visat sig ha en sämre tillgänglighet (Materechera & Morutse, 2009; Delin *et al.*, 2014). Slam från reningsverk är också ett organiskt gödselmedel som kan användas vid

Tabell 2. Fosforinnehåll och form i gödselmedel från olika djurslag (Barnett, 1994).

Djurslag	Total fosfor (g/kg torrsubstans)	Oorganisk fosfor (% av total mängd P)
Nötdjur	3,7-16,0	28,2-71,2
Gris	19,7-40,0	42,2-76,6
Fjäderfä	13,1-30,3	13,1-30,3

fosforgödsling. Vid produktionen av slam används olika typer av fällningsmedel för att fosfor skall fällas ut och vattnet från reningsverken skall vara fritt från fosfor (Linderholm, 2011). Vilken typ av fällningsmedel som används vid reningsprocessen påverkar även vilket gödselvärde avloppsslammet kommer att ha (Krogstad *et al.*, 2005). Vid användning av järn och aluminium som fällningsmedel har det påvisat sämre gödseffekter än vid användning av exempelvis kalcium (Krogstad *et al.*, 2005). Hur fosforformerna förhåller sig i marken har visats i långliggande försök och där har inte tillförsel av organiska fosforgödselmedel nämnvärt påverkat halten av organisk fosfor i marken. Fosfor omfördelas från organisk fosfor i gödselmedlen för att sedan lagras i form av oorganisk fosfor i marken, vilket gör att den oorganiska mängden fosfor ökar med ökad gödsling men halten organiska fosfor är mer konstant (Bergström *et al.*, 2015).

Rekommendationer kring fosforgödsling

De svenska gödslingsrekommendationerna som ges ut av Jordbruksverket syftar till att försöka nå fosforklass III. De bygger på att det vid fosforklass III bör ske en balanserad gödsling där tillförsel och bortförsel är lika (Albertsson *et al.*, 2016). Vid lägre fosforklasser bör en uppgödsling av fosfor ske, tillförseln av fosfor bör alltså vara större än bortforsling vid skörd för att på så vis gödsla upp till klass III. Vid högre klasser sker det omvända, en lägre tillförsel än bortförsel sker av fosfor för att tära på förråden och nå en lägre klass (Albertsson *et al.*, 2016). Då fosfortalen förändrar sig långsamt över tid är det möjligt att förrådsgödsla med fosfor och fördela den där den gör bäst nytta i växtföljden (Bertilsson *et al.*, 2005). Fosfor bör till exempel prioriteras till fosforkrävande grödor så som raps och potatis och en högre giva än bortförsel kan läggas till dessa för att sedan kompenseras med en lägre eller utebliven gödsling till efterkommande gröda (Bertilsson *et al.*, 2005; Albertsson *et al.*, 2016).

Markens inverkan på förändring av fosforhalter över tid

Jordens förmåga att binda in fosfor varierar beroende på vissa inneboende faktorer hos jorden, där jordens lerhalt, mullhalt, pH, innehåll av järn och aluminium har stor betydelse (Börling *et al.*, 2001; Prakash *et al.*, 2017). Jordens halt av järn och aluminium och i vilken form dessa föreligger har stor betydelse för en jords förmåga att binda in fosfor (Börling *et al.*, 2001). Börling *et al.*, (2001) fann att halterna av järn- och aluminiumoxider var de viktigaste adsorptionsmedlen för fosfor i svenska jordar och att de bidrar starkt till jordens förmåga att binda in fosfor (Börling *et al.*,

2001). Dessa processer är starkt påverkade av vilket pH-värde som råder då de förskjuts mot att binda in till dessa ytor vid lägre pH än 6.

Desto högre lerhalt en jord har desto större förmåga har jorden att binda in fosfor (Sims & Sharpley, 2005). Detta på grund av att en jord med hög lerhalt har fler bindningsytor och därför en större adsorptionsförmåga vad gäller fosfor (Prakash *et al.*, 2017; Sims & Sharpley, 2005).

Då den största fosfortransporten från jordbruksmark sker via bortförel med skörd (Bergström *et al.*, 2007) så påverkar faktorer som är skördesänkande och skördehöjande även fosfortalens förändringar i marken. På en plats där skörden är god bortförs en större mängd fosfor från denna plats jämfört med en plats som ger en dålig skörd förutsatt att det inte är fosfor som är begränsande i något av fallen. Lerhalt och mullhalt är faktorer som många gånger påverkar en jords bördighet (Fogelfors, 2015).

I långliggande försök har det undersökts hur olika fosforgödslingsintensitet påverkat markens fosforinnehåll. I Sverige finns det för närvarande nio sådana försök som sköts av SLU (Börjesson, 2017). I dessa prövas gödsling i olika växtföljder med och utan spridning av stallgödsel samt gödslingsintensitet som motsvarar 0 kg P, ersättningsgödsling med fosfor, ersättning +15 kg P och ersättning + 30 kg P (Carlgren & Mattsson, 2001). Dessa försök visar tydligt på att de led där gödsling sker med 15 eller 30 kg P utöver ersättning ökar P-AL-talen, där de led med högre gödsling ökar mer (Bergström *et al.*, 2015; Carlgren & Mattsson, 2001). De visar även på att om ingen gödsling eller till och med där ersättningsgödsling sker minskar P-AL-talen med tiden och leder till en lägre fosforstatus (Carlgren & Mattsson 2001; Bergström *et al.*, 2015). Även försök utförda i Holland där fosforgödsling och fosforstatus har undersökts i långliggande vallar visar på att en balanserad fosforgödsling leder till en svag minskning av P-AL över tid (van der Salm *et al.*, 2017). Dessa förändringar av P-AL är dock långsamma processer och de svenska försöken visar på att det tar ca 17 år i snitt för att minska P-AL med en enhet för de led där ingen fosforgödsling sker och att en ökning vid ersättningsgödsling + 30 kg P sker motsvarande ökning under 7 år. Det är således lättare att öka fosforstatusen än att tära ner förråden (Bergström *et al.*, 2015). Vid mätningar av de led där höga givor applicerades syntes en stor variation mellan åren som kunde uppgå till mellan 75 och 80 % medan de led där ingen eller liten gödsling skedde var variationerna mellan år betydligt mindre (Bergström *et al.*, 2015). Varför dessa variationer uppstod kunde inte helt klargöras. En möjlig orsak skulle kunna vara att fosfor rör sig långsamt och att det därför inte sprids jämnt i marken utan fastläggs närmast gödselkornen, vilket leder till att var provet tas blir starkt avgörande (Bergström *et al.*, 2015).

Material och metoder

Dataunderlag

I denna studie har markkarteringar och data från programmet Dataväxt från 8 olika gårdar använts. Dataunderlaget kommer från gårdar i Östergötland i Sverige. Gårdar där det fanns två markkarteringar gjorda med GPS med ungefär tio till tjugo års mellanrum valdes ut för att analyseras. Kraven som ställdes för vilka gårdar som kunde användas var att minst en av karteringarna innehöll analys på lerhalt och mullhalt. I övrigt ställdes kravet att bägge markkarteringarna skulle innehålla analyser av pH, P-AL och K-AL. Dessutom krävdes underlag för att göra fosforbalans för åtminstone en del av perioden mellan markkarteringarna. Målet var att provpunkterna i markkarteringarna skulle ligga på samma ställe mellan åren men det var ej möjligt att finna något underlag som uppfyllde även detta kriterium. Istället fick värdena interpoleras (se avsnittet ”Förändringar mellan markkarteringar” nedan). Gårdarna har sedan namngetts av anonymitetsskäl till gård: 1, 2, 3A, 3B, 4A, 4B, 5 och 6 (Tabell 3).

Tabell 3: Fakta om när markkarteringar är utförda, antal skiften, areal, vilka typer av fosforgödselmedel som nyttjas och vilken inriktning som bedrivs på de gårdar som använts för undersökningen.

Gård	1:a markkartering	2:a markkartering	Antal skiften	Areal	Fosforgödselmedel	Inriktning
1	2003	2013	9	169,8	Fjäderfågödsel och mineralgödsel	Fjäderfä och spannmål
2	2007	2016	14	122,4	Mineralgödsel	Potatis och spannmål
3A	2007	2016	8	146,8	Slam och mineralgödsel	Spannmål
3B	2007	2016	10	115	Mineralgödsel	Potatis och spannmål
4A	2002	2016	20	367,4	Slam, biogödsel och mineralgödsel	Spannmål
4B	1997	2016	19	297,1	Slam, biogödsel och mineralgödsel	Spannmål
5	1997	2016	17	126,2	Nötgödsel	Mjolkproduktion
6	2001	2015	18	238,3	Svingödsel, slam, mineralgödsel och tidigare även nötgödsel	Slaktsvin och spannmål tidigare även mjölk

Data från de svenska bördighetsförsöken R3-9001 (Börjesson, 2017) användes för att jämföra förändringarna på de verkliga gårdarna i förhållande till dess fosforbalans. Försöksplatserna redovisas i Tabell 4. De led i försöken som användes var de med fosforgödslingsnivåer på 0 kg P/ha, ersättningsgödsling av P, ersättning +15 kg P/ha, ersättning +30 kg P/ha. Samtliga hade en upprepning med och utan stallgödsel. Endast de led med högsta kvävenivån om 150 kg kväve/ha användes.

Tabell 4: Långhgande bördighetsförsök med namn och var de är belägna.

Län	Plats	Försök
Skåne	Fjärdingslöv	M-1-1957
Skåne	Orup	M-2-1957
Skåne	Örja	M-4-1957
Skåne	S-Ugglarp	M-5-1957
Skåne	Ekebo	M-6-1957
Västra Götaland	Bjertorp	R-94-1966
Uppland	Kungsängen	C-7-1963
Uppland	Fors	C-8-1963
Östergötland	Klostergården	E-9-1966
Östergötland	Högåsa	E-10-1966

Databearbetning och statistik

Förändring av P-AL i markkarteringarna

Geografiska informationssystem (GIS) är program för bearbetning av geografiska data. Visualisering och en första bearbetning av data från markkarteringarna gjordes i GIS-programmet ArcGIS. Blockdata från jordbruksverket användes för skiftesdelning över gårdarna.

För att undersöka hur mycket P-AL talen förändrades under tidsperioden mellan markkarteringarna gjordes kartor. Kartorna jämfördes visuellt och förändringarna beräknades. Eftersom markkarteringspunkterna inte hade samma koordinater vid de båda provtagningsstillfällena behövde kartorna interpoleras. Interpolering bygger på att närliggande punkter är mer lika än punkter som ligger långt ifrån varandra det vill säga att det finns ett rumsligt samband (Delin, 2000). För att beräkna värdena för P-AL mellan provpunkterna användes Kriging vilket är en typ av geostatistisk interpolationsmetod (Delin, 2000).

Förändringsberäkningar av P-AL gjordes i ett rutnät om 20 x 20 m. De två beräkningar som gjordes var följande:

Förändring av P-AL: (P-AL vid andra karteringen – P-AL vid första markkarteringen)

Procentuell förändring av P-AL:

$$\frac{\text{Förändring av } P - AL}{P - AL \text{ vid första markkarteringen}} * 100 = \text{Förändring av } P - AL \text{ i } \%$$

Värdena från de ovanstående uträkningarna för varje punkt fördes sedan över i tabellform skiftesvis samt gårdsvis till programmet Excel. I Excel utfördes beräkningar av medeltal på gårds- och skiftesnivå för de olika parametrarna. Vid analyserna av andelen areal som ansågs ha en förändring av P-AL sattes en gräns på $\pm 20\%$ förändring av P-AL mellan första och andra markkarteringen. Anledningen till gränsen $\pm 20\%$ var att företaget Eurofins som upprättar markkarteringar uppger $\pm 20\%$ som deras felmarginal vid analyser av P-AL (pers meddelande Gustavsson). Alltså anses att en förändring av P-AL har skett där P-AL-talen har ökat med mer än 20 % eller minskat mer än 20 %. Enskilda punkter med felaktiga eller extrema värden kan få stort genomslag på analysen, varför sådana punkter valdes bort för vidare analyser. Punkter som ansågs ha ett orimligt värde i förhållande till omkringliggande punkter ansågs vara de med en större differens än 15 enheter ifrån närliggande punkter.

Samband mellan förändringar i P-AL och markfaktorer

För att analysera olika markfaktorerers inverkan på förändringen i P-AL-tal användes "Mixed procedure" i SAS (SAS Institute Inc) där lerhalt, mullhalt, pH-värde och P-AL-tal användes som fixa faktorer. En rumslig korrelationskattning har lagts till för att kompensera för att observationerna inte är oberoende av varandra. Vid analyserna användes de uppmätta P-AL värden för första markkarteringarna och den andra markkarteringens interpolerade värden. För pH användes värden från första markkarteringen och lerhalt och mullhalt interpolerades. Då lerhalt och mullhalt var tagna i ungefär var tredje punkt i markkarteringarna användes interpoleringsmetoden Inverse Distance Weighting (IDW). Vid färre än ett prov per hektar är Kriging inte en lämplig interpolationsmetod utan istället rekommenderas att IDW används (Söderström, 2010).

Växtnäringsbalanser och jämförelser med långliggande försök

För gårdarna upprättades fosforbalanser i så stor utsträckning som möjligt på skiftesnivå. På en av gårdarna, gård 3B, var det endast möjligt att beräkna fosforbalanser på skiftesnivå på två skiften. Där beräknades istället fosforbalansen över hela gården och separat för de två skiften som var möjliga. I fosforbalansen togs endast hänsyn till skörd och gödsling då det är de flödena i odlingssystemen som antogs ha störst betydelse. Information för fosforbalanser erhöles från gårdarnas växtodlingsplaner i programmet Dataväxt. För gård 1, gård 3A och gård 3B fanns uppmätta värden på skördenivåer skiftesvis. För gård 4A och 4B användes gårdarnas skördesnitt för de senaste tio åren som uppskattat värde för skörd. För skördenivåerna för gård 2, 5 och 6 användes uppskattade värden från gårdens rådgivare. På grund av avsaknad av data var det inte möjligt att utföra fosforbalanser för hela perioden mellan markkarteringarna på alla gårdar. Vid bestämning av bortförsel med skörd användes värden som presenteras i Tabell 5 nedan.

För att jämföra de faktiska förändringarna av P-AL med fosforbalansen har data från de svenska långliggande bördighetsförsöken R3-9001 använts (Börjesson, 2017). Medeltalet av förändringen av P-AL och en uppskattad fosforbalans plottades mot varandra. Den uppskattade balansen bygger på att vid ersättningsgödsling är balansen 0 och vid nollgödsling sattes bortförseln av fosfor med skörd till 10 kg P. Ekvationen användes sedan för att beräkna vilken förändring som teoretiskt borde ha skett med hänseende till fosforbalansen och de långliggande försöken.

Tabell 5: Mängden fosfor som bortförs med skördad mängd av respektive gröda.

Gröda	Fosforinnehåll 1000kg	per	Källa
Höstsäd	3,2 kg		Albertsson <i>et al.</i> , 2016
Vårsäd	3,4 kg		Albertsson <i>et al.</i> , 2016
Oljeväxter	6 kg		Albertsson <i>et al.</i> , 2016
Vall, torr substans	2,3 kg		Albertsson <i>et al.</i> , 2016
Potatis	0,5 kg		Albertsson <i>et al.</i> , 2016
Åkerböna/Ärt	3,7 kg		Albertsson <i>et al.</i> , 2016
Klöverfrö	5 kg		Jordbruksverket, 2010
Ängssvingelfrö	4,5 kg		Jordbruksverket, 2015
Lusern	2,7 kg		Jordbruksverket, 2015

Resultat och diskussion

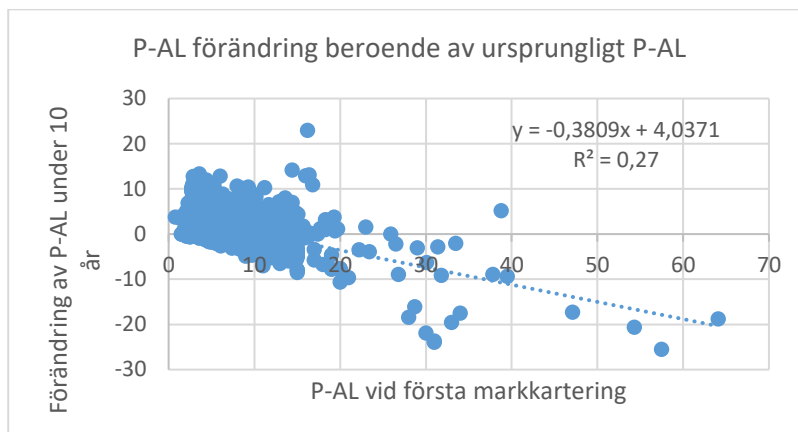
Markfaktorers inverkan på förändring av P-AL-tal

Vid de statistiska analyserna framgick att det ursprungliga P-AL-värdet var den markfaktor som tydligast kunde kopplas till förändringarna av P-AL där ett lågt P-AL-tal vid första markkarteringen gav en större positiv förändring av P-AL medan ett högre ursprungligt värde ledde till en större negativ förändring (Tabell 6). Att ursprungligt P-AL-tal visar sig korrelera med förändringarna anser jag vara logiskt då rekommendationerna vid låga P-AL-tal är att gödsla upp markerna och att vid höga P-AL-tal bör en måttlig eller ingen gödsling ske. Således kan det sägas att förändringen troligen egentligen beror på hur jorden gödslas och inte av någon inneboende faktor. Det R^2 -värde (0,27) som visas i Figur 1 antyder att korrelationen inte är jättestark men då underlaget är stort visar det ändå på en signifikans.

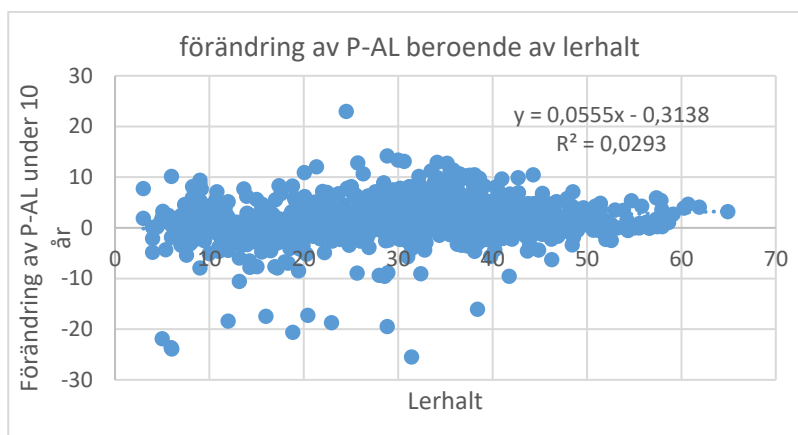
För mullhalten fanns en signifikant positiv korrelation till förändringen men R^2 -värdet för korrelationen var dock mycket låg (0,01). Detta visar att sambanden mellan mullhalt och förändringen i P-AL är svaga och inte betydelsefulla (Figur 3). P-värdena visar också på att det ursprungliga P-AL-talet är en betydligt säkrare förklaringsfaktor till förändringen än mullhalten (Tabell 6). Varken pH eller lerhalten visade på signifikanta korrelationer med förändringen.

Tabell 6. Korrelation mellan olika markfaktorer (lerhalt, mullhalt, pH-värde och P-AL-tal) och förändringen av P-AL mellan de två markkarteringarna. Data från åtta olika gårdar (n=1284).

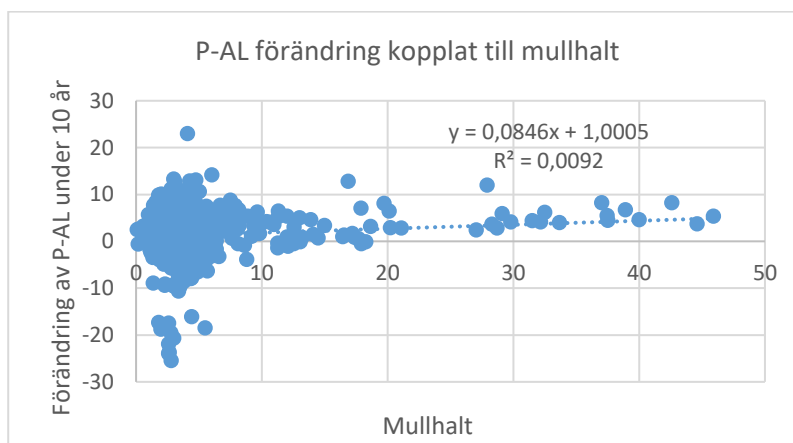
Faktor	t-värde	p-värde	R^2-värde
Lerhalt	-2,37	0,18	
Mullhalt	-2,30	0,022	0,01
pH	1,38	0,17	
(ursprungligt)			
P-AL-tal	-38,37	<0,001	0,27
(ursprungligt)			



Figur 1: Förändring av P-AL under 10 år beroende av P-AL-tal vid första markkarteringen.



Figur 2: Förändring av P-AL under 10 år beroende av lerhalt.

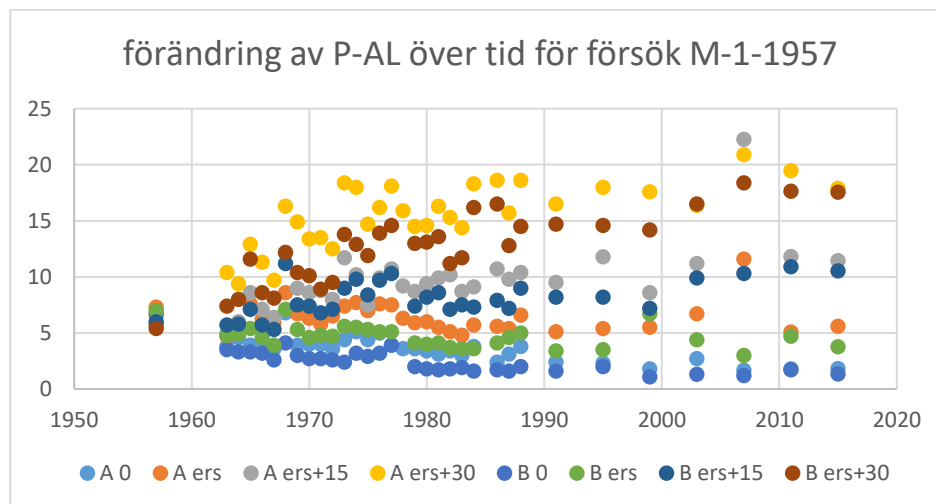


Figur 3: Förändringen av P-AL under 10 år beroende av mullhalt.

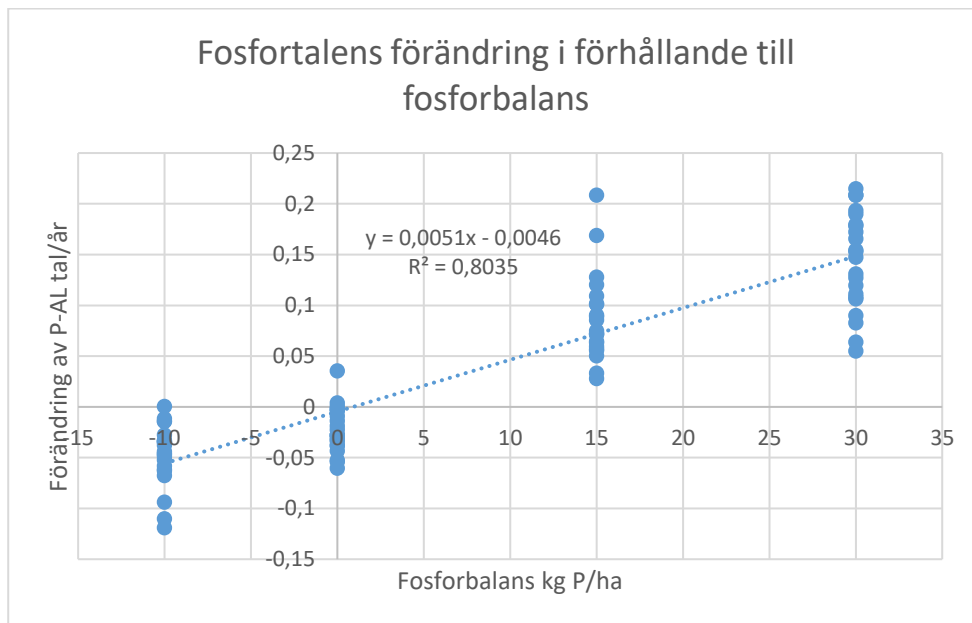
Långliggande försök och fosforbalanser

Då de långliggande försöken undersöktes framkommer vissa skillnader mellan ogödslade och uppgödslade led som är genomgående för alla försöksplatser. Som exempel visas förändringen av P-AL-talen över tid på en försöksplats i Fjärdingslöv i Figur 4. Led A är led med stallgödsel och mineralgödsel medan led B endast erhåller mineralgödsel. För de led som inte erhåller någon fosfor, t.ex. led A0 och B0, är variationen mellan år betydligt mindre än för de som erhåller en kraftig uppgödsling som led A ers +30 och led B ers +30 (Figur 4). Denna trend är genomgående för de olika platserna i de långliggande försöken med mätningar varje år. Dessa skillnader mellan ogödslade och uppgödslade led nämns också av Bergström *et al.*, 2015. Det framkommer även i försöken att minskningen i leden utan gödsling sker snabbast i början av försöken för att sedan plana ut. I de led som gödslas upp sker det mer av en jämn ökning av P-AL.

Vid en sammanställning av medeltalsförändringarna i de långliggande försöken med hänseende av dess fosforbalans framställdes grafen som visas i Figur 5. Ekvationen som räknats fram från grafen har använts för att räkna ut vilken förändring av fosfor som borde ha skett mellan markkarteringarna med hänseende till gårdarnas fosforbalanser. I Figur 5 visas hur fosfortalen förändras i förhållande till fosforbalansen. Det syns att vid mer intensiv gödsling så sker en ökning av P-AL-talen medan det i de led som inte erhåller någon fosfor eller ersättningsgödsling med fosfor sker i de flesta fall en succesiv minskning av P-AL-talen.



Figur 4: Förändring av P-AL över tid för försök M-1-1957, Fjärdingslöv, med olika fosforgivor i förhållande till skörd. A=led med stallgödsel och mineralgödsel, B=led med endast mineralgödsel



Figur 5: Förändring av P-AL per år i förhållande till fosforbalans per år.

Vid beräkningar av gårdarnas fosforbalans framkom stora skillnader mellan gårdar (Tabell 7). I Tabell 7 visas också den framräknade förändringen som bör ha skett med de långliggande försöken som grund för beräkningarna.

De värden som har räknats fram från grafen i Figur 5 anser jag bör tolkas som grova uppskattningar och har använts som en fingervisning för att förhålla sig till de förändringar som skett på de verkliga gårdarna. Jag har valt att se på om de framräknade balanserna och de faktiska förändringarna pekar åt någorlunda samma håll mer än att använda dem som absoluta tal. Då man exempelvis tittar på gård 1 anser jag att den uppmätta förändringen och den framräknade förändringen stämmer väl överens med varandra. Ifall man däremot ser på gård 4A och 4B stämmer värdena inte överens med varandra då differensen mellan dem är stor.

Tabell 7: Gårdarnas förändring av P-AL i medeltal, dess fosforbalans i medeltal samt dess uträknade förändring i P-AL.

	Gård							
	1	2	3A	3B	4A	4B	5	6
År mellan markkarteringar	10	9	9	9	14	19	18	14
Fosforbalans (kg P/ha och år)	3,0	-3,4	-1,8	-7,1	10,6	-0,3	-1,8	-2,6
Förändring enl. markkartering (P-AL-tal)	0,4	0,5	-0,8	-1,0	7,1	3,7	-0,3	0,3
Uträknad förändring från försök (P-AL-tal)	0,1	-0,2	-0,1	-0,4	0,7	-0,1	-0,2	-0,3

Förändring av fosfortal på gårdar

Vid fortsatt läsning av rapporten är det bra att notera att då det diskuteras hur stor andel av arealen som har en förändring menas den andel av arealen som har en ökning av P-AL med mer än 20 % och den andel av arealen som har en minskning med mer än 20 %. I övrigt diskuteras också ofta förändringen av faktiska P-AL-tal men i de fall det rör sig om andelen areal är det alltså procentuell förändring som diskuteras.

Variation mellan gårdar

På samtliga av de undersökta gårdarna framkommer det att det har skett förändringar av P-AL-talen mellan de två markkarteringarna. Det förekommer dock stora skillnader i hur stor andel av arealen det sker en förändring på (Tabell 8). På gårdarna 3A och 3B har minst förändring skett medan gård 4A och 4B har störst förändringar följt av gård 5 och 6. På gård 3A är 83,8 % av arealen oförändrad mellan markkarteringarna. På gård 4A är endast 2,2 % av arealen oförändrad och på resterande del har en ökning skett. På gård 5 är 48,2 % av arealen oförändrad och på 34,1 % av arealen har det skett en minskning. Gård 5 är den gård med störst andel av areal med en minskning av P-AL. Hur förändringarna ser ut fördelat på arealen kan ses i Figur 6.

Tabell 8: Sammanställning av P-AL-tal vid markkartering 1 och 2, förändringen av P-AL, andelen areal med förändring samt lerhalt och mullhalt för gårdarna som hanterats i studien.

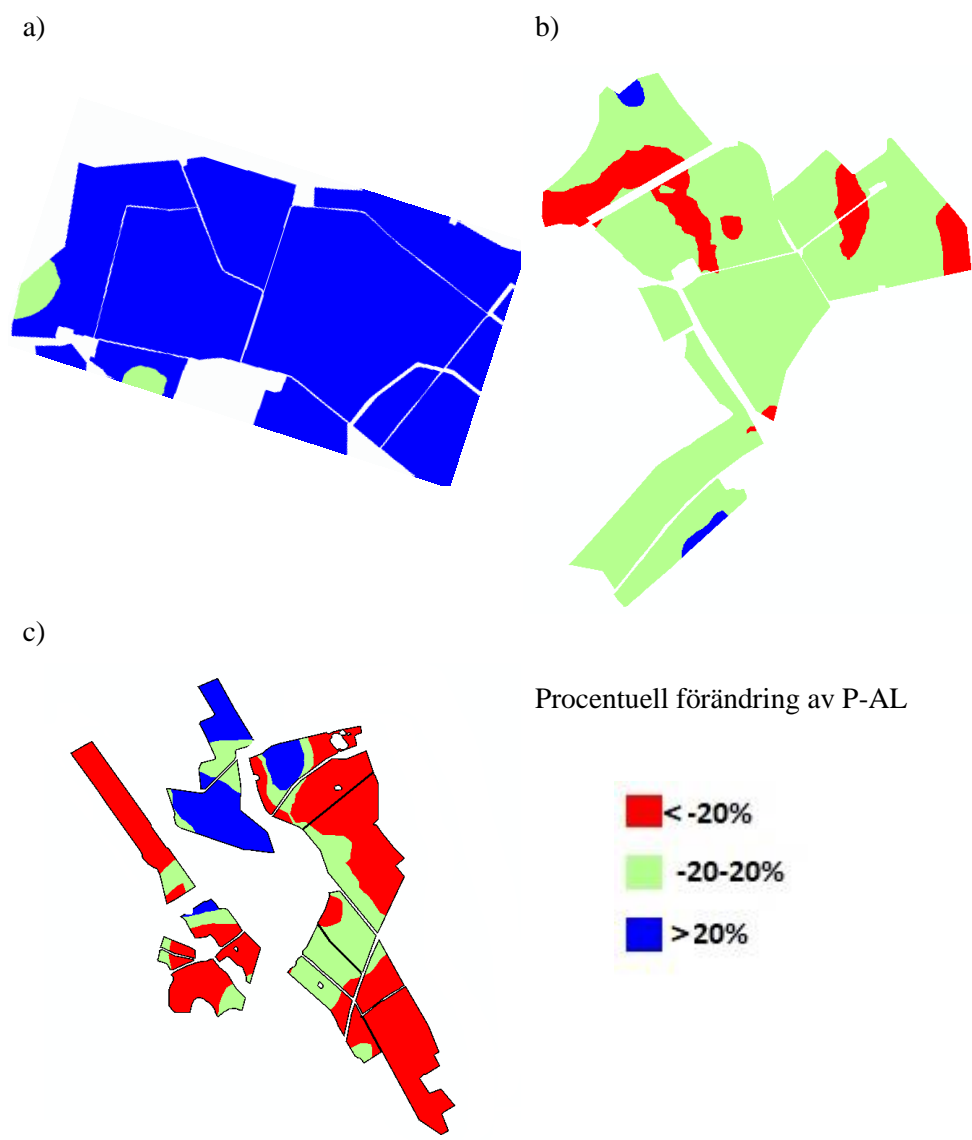
	Gård 1	Gård 2	Gård 3A	Gård 3B	Gård 4A	Gård 4B	Gård 5	Gård 6
P-AL 1a MK	7,4	9,0	7,9	7,0	6,5	8,2	4,4	5,3
Min-max	2,1-30	2,7-31	3,6-28	3,2-34	1,9-58	0,8-75	1,5-15	1,8-29
P-AL 2a MK	8,3	11,8	7,2	6,0	13,6	11,9	4,1	5,7
Min-max	3,1-32	4-20	3,6-30	2,8-24	4,3-66	3,7-57	1-13	1-36
Förändring P-AL-tal	+0,9	+0,5	-0,8	-1,0	+7,1	+3,7	-0,3	+0,3
% av arealen med ökning*	27,3	32,1	1,4	1,2	97,8	83,7	17,7	29,0
% av arealen med minskning*	4,0	7,9	14,8	25,3	0,0	3,6	34,1	19,3
% av arealen oförändrat*	68,6	60,0	83,8	73,6	2,2	12,8	48,2	51,7
Lerhalt	36,4	9,6	18,0	24,3	34,4	28,6	43,8	42,0
Mullhalt	5,0	2,1	4,2	4,4	6,0	2,4	7,1	3,8

*definitionen på förändring är satt till ± 20 % ökning eller minskning av P-AL talen.

De gårdar som alltså sticker ut mest är gård 4A och 4B där i stort sett hela arealen har ökat sitt P-AL. I medeltal har gård 4A en ökning med 7,1 enheter P-AL och 4B en ökning med 3,1 enheter. Vid en uträkning av vilken fosforbalans som var nödvändig för att uppnå en så stor förändring som 7,1 enheter krävdes att det läggs 100 kg P/ år mer än vad grödan för bort med skörd under perioden mellan markkarteringarna. Gård 4A har en balans som resulterar i ett överskott på 10 kg P/år. Även om det kan anses vara en relativt hög fosfortillförsel tyder alltså detta på att förändringarna av P-AL är markant mer än vad de borde vara genom den uppgödsling av marken som skett. Den fosfor som tillförs på gården läggs ofta i stora givor både i form av slam och mineralgödsel där givor på 400 kg P/ha har förekommit. Vissa områden fick 46 kg P/ha i form av mineralgödsel så sent som samma höst som den sista markkarteringen upprättades, dvs väldigt nära in på karteringen. Gård 3A är den gård som har minst förändringar och här förekommer istället mestadels små regelbundna givor av fosfor (Figur 6 och Tabell 8). Det har förvisso tillförts fosfor i större givor i form av slam men senast det skedde var hösten

2010, alltså 6 år före sista markkarteringen, och efter det har inga större givor lagts utan gödsling har skett med mineralgödsel med givor från 10 till 20 kg P/ha där de flesta givor ligger under 15 kg P/ha. Gårdens fosforbalans och den uträknade balansen pekar åt samma håll, nämligen en svag minskning av P-AL över tid. Detta skulle kunna vara en indikation på att stora givor eller givor strax före markkarteringen ger ett väldigt högt P-AL-tal i marken. Hur länge detta P-AL-tal är aktuellt är något som bör utredas ytterligare då material från de långliggande försöken tyder på att P-AL-talet inte skulle vara såpass högt i förhållande till balansen. Det visar sig även ofta i de långliggande försöken att de led där en kraftig uppgödsling sker tenderar att variera mer i P-AL-tal mellan år. En trolig orsak till denna variation både i försöken och på de verkliga gårdarna kan vara att gödselkorn eller gödsel helt enkelt kommer med i provet vid provtagning vilket resulterar i en överskattning av P-AL-talen. Om så är fallet på gård 4A och 4B kan det sägas att den senaste markkarteringen ger mer av en ögonblicksbild av fosforinnehållet i marken och att P-AL-talen troligen skulle minska inom en ganska snar framtid.

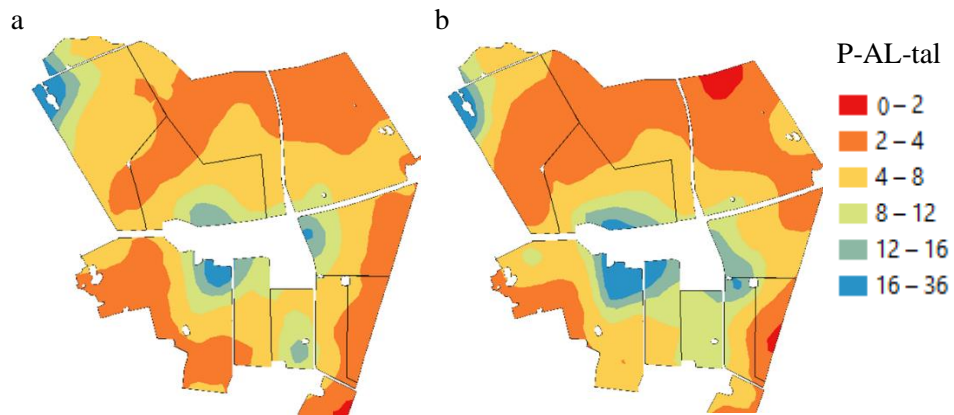
På gård 5 sker all spridning med organiska gödselmedel, med givor som varierar mellan 10 och 30 kg P/ha. Gårdens första markkartering upprättades 1997 och den sista 2015 vilket gör att det är en av de gårdar med längst mellan markkarteringarna. Det långa intervallet bör tas i beaktande då förändringar av fosfor diskuteras eftersom förändringarna av P-AL-talen kan vara en långsam process. Denna gård är den där störst andel av arealen har en minskning av P-AL vilket skulle kunna förklaras av en otillräcklig gödsling och den långa tiden mellan markkarteringarna (Figur 6). Den otillräckliga gödslingen är dock svår att bekräfta då data för skörd och gödsling inte var tillgänglig för mer än åren mellan 2009-2015. Fosforbalansen för den tidsperioden visade dock på en svagt negativ balans. Den uträknade förändringen av P-AL och den faktiska förändringen stämmer också väl överens med varandra (Tabell 7). Detta skulle kunna bero på att det är fler år mellan markkarteringarna på denna gård jämfört med de övriga vilket gör att trenden av fosforförändring lättare kan ses.



Figur 6: Bild över den procentuella förändringen av P-AL på a) gård 4A b) 3A och c) 5

Variation inom gårdarna

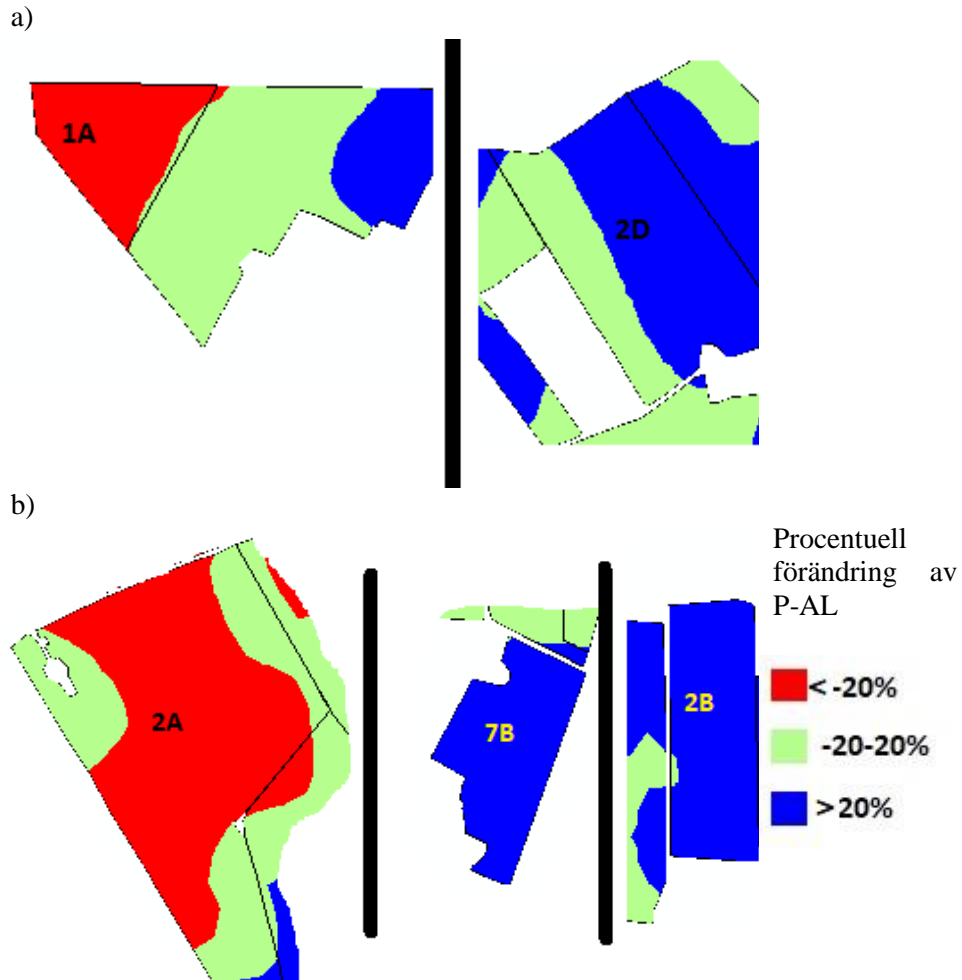
Vid en visuell genomgång av kartbilderna över fosforstatusen av gårdarna kan det konstateras att hur fosforstatusen varierar inom gården inte förändrats särskilt mycket mellan markkarteringarna. Typiskt för de flesta gårdarna är att fosfortalen är högst runt det nuvarande eller gamla gårdscentrumet. Som bilderna över gård 6 visar kan det uppfattas som att inga stora förändringar har skett (Figur 7).



Figur 7. P-AL på gård 6 vid a) första markkarteringstillfället (2001) och b) andra markkarteringstillfället (2015).

Variation mellan skiften

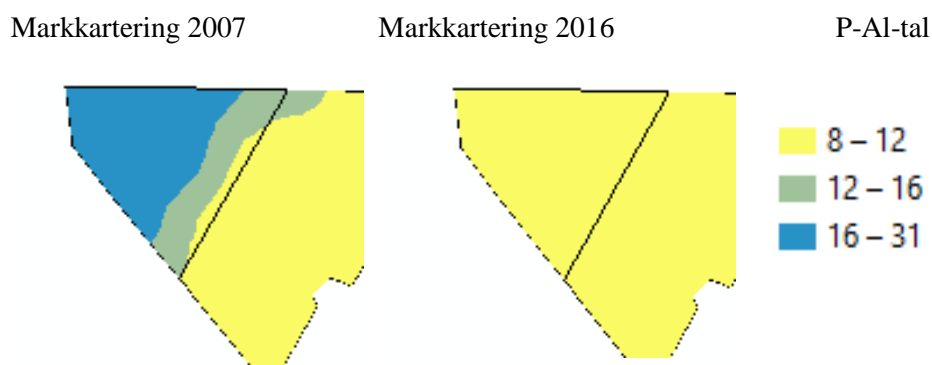
I vissa fall kan man se att förändringen av fosfor skett skiftesvis. Förändringen börjar vid eller i närheten av skiftesgränsen och följer den parallellt. Det syns ingen egentlig variation inom fälten. Exempel på platser där förändringen är kopplad till skiften är skifte 1A och 2D på gård 2 och skifte 2A, 2B och 7B på gård 6 (Figur 8 a-b). Att skiftesgränserna inte är extremt tydliga kan bero på interpoleringen som skapar en viss utsmetning av kartbilden, tydligt är dock att gränserna går i stort sett parallellt med skiftesgränserna.



Figur 8: Skiften med förändringar av hela skiften på a) gård 2 och b) gård 6.

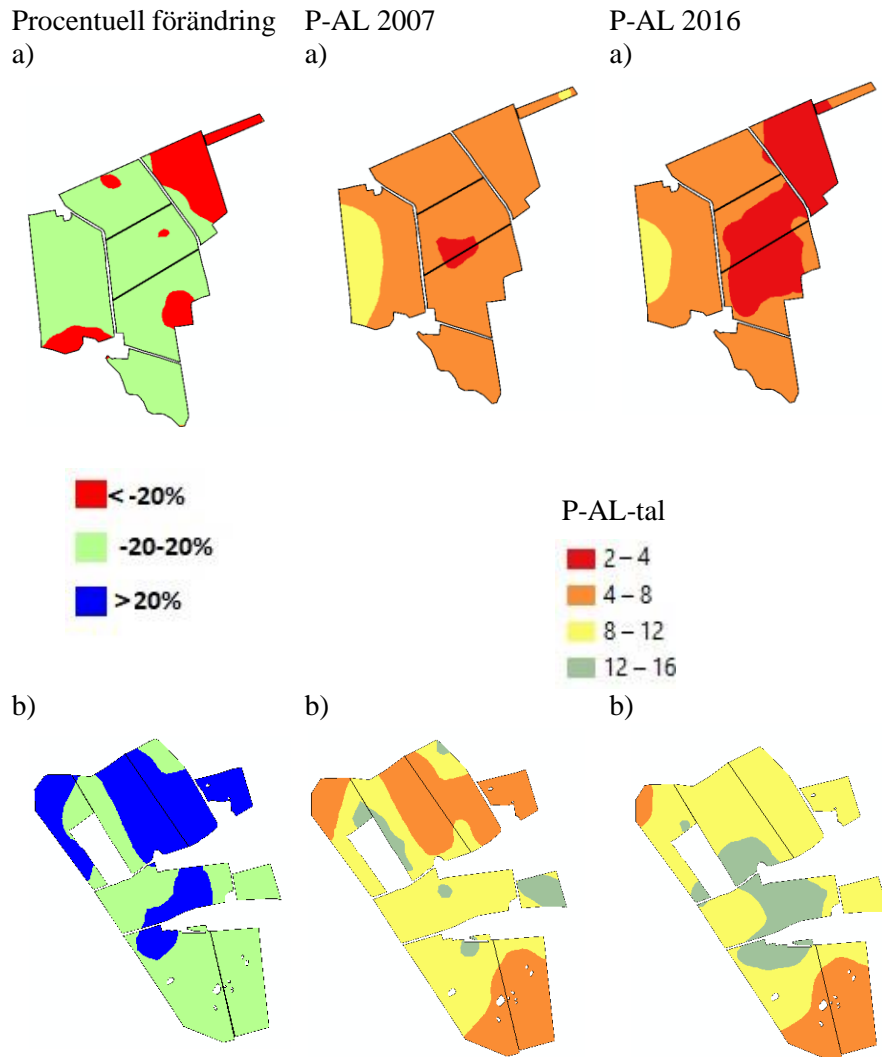
Vid variationer mellan fält kan dessa troligen kopplas till brukningsätt av fälten t.ex. gröda, gödsling m.m. då variationen är så tydligt kopplad till en skiftesgräns. Ifall variationerna skulle bero på någon inneboende faktor hos fälten så som jordart med mera, något som ofta varierar inom fältet borde inte förändringen vara så skarpt kopplad till skiftesgränsen som de synes vara i vissa fall (Figur 8 och 9). Detta tror jag kan visa på att förändringar av fosfor är starkt kopplade till vilken typ av fosforgödsling som har skett innan markkarteringen är uppförd. Som exempel kan den kraftiga minskningen på skifte 1A användas (Figur 9). Förklaringen till förändringen av fosfortalen i detta fall skulle kunna vara att potatis odlades något år före första markkarteringen upprättades och att minskningen som nu ses kan bero på att fosfortalen visade på ett förhöjt värde i den första markkarteringen. Potatis odlades 2004, alltså tre år före första markkarteringen. Den höga fosforgivan vid potatisodling något år före första markkarteringen kan alltså troligen vara det som visar sig i analysen.

Samtliga fält på gård 2 där potatis odlats året som den sista markkartering upprättats har en generell ökning av P-AL-tal i stort sett över hela fälten. Dock finns det fält där ökning skett utan potatisodling (t.ex. 2D). Fält där P-AL minskat kraftigt över åren är skifte 1B där potatis odlades året före första markkarteringen och hade ett relativt högt värde på P-AL då men har minskat kraftigt över hela fältet vid andra markkarteringen. Detta tyder på att den fosforgödsling som skett i stora givor före markkartering slår igenom i analysen. På gård 3B odlas också potatis och även här förekommer större givor (50-90 kg P/ha) men här visar det sig de höga givorna inte lika tydligt. Endast några få fält har tydliga förändringar och där minskar P-AL-talen (Figur 10). De fält där det har odlats potatis de senaste två åren innan sista markkarteringen visar sig inte lika tydligt som på gård 2 där tydliga öknings av P-AL framkommer vid potatisodlingen. Något som skiljer gårdarna 2 och 3B åt är lerhalten där gård 3B har en genomsnittlig lerhalt på 24,3 % och gård 2 en



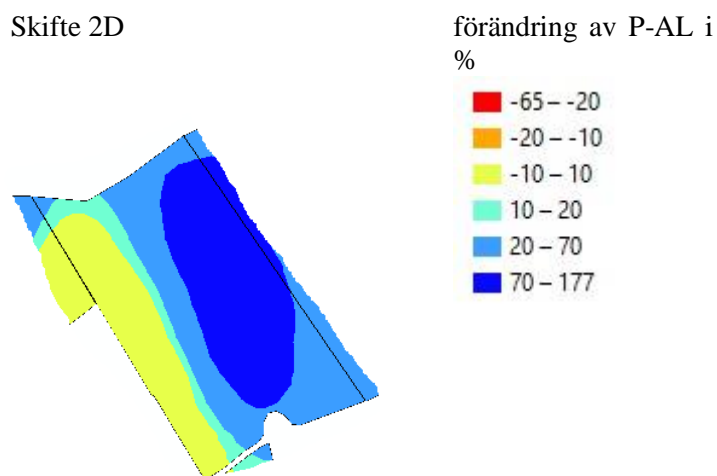
Figur 9: P-AL status vid olika tillfällen på skifte 1A, gård 2

genomsnittlig lerhalt på 9,6 %. Detta skulle kunna vara en förklaring till att förändringarna av P-AL ser olika ut på de två gårdarna då jordar med högre lerhalt har en förmåga att omfördela fosfor till mer svårslösliga former (Sims & Sharpley, 2005). Detta gör att de stora givorna lättare kan omfördelas i jorden vid höga lerhalter till skillnad från lättare jordar. Något som också skiljer gårdarna åt är fosforstatusen på gårdarna vid första markkarteringen där gård 2 generellt ligger i högre fosforklasser jämfört med gård 3B. Det skulle kunna vara så att jordarna på gård 3B har en större förmåga att binda in fosfor om jorden har en lägre mättnadsgrad av fosfor jämfört med gård 2.



Figur 10: Procentuell förändring av P-AL på a) delar av gård 3B och b) gård 2, samt gårdarnas P-AL markkartering från 2007 och 2016.

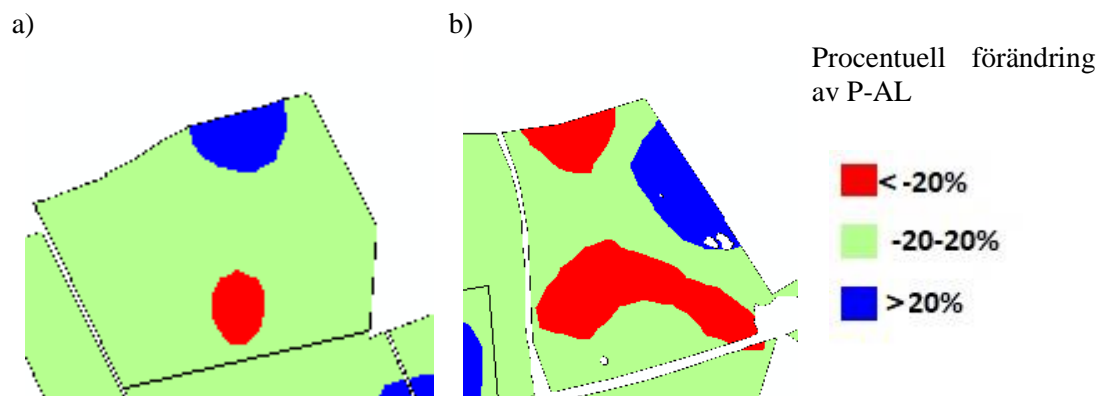
Ytterligare exempel som tyder på förändringar kopplade till brukning är skifte 2D på gård 2. Detta skifte har en skarp gräns i P-AL-tal på skiftet som visserligen inte är i direkt anslutning till skiftesgränsen, men som tydligt följer den troliga brukningsriktningen (Figur 11). Ena delen av fältet har en kraftig ökning av P-AL-talen medan den andra halvan har en svag minskning. En möjlig förklaring skulle kunna vara att ena delen har nyttjats till potatisodling och erhållit stora fosforgivor. Inga bevis för detta finns dock med i fosforbalansen. Jag har svårt att finna andra förklaringar men anser att bilden talar för att skillnaden bör bero på någon form av brukningsåtgärd då gränsen är så pass skarp.



Figur 11: Procentuell förändring av P-AL på skifte 2D, gård 2.

Variation inom skiften

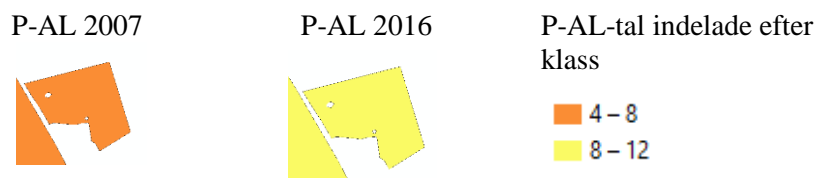
Vissa fält har en stor inomfältsvariation gällande förändringen av fosfortalen i marken. Som exempel kan skifte 12B, gård 1, och skifte 5A, gård 6 (Figur 12 a-b) nämnas. Dessa visar på förändringar inom fälten där vissa delar av fälten ökar i P-AL-tal och andra delar minskar inom samma fält. Inga skillnader på brukning kan i dessa fall konstateras inom fälten utan hela fälten har hanterats lika. Dessa inomfältsvariationer kan heller inte visuellt kopplas till jordartsskillnader inom fältet. Variationerna skulle kunna bero på skördevariationen i fälten, där de delar som har en minskning av P-AL har en generellt högre skörd och där minskar fosfortalen på grund av att en större mängd fosfor bortförs med skörden jämfört med vad som tillförs och vice versa på de delar där fosfortalen ökar. Då inga skördekarteringar har undersökts över dessa gårdar kan det vara svårt att säga något om så är fallet men jag anser att det skulle vara en rimlig förklaring.



Figur 12: Inomfältsvariation på a) skifte 12B gård 1 och b) skifte 5A, gård 6.

Förslag till utformning och utvärdering av markkarteringar

Sammanfattningsvis kan sägas att förändringar av fosfor inte verkar kunna kopplas särskilt starkt till jordart men däremot tyder resultaten på att hur marken brukas påverkar mycket hur P-AL varierar över tid. Framförallt verkar höga fosforgivor eller givor strax innan markkartering tendera att ge värden som kan framstå som märkligt höga. Hur dessa värden skall tolkas kräver ytterligare utredning då det är svårt att säga hur långvariga de är. Det är därför viktigt att ta tidigare gödslingar i beaktning när det kommer till vilka gödslingsåtgärder som bör vidtas på fälten. Som ett exempel kan nämnas skifte 4D på gård 2 som visas i Figur 13. Där har potatisodling skett samma år som markkarteringen är gjord och fosforbalansen för skiftet visar på en gödsling i balans vilket bör resultera i en svag minskning av P-AL över tid. Vid den andra markkarteringen framgår det dock att hela fältet istället har ökat i P-AL-tal och därmed hamnat i klass IVa istället för som tidigare klass III. Detta torde alltså vara mer av en ögonblicksbild av fosforstatusen då balansen borde ha resulterat i en minskning. Hur länge denna ögonblicksbild är aktuell är svårt att veta, men om man gödslar efter markkarteringen och man ponerar att ögonblicksbilden är aktuell i tre år efter markkarteringen. Då kommer en felaktig gödsling ske under ca 7 år om en ny markkartering upprättas igen efter 10 år. Dock verkar de höga gödslingarna kunna slå igenom i analysen något oförutsägbart, detta visar sig på samma gård på skifte 1A som tidigare diskuterats där potatisodling skedde tre år före den första markkarteringen upprättats. Jag tror att för att kunna se på trender av fosforförändringar skulle ett bra alternativ vara att låta utföra analysen som ett led i växtföljden. Alltså att markkarteringen upprättas skiftesvis, tidsmässigt långt efter höga givor istället för att den upprättas vid ett tillfälle över hela gården. Det skulle exempelvis kunna se ut på följande sätt i växtföljden: Vete, havre (markkartering), potatis (hög fosforgiva), korn, raps, vete, ärt. Här läggs markkarteringen in strax före potatisen där en hög fosforgiva läggs. Vid ett sådant upplägg skulle även markkarteringsintervallet kanske kunna förlängas så att markkartering utförs varannan växtföljdsomgång alltså vart 14:e år i det här exemplet. Detta för att komma bort från de nyckfulla resultat som höga givor av fosfor tenderar att resultera i. Jag anser att då markkarteringen tas över hela arealen på en gård bör markkarteringen användas vid beslut om gödsling men inte utan att hänseende tas till vissa odlingsåtgärder som t.ex. att höga givor av fosfor lagts innan markkarteringen och att man kompenserar för den troliga minskning av P-AL-tal som bör ske strax efter att markkarteringen är upprättad.



Figur 13: Skifte 4D, gård 2. Fosforstatus från de olika markkarteringarna.

Slutsatser

- Det förekommer förändringar av P-AL-talen på samtliga gårdar mellan markkarteringarna och förändringarna är större än vad de långliggande försöken visar.
- Förändringarna kan till störst del kopplas till brukningen av marken och inte markens inneboende faktorer.
- För att använda en markkartering som underlag för gödslingsplanering bör vissa odlingsåtgärder som utfördes strax innan markkarteringen, t.ex. stora fosforgivor, tas i beaktning i större utsträckning än idag.
- Ämnar man använda markkarteringen för att se på trender av P-AL-talens förändring är det troligen ett bättre alternativ att göra markkartering som ett steg i växtföljden än att kartera hela arealen vid samma tillfälle. Detta för att undvika att se de kortsiktiga förändringar av P-AL-tal som höga fosforgivor verkar ge.

Förslag på forskning

- Mer noggranna undersökningar om hur höga fosforgivor som tillförs samma år som markkarteringen påverkar resultatet av fosforanalysen.
- Mer forskning på hur länge en hög fosforgiva förmår leverera fosfor är nödvändigt för att kunna fatta mer välgrundade beslut om gödsling.

Tack till!

Under mitt uppsatsskrivande har jag varit oerhört tacksam över att ha bra handledning och många handledare. För när det kommer till handledare så gäller principen ju fler desto bättre, och jag hade turen att få tre! Dessa tre var Karin Hamnér, Johanna Wetterlind och Malin Lovang. De har hjälpt till med goda råd, tips på litteratur och en positiv inställning även i de stunder när uppgiften att utföra examensarbetet har känts som att simma i sirap. Så ett enormt tack till er tre!

Ytterligare tacksamhet skall riktas till de lantbrukare som har bidragit med information till arbetet, Tack!

Referenslista

- Agriculture & horticulture development board, AHDB (2017). *Nutrient Management Guide (RB209)*. Warwickshire: AHDB [Broschyr]
- Albertsson, B., Börling, K., Kvarnmo, P., Listh, U., Malgeryd, J., Stenberg, M (2016). *Rekommendationer för gödsling och kalkning 2017*. Jönköping: Jordbruksverket. Jordbruksinformation 24 – 2016. [Broschyr] tillgänglig: <http://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/jo1624.html> [2017-10-25]
- Barnett, G. M. (1994). Phosphorus forms in animal manure. *Bioresource Technology*. Vol 49, ss. 139-147.
- Beaton, J., Havlin, J., Nelson, W., Tisdale, S. (2005), *Soil Fertility and Fertilizers- an Introduction to Nutrient Management*, 7th ed, Pearson Education, New Jersey
- Bergström, L., Djodjic, F., Kirchmann, H., Nilsson, I., Ulén, B. (2007). *Fosfor från Jordbruksmark till Vatten – tillstånd, flöden och motåtgärder i ett nordiskt perspektiv*. Uppsala: MAT21 (MAT21 nr2/2007).
- Bergström, L., Kirchmann, H., Djodjic, F., Kyllmar, K., Ullén, B., Liu, J., Andersson, H., Aronsson, H., Börjesson, G., Kynkäänniemi, P., Svanbäck, A., Villa, A. (2015). Turnover and Losses of Phosphorus in Swedish Agricultural Soils: Long-Term Changes, Leaching Trends, and Mitigation Measures. *Journal of Environmental Quality*, vol 44, ss. 512-523.
- Bertilsson, G., Rosenqvist, H., Mattson, L. (2005). *Fosforgödsling och odlingsekonomi med perspektiv på miljömål*. Stockholm: Naturvårdsverket (Naturvårdsverket Rapport 5518)
- Börjesson, G. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) (2017) *R3-9001 De svenska bördighetsförsöken*. Tillgänglig: <https://www.slu.se/institutioner/mark-miljo/forskning/vaxtnaringslara-/vaxtnaring/langliggande-vaxtnaringsforsok/r3-9001/> [2017-12-11]
- Börling, K. (2003). *Phosphorus Sorption, Accumulation and Leaching Effects of long-term inorganic fertilization of cultivated soils*. Diss. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Börling, K., Djodjic, F., Kling, M., Otabbong, E., Ulén, B. (1999). *Fakta Jordbruk*. Uppsala: Birgitta Fagerberg, SLU (Fakta jordbruk, nr10 1999)
- Börling, K., Otabbong, E., Barberis, B. (2001). Phosphorus sorption in relation to soil properties in some cultivated Swedish soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol. 59, ss. 39–46.
- Carlgrén, K. & Mattsson, L. (2001). Swedish Soil Fertility Experiments, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*. vol 51:2, ss. 49-76, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/090647101753483787> [2017-11-21]
- Curtin, D., Johnston, A. E., Syers, J. (2008). *Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use reconciling changing concepts of soil phosphorus behavior with agronomic information*, FAO, Rom
- Delin, S. (2000). *Hantering av geografiska data inom ett jordbruksfält*. Skara: Precisionsodling i Väst (Teknisk rapport 4)
- Delin, S., Nyberg, A., Sarajodin, J. (2014). *Fosforgödslingseffekt av olika restprodukter*. Uppsala: SLU Institutionen för mark och miljö (Rapport 13).

- Djordjic, F., Börling, K., Bergström, L. (2004). Phosphorus Leaching in Relation to Soil Type and Soil Phosphorus Content. *Journal of Environmental Quality*, vol. 33, ss. 678–684
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I., Simonsson, M. (2011). *Marklära*. 1. Uppl. Lund: Studentlitteratur AB
- Eriksson, J., Mattsson, L., Söderström, M. (2010). *Tillståndet i svensk åkermark och gröda, data från 2001-2007*. Stockholm: Naturvårdsverket (Naturvårdsverket Rapport 6349)
- Fogelfors, H. (2015). *Vår mat. Odling av åker- och trädgårdsgrödor*. Upplaga 1:1. Lund. Studentlitteratur AB.
- Jordan-Meille, L., Rubæk, G.H., Ehlert, P.A.I., Genot, V., Hofman, G., Goulding, K., Recknagel, J., Provolo, G., Barraclough, P. (2012). An overview of fertilizer-P recommendations in Europe: soil testing, calibration and fertilizer recommendations. *Soil use and management*, vol. 28, ss. 419-435.
- Jordbruksverket. (2010). *Rödklöver – odlingsråd vid ekologisk fröodling*. Jönköping: Jordbruksverket. [Broschyr] tillgänglig: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoklimat/ekologiskproduktion/vaxtodling/saharodlardu/vallfro.4.7409fe2811f8e7990b88000529.html> [2017-10-20]
- Jordbruksverket (2015). *Greppa näringen, VERA*. Tillgänglig: <http://www.greppanaringen.se/administration/vera.4.3d7d342f14e68f1a794c8558.html> [2017-10-26]
- Krogstad, T., Sogn, T.A., Asdal, Å., Sæbø, A. (2005). Influence of chemically and biologically stabilized sewage sludge on plant-available phosphorus in soil. *Ecological engineering*, vol. 25, ss. 51-60.
- Lindén, B. (2007). Markkarteringshistoria. *Regional växtodlings- och växtskyddskonferens*. Uddevalla, Sverige 11-12 januari. Tillgänglig: http://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjnyq_Fo7TXAhXkCJoKHUtuALYQFggoMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.vaxteko.nu%2Fhtml%2Fslu%2Futan_serietitel_sl%2FUST07-12%2FUST07-12D.PDF&usq=AOvVaw0cJ7Od35c7PoNk5-WIjan9 [2017-11-07]
- Linderholm, K. (2011). *Fosfor och dess växttillgänglighet i slam –en litteraturstudie*. Stockholm: Svenskt vatten Utveckling (Rapport nr 2011-16).
- Materechera, S.A. & Morutse, H.M. (2009). Response of maize to phosphorus from fertilizer and chicken manure in a semiarid environment of South Africa. *Expl Agric*. Vol. 45, ss. 261-273
- Prakash, D., Benbi, K. & Saroa, G. S. (2017) Clay, Organic Carbon, Available P and Calcium Carbonate Effects on Phosphorus Release and Sorption–Desorption Kinetics in Alluvial Soils, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol 48:1, ss. 92-106, DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1253724> [2017-11-21]
- van der Salm, C., van Middelkoop, J. C. & Ehlert, P. A. I. (2017). Changes in soil phosphorus pools of grasslands following 17 yrs of balanced application of manure and fertilizer, *Soil Use and Management*. Vol 33, ss. 2-12.
- Sims, J. T. & Sharpley, N. A. (2005). *Phosphorus: Agriculture and the Environment*. Madison, Wisconsin, USA: American society of agronomy, inc. Crop science society of America, Inc. Soil science society of America, Inc.

Söderström, M. (2010). *Interpolerade markkartor – några riktlinjer*. Skara: Institutionen för mark och miljö Precisionsodling och pedometri (Precisionsodling Sverige Teknisk rapport nr 21).

Ulén, B. (2005). *Fosforförluster från mark till vatten*. Stockholm: Naturvårdsverket (Rapport 5507).

Muntliga källor:

Gustavsson Björn, Eurofins (2017-11-14)

Knight Stuart. Director of Crops and Agronomy, NIAB (2017-12-05)