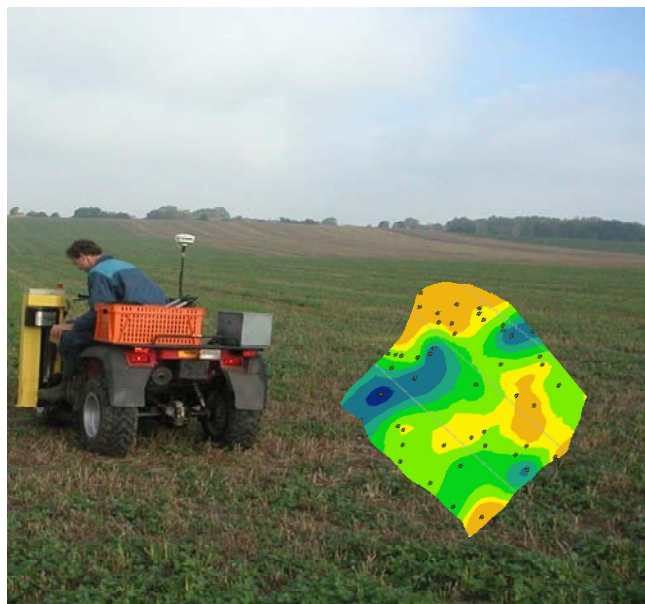




Interpolerade markkartor

- några riktlinjer



Projekt inom Kraftsamling Växtodling



LANTBRUKARNAS
RIKSFÖRBUND

Mats Söderström

**Institutionen för mark och miljö
Precisionsodling och pedometri**

Precisionsodling Sverige
Teknisk Rapport nr 21
Skara 2010
ISSN 1652-2826

Innehåll

Sammanfattning	3
Kontrollera datavariationen	3
Välj metod	3
Utvärdera interpolationen	3
Redovisa resultaten	3
Inledning	4
Syfte	5
Metoder och material.....	5
Interpolation	5
Test av interpolationsmetoder	8
Utvärdering	9
Resultat och diskussion.....	10
Det första steget – undersök om data är lämpliga att interpolera	13
Slutsatser	15
Tillkännagivanden.....	15
Referenser.....	15

Sammanfattning

Denna rapports syfte är att sammanställa några råd och riktlinjer för vad man bör tänka på när man gör interpolerade markkartor. Tanken är att det ska underlätta framtagning, tolkning och jämförelse mellan interpolerade markkartor som levereras till lantbrukare. Projektet initierades av Markkarteringsrådet och har erhållit ekonomiskt stöd av Kraftsamling Växtodling (dnr 08117). Nedan är en sammanfattning i punktform. Dessutom har en broschyr tagits fram som på ett lättillgängligt sätt sammanfattar rapporten.

Kontrollera datavariationen

Undersök graden av autokorrelation, d v s om analysvärdena varierar på sådant sätt att de verkar vara lämpliga att interpolera. Detta kan göras med *Moran's I*-indexet. Om testet indikerar mer eller mindre slumpmässig variation – använd fältmedelvärde och undvik interpolation. Annars välj metod enligt nedan.

Välj metod

Fler än ett prov / ha	Interpolera med kriging om antalet prover är minst 50, annars avståndsviktning (IDW) med viktningsexponenten 2. Vid färre prov än 10 används Thiessenpolygoner eller medelvärde. Lämpligen sprids då delsticken mer vid provtagningen.
Ett prov / ha	Som ovanstående
Ett prov / två ha	Sannolikt för få prover för kriging, använd IDW med exponenten 2. Undersök korrelationen mellan Mg-AL och HCl- eller lerhaltsanalyser (om $R > 0,7$ räknas HCl- eller lerhalt ut i ej analyserade jordprover med korrelationsekvationen). Sedan görs interpolation enligt ett prov/ha. (Om kartering gjorts med EM38-sensor undersöks korrelation mot konduktivitet i stället för Mg-AL.)
Ett prov / tre ha	Använd medelvärde eller interpolera med IDW med exponenten 1. Korrelations samband enligt ovan kan undersökas.
Färre än ett prov / tre ha	Olämpligt att interpolera, använd medelvärde. Ev. för få prover för en bra korrelationsanalys, annars undersöks det enligt ovan.

Utvärdera interpolationen

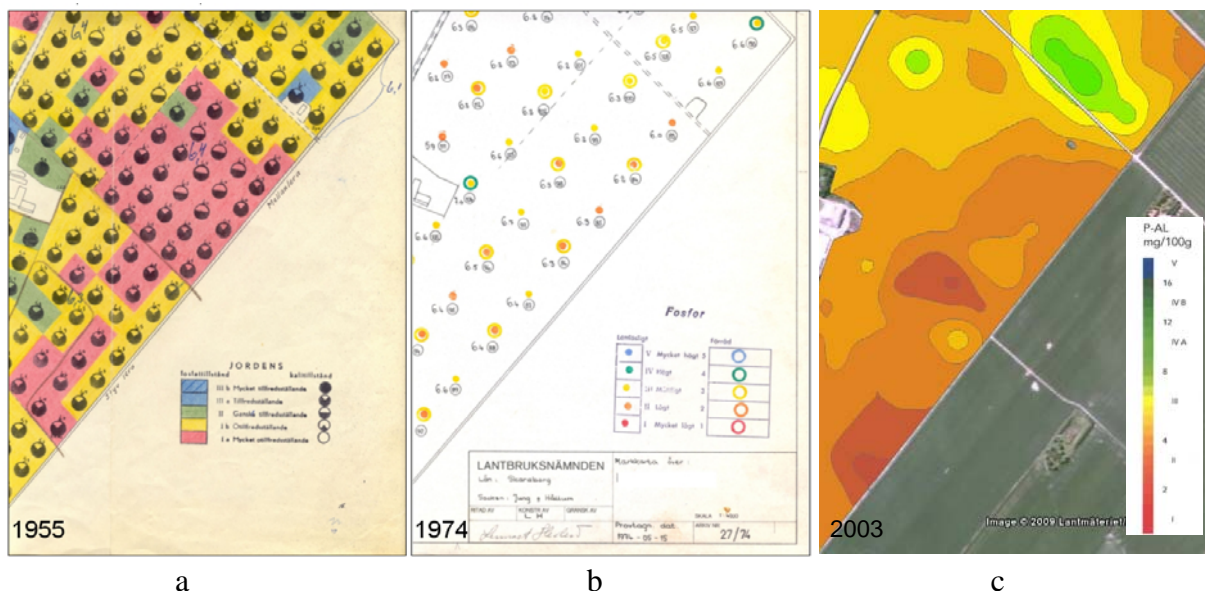
Använd korsvalidering för att utvärdera den utförda interpolationen. Beräkna R^2 , RMSEP och RPD. RPD-värden som är nära 1,0 tyder på att interpolationen inte är bättre än fältmedelvärdet.

Redovisa resultaten

Resultat av tester och valda metoder redovisas lämpligen i kartmaterialet.

Inledning

Markkarteringen kom igång redan under 1940-talet. Karteringen har tydliggjort att tillgången på fosfor, kalium och andra näringsämnen ofta varierar inom fälten. Dagens rekommendationer för markkartering utarbetas av Markkarteringsrådet och utges av Jordbruksverket (Jordbruksverket, 2002). Under senare år har nya metoder utvecklats och sensorer har börjat användas för att man ska kunna skapa mer detaljerade och bättre markkartor. Exempel på detta är t.ex. mätning av markens elektriska ledningsförmåga (t ex Nehmdahl & Greve, 2001), analys med nära infraröd (NIR) spektroskopi (Wetterlind m.fl, 2008) samt även variation i markens naturliga radioaktiva strålning (Söderström m.fl, 2008) har börjat användas inom kartering av åkermark. Trots allt sker den största delen av markkarteringen på vanligt sätt med 1 prov/ha, men provplatserna mäts ofta in med GPS och kartframställningen är digital. Sedan drygt 10 år tillbaka har lantbrukare som markkarterat haft möjlighet att erhålla interpolerade markkartor som visar variation inom fälten. De interpolerade kartorna är lämpliga att använda som underlag för gödsling och kalkning med GPS-styrning och underlättar för lantbrukaren att se mönster i variationen inom gården och fälten. Detta var svårare i de traditionella kartor som gjordes tidigare där varje provpunkt representerades av en punktsymbol som berodde på analysresultatet (figur 1b).



Figur 1. Exempel på markkartor från 1950- och 70-talet (a, b) samt en digital, interpolerad P-AL-karta baserad på jordprover från 2003 (c) som är inlagd i Google Earth (en kartapplikation tillgänglig via Internet). Kartorna visar en del av en gård i Västergötland. Noterbart är att det finns ganska stora likheter mellan kartorna om man ser till fosforvariationen, trots att nära 50 år skiljer mellan provtagningsstillfällena.

Färgval och klassindelningar i de interpolerade kartorna brukar ungefär följa gängse normer, men den interpolerade kartan ger möjlighet till en finare indelning med en kontinuerlig färgskala (figur 1c). Det finns dock flera frågor som man ställs inför när man ska göra en interpolerad karta från analysresultat i jordprover. En bra genomgång som till delar är relevant i sammanhanget även om fokus där är på undersökning av förorenade jordar publicerades nyligen av Naturvårdsverket (Norrman m.fl, 2009). Det finns flera olika interpolationsmetoder att välja på – några är enklare att använda medan andra är mer komplicerade, men som måhända ger mer kontroll över kvaliteten i den resulterande kartbilden (t ex de Smith, 2007).

Dessutom finns alltid ett antal olika inställningsmöjligheter för varje metod. Beroende på hur kartan görs kan kartbilden se olika ut – t ex tas ibland stor hänsyn till enskilda analysvärden medan andra inställningar eller metoder kanske ger en mer utjämnad kartbild. Beroende på om det är en liten gård med få jordprover eller en stor gård med stora fält och många prover så skiljer sig även förutsättningarna och dataunderlaget blir olika i de olika fallen. Det är inte alltid som en och samma metod är bäst att använda. Det finns dock metoder som kan användas för att testa utfallet av den valda karteringsmetodiken (t ex Delin & Söderström, 2003).

Syfte

Projektet syftar till att sammanställa några råd och riktlinjer för vad man bör tänka på när man gör interpolerade markkartor. Tanken är att det ska underlätta framtagning, tolkning och jämförelse mellan interpolerade markkartor som levereras till lantbrukare.

Metoder och material

Interpolation

Många interpolationsmetoder är tillgängliga, vilka alla ger något olika resultat och som alla innebär att det beräknade värdet även är förknippat med ett varierande mått av osäkerhet och fel. När man arbetar med interpolation är det således viktigt att man har en god förståelse för hur olika metoder fungerar och i vilka situationer en viss metod är att föredra framför en annan. Några aspekter som är viktiga i sammanhanget och som kommer att påverka metodval liksom kvaliteten i interpolationen är:

- antalet observationer
- hur observationerna är fördelade geografiskt i kartområdet
- vad observationen representerar – hur provet är insamlat
- osäkerheten i observationens datavärde
- osäkerheten i observationens geografiska positionering

Nedan ges en kort beskrivning av några metoder och principer. För mer detaljer se t ex Burrough & McDonnell (1998) eller de Smith m.fl (2007), den senare finns tillgänglig via Internet. Deterministiska interpolationsmetoder refererar till tekniker som innebär att värdena i de olika observationspunkterna respekteras, d v s att värdena antas vara korrekta och precisa värden av variabeln av intresse. Den predikterade (interpolerade) ytan förmodas därför vara den korrekta. I en stokastisk modell är å andra sidan en process inkorporerad som till ett visst mått bestäms av slumpmässighet, vilket innebär att en variabel kan anta ett värde som beskrivs av en sannolikhetsfunktion. Här tar man hänsyn till att värdet i en enskild observation till viss del kan var osäkert och en interpolerad yta kan ses som den mest sannolika av många olika ytor som skulle kunna produceras med utgångspunkt från samma observationer.

Metoder som inkluderar alla observationer i interpolationsmodellen benämns globala. Resultaten från denna typ av spatial prediktion kommer vanligtvis att i huvudsak visa en övergripande trend och är därför lämplig för karakterisering av ett globalt (i relation till storleken på kartområdet) varierande fenomen. I många fall är vi mer intresserade av förhållandena som råder på olika platser inom kartområdet. Dessa förhållanden antas påverkas dels av den övergripande trenden såväl som av lokala faktorer, och i det fallet är det bättre att använda en interpolationsmetod som utnyttjar ett antal observationer inom ett grannskap kring punkten för vilken en variabels värde ska beräknas. Ibland är det fördelaktigt att kombinera globala och lokala metoder som då bättre tar hänsyn till både den övergripande och lokala variationen.

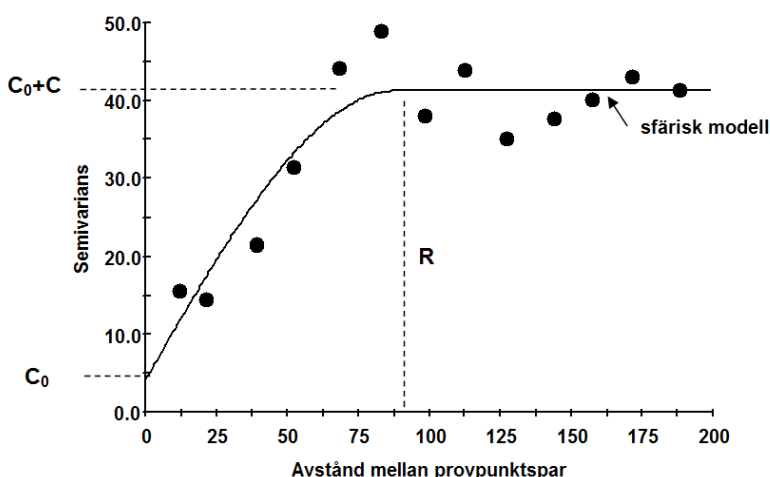
Provtagning och analys är vanligen kostsamt. Många observationer kan krävas om man vill producera tillförlitliga kartor. Emellertid är det ibland möjligt att utnyttja andra (sekundära) variabler som är korrelerade till variabeln av intresse (den primära), och som är betydligt billigare att samla in eller, vilket är ännu bättre, som redan finns tillgängliga. Om detta är fallet finns interpolationsmetoder i vilka man kan använda en sekundär, tätt provtagen variabel och kombinera dessa data med en mer glest provtagen primär variabel. Det har visats i många undersökningar att detta kan ge säkrare interpolerade värden än vad som annars varit möjligt, men metoderna är ofta något mer tidskrävande och komplicerade att använda.

Några olika metoder

Av alla interpolationsmetoder har här fokuserats på några som kan vara aktuella i det här sammanhanget:

- Kriging
- Avståndsviktning (IDW)
- Närmsta granne (Thiessenpolygoner)

Kriging är en stokastisk, geostatistisk interpolationsmetod som generellt anses vara den som ger bäst resultat. Fördelen med den metoden är att man i ett första steg analyserar datavariationen med hjälp av en variogramanalys, som visar hur provpunkter är korrelerade till varandra vid olika avstånd (s k spatial autokorrelation). I det experimentella variogrammet plottas provpunktspär i olika avståndsintervall mot semivariansen som är medeltalet av den kvadrerade differensen i värde mellan provpunktspären inom olika avståndsintervall (figur 2). Vid ett visst avstånd (*range*, R) ökar inte semivariansen längre. Inom detta avstånd finns ett statistiskt samband mellan provpunkter. Osäkerhet i analysvärden eller för glest mellan provpunkter kan ge sig till känna som s k *nuggetvarians* (C_0). Den nivå där variogrammet planar ut benämns *sill*, C_0+C_1 , vilken ofta ungefär motsvarar den totala variansen i datasetet. En kurva (det s k modellvariogrammet) anpassas till punkterna i det experimentella variogrammet. Ett fåtal typer av kurvor kan ofta beskriva variationen. Det är modellvariogrammet som sedan styr interpolationen genom att bestämma hur de prover man har ska påverka interpolationen (hur de ska viktas).



Figur 2. Exempel på variogram och variogramparametrar

Kriging är egentligen en hel familj av olika metoder. Den som är mest aktuell vid markkartering kallas *ordinary block kriging*. Beräkningen av det mest sannolika värdet den aktuella variabeln har görs för varje del av fälten i ett rutnät (varje ruta benämns *block*). Själva

interpolationen styrs av de analysvärden man har och den befintliga datavariation, och bestäms av variogrammet. För att metoden ska fungera korrekt krävs att variogrammet verkligen beskriver den aktuella variationen. För att det ska vara fallet måste man ha tillgång till tillräckligt många provpunkter. Hur många detta är är beroende på hur mycket jordanalysvärdena varierar över fälten. Om variationen sker gradvis är data starkt autokorrelerade och färre prover behövs. Om variationen är stor behövs fler prover. Som riktvärde anges ibland minst 50 observationer (Burrough & McDonnell, 1998), men både fler och färre kan behövas.

Avståndsviktning (IDW – *inverse distance weighting*) är en enklare metod och den kanske mest använda interpolationsmetoden. Principen vid interpolationen är att avståndet från befintliga jordprover till den plats beräkning av ett värde ska göras avgör hur stor vikt varje omkringliggnade jordanalys ska få. Interpolationen görs enligt följande:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

$$\lambda_i = d_i^{-p} / \sum_{i=1}^N d_i^{-p} \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

$Z(s_0)$ = värdet som ska beräknas

N = antalet provpunkter (ev. inom en sökradie)

$Z(s_i)$ = provpunkternas analysvärden

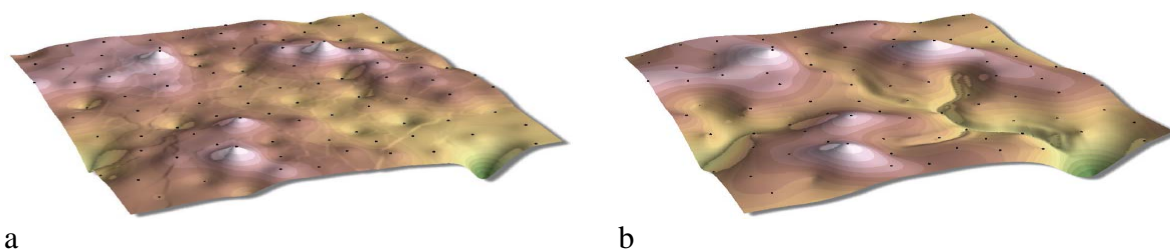
d = avståndet mellan beräkningspunkten och provpunkterna

λ = respektive provpunkts viktning

p = viktningsexponent

Man vill att ett kort avstånd ska resultera i stor vikt, därför används det inversa avståndet för att bestämma viktningen. Om man önskar att näraliggande observationer ska få allt större inflytande kan man använda en viktningsexponent, t ex 2, så att avståndet kvadreras. Ju större exponent desto mer inflytande över interpolationen får en näraliggande provpunkt. IDW är enkel att automatisera, men de resulterande kartorna ser ganska olika ut beroende på olika inställningar, särskilt val av exponent påverkar avsevärt. Det finns varianter på IDW som minskar problemet att metoden skapar iögonenfallande cirkulära mönster kring avvikande värden, t.ex *Modified Shepard* IDW, där man har möjlighet att utjämna interpolationen närmast provpunkterna vilket ger en mer tilltalande kartbild (de Smith m.fl, 2007) (figur 3).

Om antalet provtagningspunkter är litet är det inte meningsfullt att interpolera. Hur många provpunkter som behövs för interpolation är svårt att ange exakt (i princip skulle det räcka med två prover), men om man ska kunna utvärdera datavariationen och den framställda kartan statistiskt behöver man i vissa programvaror ha minst 10 observationer. I de fall man endast har tillgång till ett fåtal prover, men ändå vill ta fram ett kartunderlag som visar variationen inom fält, då är det bättre att vid provtagningen i fält sprida ut delsticken över en större yta (så att provet bättre representerar den omkringliggande ytan) och använda analysresultatet som det är och undvika interpolation (se vidare t ex Söderström, 2003). Effekten blir en karta med hektarstora rutor vars värde härrör från analysresultatet i respektive jordprov. Metoden kallas Thiessenpolygoner, men även interpolation med IDW och en hög viktningsexponent ger ett liknande resultat.

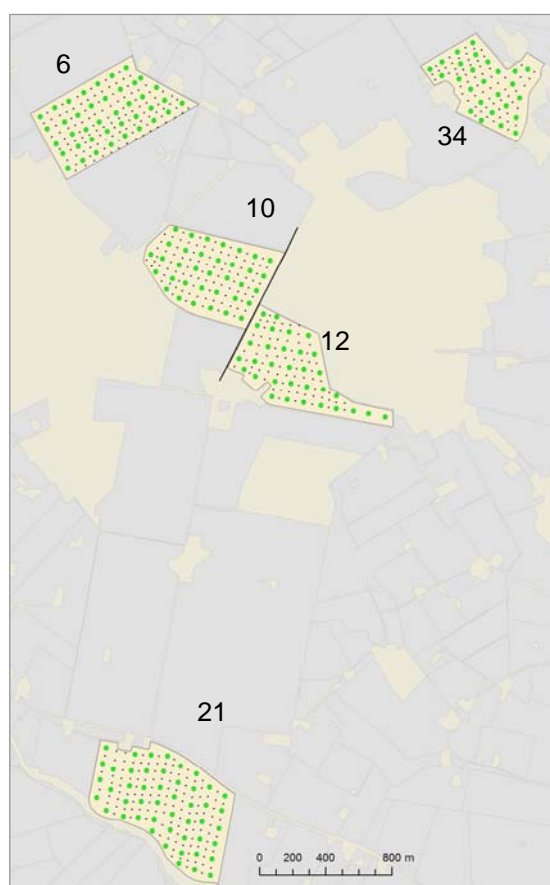


Figur 3. Exempel på kartor (från Childs, 2004) som gjorts med två olika varianter på interpolation med IDW. a) vanlig IDW som resulterar i typiska ringformade ytor kring höga eller låga värden, och b) Modifierad Shepard IDW, där man har möjlighet att på olika sätt anpassa interpolationen närmast provpunkterna vilket ger en kartbild med mindre inslag av sådana s k bull's eyes (De Smith m.fl, 2007)

Test av interpolationsmetoder

För att ta fram ett underlag som visar hur några olika karteringsmetoder fungerar med några olika inställningar och varierande antal prover per hektar, användes ett omfattande dataset från 2000 från fem fält på gården Bjertorp i Västergötland (figur 4). De markkarteringsvariabler som undersöktes var pH, P-AL, K-AL, Mg-AL, K/Mg, K-HCl, Cu-HCl, mull- och lerhalt. När det gäller de fyra sistnämnda är det relativt vanligt förekommande att man inte har analyserat dessa i varje jordprov, varför interpolation med flera olika provtäthet testades. För att bedöma hur väl en interpolationsmetod fungerade jämfördes varje framtagen karta med ett antal oberoende jordprover (valideringsprover) som inte användes i interpolationen.

Figur 4. Fält på gården Bjertorp med markkarteringsdata där olika interpolationsmetoder testats (se även tabell 1). Gröna (större) punkter visar provtätheten 1 prov/ha. Svarta (mindre) punkter är valideringsprover som använts för att utvärdera de olika metoderna.



Tabell 1. Areal och totalt antal prover på försöksfälten

Fältnamn	Areal (ha)	Totalt antal jordprover	Jordprover per ha
Skifte 34	25,2	87	3.5
Skifte 21	47,0	162	3.4
Skifte 12	31,9	98	3.1
Skifte 10	34,6	122	3.5
Skifte 6	36,7	148	4.0

Tabell 2. Sammanfattande statistik för valideringsproverna på respektive skifte och variabel

Skifte 34, n=61	Min	Max	Medel	Std.avv.	Skifte 21, n=114	Min	Max	Medel	Std.avv.
pH	6.4	7.2	6.93	0.13	pH	6.3	6.9	6.62	0.13
P-AL	2.2	7.2	3.78	1.13	P-AL	2.3	8.2	3.60	0.99
K-AL	16	35	22.43	3.73	K-AL	4.1	36	10.70	3.83
Mg-AL	17	60	43.36	11.12	Mg-AL	2.4	30	10.78	5.48
K/Mg	0.4	1.8	0.56	0.28	K/Mg	0.5	2.1	1.12	0.35
K-HCl	301	502	418.93	45.43	K-HCl	78	534	255.79	92.22
Cu-HCl	11	18	14.41	1.52	Cu-HCl	6.2	24	13.31	4.08
Mullhalt	0.4	4.6	2.87	0.79	Mullhalt	0.3	4.6	2.37	0.88
Lerhalt	30	59	48.02	7.66	Lerhalt	9	42	26.96	6.28

Skifte 12, n=66	Min	Max	Medel	Std.avv.	Skifte 10, n=87	Min	Max	Medel	Std.avv.
pH	6.3	6.9	6.61	0.15	pH	6.1	6.6	6.36	0.08
P-AL	2.2	22	5.35	2.95	P-AL	2.9	13	5.46	1.72
K-AL	6.8	19	10.53	2.30	K-AL	3.3	14	7.07	2.34
Mg-AL	2	16	5.25	2.54	Mg-AL	1.1	15	3.56	2.89
K/Mg	0.8	4	2.27	0.71	K/Mg	0.7	4.7	2.60	0.93
K-HCl	49	226	139.11	46.55	K-HCl	36	180	70.44	37.65
Cu-HCl	4.6	12	8.77	1.77	Cu-HCl	3.1	12	5.83	2.38
Mullhalt	1.5	3.5	2.31	0.54	Mullhalt	1.3	5.2	3.14	0.98
Lerhalt	6	27	15.00	4.94	Lerhalt	4	30	9.95	7.19

Skifte 6, n=108	Min	Max	Medel	Std.avv.
pH	6.1	7	6.72	0.16
P-AL	1.2	5.1	2.86	0.96
K-AL	11	24	15.30	2.12
Mg-AL	13	40	29.16	5.64
K/Mg	0.4	0.9	0.54	0.11
K-HCl	223	468	350.56	47.96
Cu-HCl	9.5	17	13.20	1.20
Mullhalt	2.1	5.5	3.72	0.58
Lerhalt	32	53	45.28	4.63

Utvärdering

För alla nio markkarteringsvariabler på alla fält gjordes interpolerade kartor med kriging (alla prover samt 1 prov/ha) och IDW (1 prov/ha) i tre olika varianter (med viktningsexponenterna 1, 2 respektive 4). För K-HCl, Cu-HCl, ler- och mullhalt gjordes på alla fält dessutom kartor med 1 prov/2 ha, 1 prov/3 ha samt 1 prov/6 ha. Det resulterade totalt i 405 kartor över de 5 fälten.

För validering av de interpolerade markkartorna predikterades respektive markkartas värde i var och en av valideringspunkterna. På så sätt finns både ett uppmätt (som här anses korrekt, även om analys- och provtagnings sättet medför att varje värde har en viss osäkerhet) värde och ett beräknat värde för varje testad metod och analyserad markkarteringsanalys. Vid kriging med alla prover (inklusive även valideringsproverna) användes dock korsvalidering. Korsvalidering betyder att man successivt tar bort ett jordprov och sedan beräknar värdet på den platsen med resterande jordprover och den valda interpolationsmetoden. Sambandet mellan uppmätta och beräknade värden utvärderades med de statistiska måtten RMSEP (medelfelet i prediktionen) och framförallt RPD (standardavvikelsen dividerat med RMSEP).

En fördel med RPD-värdet är att det möjliggör jämförelser av hur bra interpolationen fungerar mellan olika variabler. För att markkartan ska vara bättre än medelvärdet för fältet ska RPD-värdet vara större än 1,0. RPD-värden större än två är ovanligt för interpolerade markkartor (se t.ex. Delin & Söderström, 2003), och snarare har det i tidigare redovisningar verkat vanligt med värden i storleksordningen 1,3-1,6 vid kartering med 1 prov/ha (Delin & Söderström, 2003; Söderström, 2008)

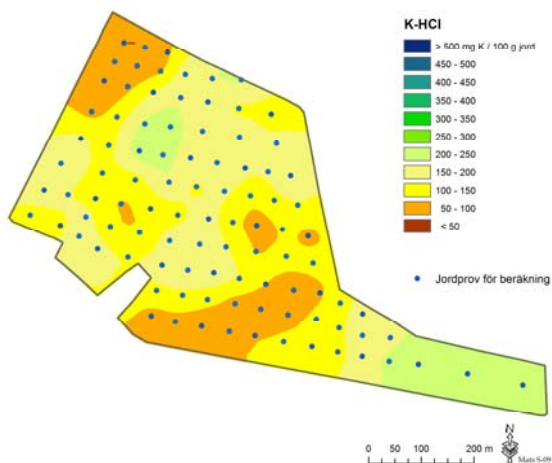
Resultat och diskussion

I tabell 3 finns en sammanställning av alla 405 markkartors RPD-värden som gjordes på de fem försöksfälten. Medianvärden för alla variabler för respektive fält och metod har beräknats för att kunna få en generell bild av hur de olika metoderna fungerar. Dessutom beräknades medelvärdet av de olika medianvärdena för att möjliggöra en rangordning av metoderna. Man kan se att RPD-värdena inte är särskilt höga ens om alla prover används (i medeltal 1,45 vid 3-4 prov/ha). Analysvärden som är mer direkt kopplade till jordart (K-HCl, Cu-HCl, ler- och mullhalt) resulterade i något bättre kartor enligt RPD-värdena jämfört med pH och AL-analyser. Det finns skillnader mellan fälten i hur väl interpolationen fungerar; RPD-värdena på skifte 6 är t ex generellt lägre än för övriga fält.

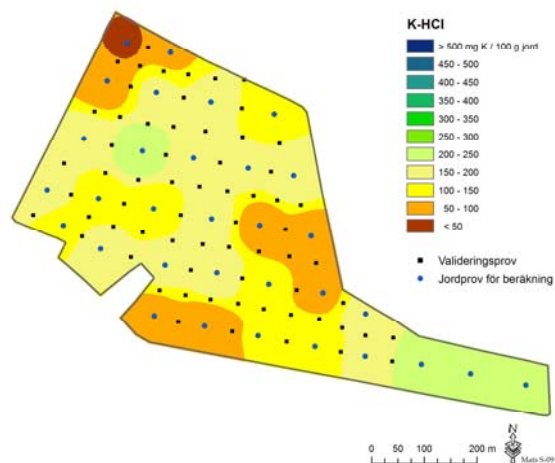
Tabell 3. Sammanställning av RPD-värden från validering av markkartor för olika jordanalyser gjorda på de fem testfälten med olika metoder och med olika antal jordprover (totalt 405 markkartor). I tabellens övre del visas resultat för alla jordanalyser och i den nedre delen för de analyser som ofta görs på färre prover än ett per hektar.

	Medel av medianer	Medianvärden per skifte				
		34	21	12	10	6
Alla analyser (pH, P-AL, K-AL, Mg-AL, K/Mg, K-HCl, Cu-HCl, mullhalt, lerhalt)						
Ett prov/0.3 ha, xval*, kriging	1.45	1.50	1.50	1.39	1.49	1.36
Ett prov/ha, kriging	1.31	1.35	1.47	1.22	1.33	1.17
Ett prov/ha, IDW, exp 1	1.24	1.20	1.43	1.20	1.21	1.13
Ett prov/ha, IDW, exp 2	1.31	1.30	1.48	1.28	1.35	1.14
Ett prov/ha, IDW, exp 4	1.28	1.29	1.43	1.20	1.34	1.13
K-HCl, Cu-HCl, mullhalt och lerhalt						
Ett prov/0.3 ha, xval, kriging	1.51	1.48	1.73	1.50	1.51	1.32
Ett prov/ha, kriging	1.35	1.32	1.59	1.28	1.47	1.11
Ett prov/ha, IDW, exp 1	1.28	1.19	1.56	1.28	1.24	1.12
Ett prov/ha, IDW, exp 2	1.35	1.28	1.61	1.32	1.40	1.13
Ett prov/ha, IDW, exp 4	1.32	1.28	1.58	1.27	1.45	1.05
Ett prov/2 ha, IDW, exp 1	1.22	1.15	1.50	1.23	1.17	1.02
Ett prov/2 ha, IDW, exp 2	1.25	1.19	1.49	1.27	1.31	0.97
Ett prov/2 ha, IDW, exp 4	1.16	1.18	1.35	1.15	1.25	0.86
Ett prov/3 ha, IDW, exp 1	1.16	1.11	1.43	1.17	1.15	0.92
Ett prov/3 ha, IDW, exp 2	1.12	1.04	1.34	1.15	1.20	0.86
Ett prov/3 ha, IDW, exp 4	1.02	0.97	1.19	1.03	1.13	0.77
Ett prov/6 ha, IDW, exp 1	1.03	1.11	1.15	0.76	1.10	1.03
Ett prov/6 ha, IDW, exp 2	0.99	1.04	1.11	0.73	1.11	0.97
Ett prov/6 ha, IDW, exp 4	0.90	0.97	0.99	0.67	1.05	0.84

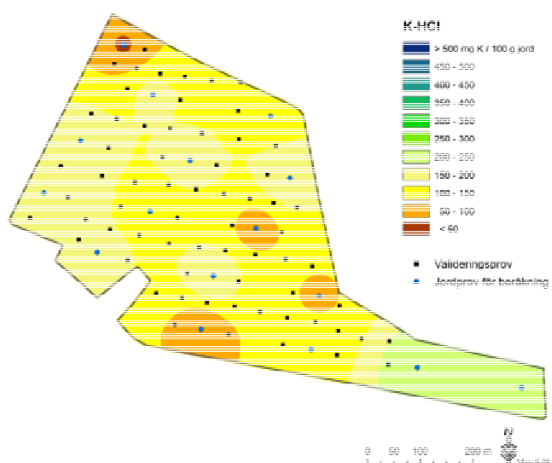
* korsvalidering



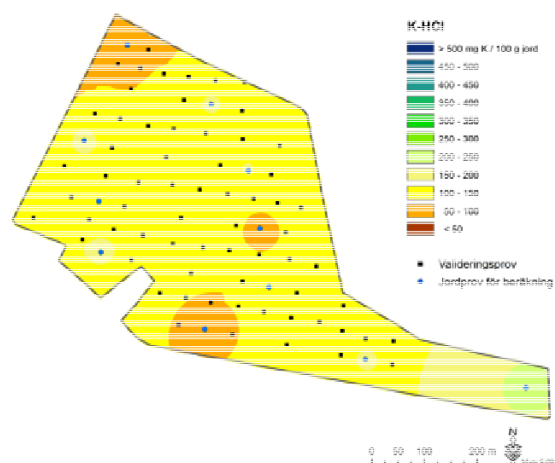
a) Ett prov / 0,33 ha; kriging; RPD = 1,60



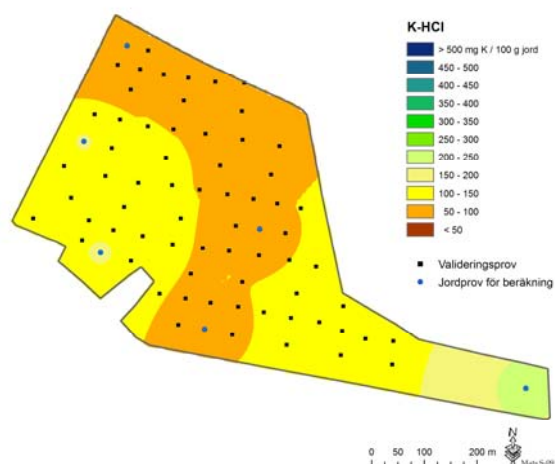
b) Ett prov / ha; IDW exp 4; RPD = 1,44



c) Ett prov / 2 ha; IDW exp 2; RPD = 1,27



d) Ett prov / 3 ha; IDW exp 1; RPD = 1,11



e) Ett prov / 6 ha; IDW exp 1; RPD < 1

Figur 5. Exempel på en markkarta som tagits fram med olika typer av provtagningsstäthet (blå cirklar). Validering har gjorts mot analysdata i provpunkter som representeras av svarta fyrkanter. I karta a gjordes korsvalidering mot dessa provpunkter.

Vid ett prov per ha verkade metoden IDW med viktningsexponenten 2 (eller ibland fyra) mest användbar. Samma metod tycktes lämpligast även om analyser gjorts i vartannat jordprov, men kartornas tillförlitlighet kommer att bli mindre då (lägre RPD-värden). Om analyser gjorts i vart tredje prov fungerade interpolationen generellt dåligt. Om man interpolerar ändå är det ofta bättre att använda IDW och exponenten ett, sannolikt beroende på att dataunderlaget då är så bristfälligt att det är bättre att använda de data som finns mer för att ge en bild av hur medelvärdet i olika fältdelar varierar, vilket blir effekten av att använda en låg viktningsexponent. Jordprovernas placering på platser som är representativa för omgivning blir här avgörande för hur bra resultatet blir. Vid ännu glesare provtagning bör man definitivt inte interpolera inom fält. Man bör också tänka på att även beräkningen av fältmedeltal kan bli väldigt olika beroende hur många prover man har tillgång till.

Figur 5 visar ett exempel på markkartor för en variabel (K-HCl) som gjorts med olika metoder och olika dataunderlag. Man kan anta att figur 5a är mest lik sanningen. Kartorna skiljer sig förstås åt en hel del. Kartan med 1 prov/ha (figur 5b) är dock ganska lik kartan i figur 5a.

Med tanke på de låga RPD-värdena för markkartor som gjorts med färre än 1 prov/ha (tabell 3) är det problematiskt att man ofta inte gör HCl-analyser eller ler- och mullhaltsanalyser i varje jordprov. K-HCl alternativt lerhalt samt mullhalt avgör tillsammans med pH kalkbehovsberäkningen. Det finns några olika möjligheter att förbättra ett glesare nät av analyser av variabler som är relaterade till lerhalt, och ibland även mullhalt. Som nämndes i inledningen ger scanning med sensorer som t ex EM38 (mätning av markens elektriska ledningsförmåga) (Nehmdahl & Greve, 2001) eller Mullvaden (markens naturliga radioaktiva strålning) (Söderström m.fl, 2008) normalt en bra bild av jordartsvariationen och då kan ett fåtal analysvärden ofta användas för att kalibrera sensormätningen så att man kan räkna ut t ex lerhalt. Mullhalten är ofta sämre korrelerad till dessa sensorer men nya undersökningar av möjligheterna med nära infraröd(NIR)-spektroskopi (Wetterlind m fl, 2008) har visat att man även med så få kalibreringsprover som 25 st med hög noggrannhet kan beräkna både ler- och mullhalt med en lokal NIR-modell. Även om man bara har en vanlig markkartering att tillgå kan det finnas möjlighet att förbättra ett gles dataunderlag genom att det i vissa fall finns ett starkt samband mellan Mg-AL och lerhalt (eller K-HCl) (normalt dock ej till mullhalten). I de fall man låtit göra ett färre antal lerhaltsanalyser än Mg-AL kan man undersöka om dessa är välkorrelerade, och om så är fallet använda korrelationsekvationen för beräkning av lerhalt i de prover man inte gjort lerhaltsanalys, varefter man interpolerar fram den aktuella kartan. I tabell 4 visas sambandet mellan Mg-AL och lerhalt på de fem här undersökta fälten. Det är här mycket höga R^2 -värden, men detta är dock inte alltid fallet. Beroende på t ex mineralogi eller om man kalkat med dolomitkalk kan sambandet mellan lerhalt och Mg-AL variera.

Tabell 4. Korrelation mellan Mg-AL och lerhalt på de aktuella fälten

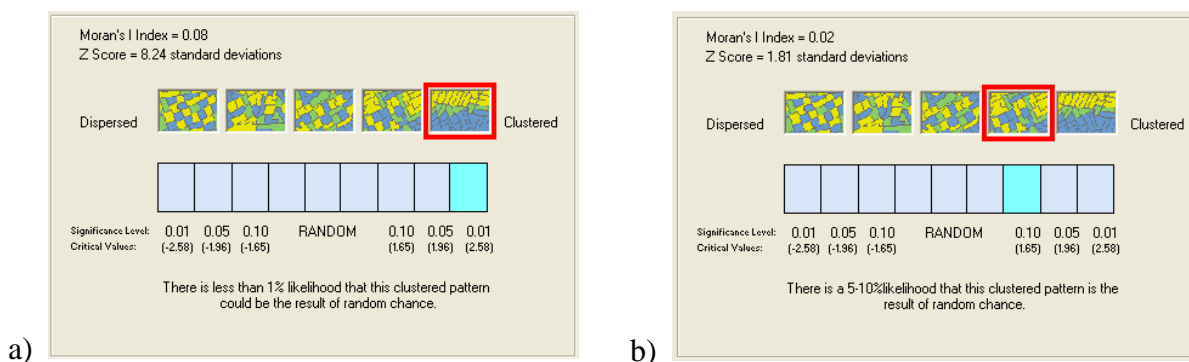
Fält	R^2 för linjärt samband
skifte 6	0,84
skifte 10	0,89
skifte 12	0,68 (0,76*)
skifte 21	0,79 (0,88*)
skifte 34	0,91

* R^2 för logaritmiskt samband

Det första steget – undersök om data är lämpliga att interpolera

Interpolation bygger på att näraliggande provpunkters värden är mer lika än värden i provpunkter som ligger längre ifrån varandra. Om det är långt emellan provpunkterna är sannolikheten mindre att så är fallet. Den vanliga provtagningen med ett prov/ha kan ibland vara otillräcklig om variationen sker på kortare avstånd än 100 m. Det är i detta sammanhang också viktigt att jordprovet verkligen är representativt för den plats där det är taget, och helst för den omgivande ytan. Eftersom man normalt tar ett jordprov med ca 10 delstick inom en yta med 3-5 m radie täcker man inte in ett särskilt stort område med själva provet. Vid interpolation av jordanalysvärden ställer det till problem om mätvärdena varierar kraftigt. Sannolikheten är då liten för att de prover man har verkligen ger en bild av variationen. Förutom osäkerheten i vad själva provet egentligen representerar tillkommer osäkerhet vid provhantering och kemisk analys.

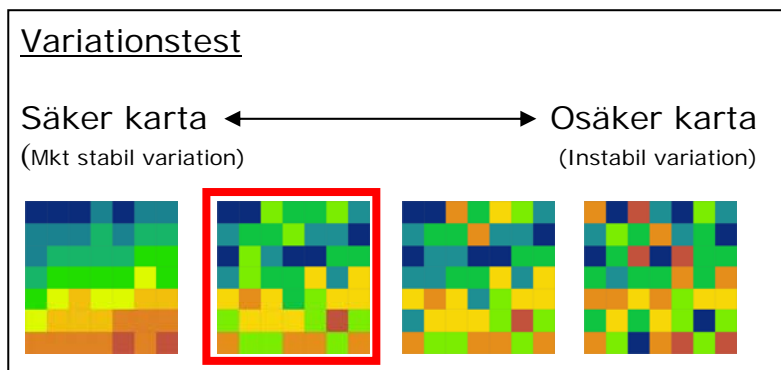
För att kunna bedöma den rumsliga (spatiala) variationen i de markeringsdata man har kan man använda vissa statistiska metoder innan man påbörjar själva interpolationen. Det är nödvändigt att få en uppfattning om hur data varierar innan man ger sig i kast med att ta fram kartor (exemplifierat i t ex Khosla m.fl, 2006; Ping m.fl, 2004). *Geary's c* eller *Moran's I* är båda test som bygger på att undersöka likheten mellan näraliggande observationer och jämför dessa med differenser i värden mellan alla observationer. Det ger ett mått på autokorrelation för hela datamängden – jämfört med variogrammet som ger det rumsliga beroendet för varje avståndssteg (se vidare t ex Mitchell, 2005). Om skillnaderna är mindre mellan grannpunkter jämfört med mellan alla punkter så benämns data vara klustrade. Man kan också testa om resultaten är statistiskt signifikanta (figur 6). I figur 6 visas resultat från Morans I för K-HCl i skifte 12 – alla data (3 prov/ha) i figur 6a och ett prov/ha i figur 6b. I figur 6a visar resultatet att det är mindre än 1% chans att klustringen beror på slumpen, medan motsvarande värde i figur 6b är 5-10%. I båda fallen verkar det rimligt att gå vidare med interpolation eftersom näraliggande provpunkter är mer lika än provpunkter generellt. Man kan se att ju färre provpunkter man har (d v s glesare mellan proverna vid regelbunden provtagning), desto större är risken att variationen lika gärna kan vara slumpmässig, och därmed inte resultera i en vettig markkarta.



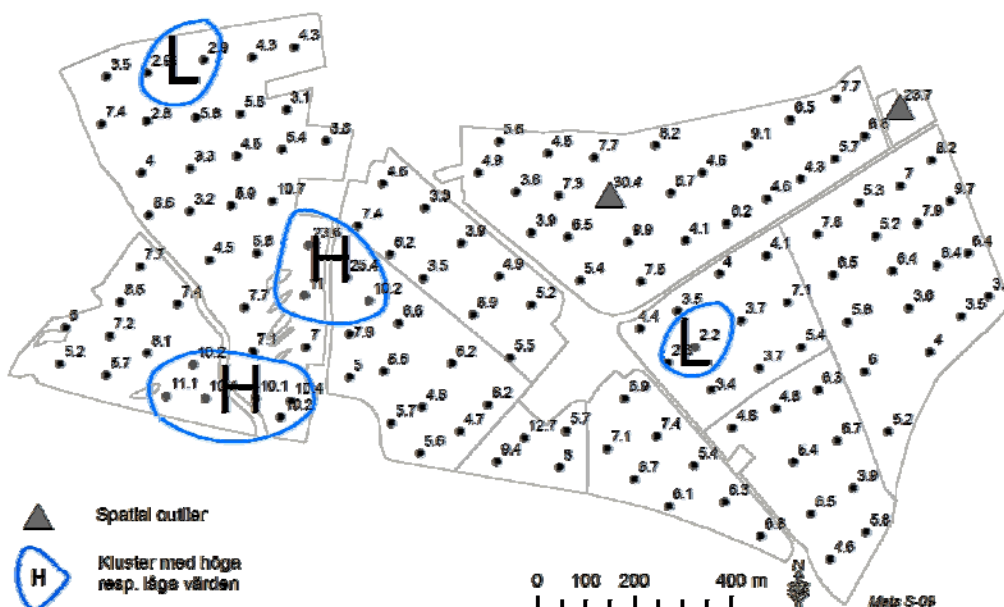
Figur 6. Resultat av Morans I-analys i mjukvaran ArcGIS (ESRI, Redlands, USA) för markkarteringsdata som a) ligger bakom kartan i figur 5a, och b) ligger bakom kartan i figur 5b

En möjlighet till att ge en typ av värdering av hur lämpligt det är att göra en interpolerad markkarta skulle kunna vara att som ett första steg beräkna ett globalt Morans I-index för alla markkarteringsprover, för var och en av de variabler som man avser att göra interpolerade kartor över. På liknande sätt som i figur 6 skulle man på ett pedagogiskt och lättöverskådligt sätt kunna förmedla testresultatet för respektive markkarta och på så sätt ge kunden en

uppfattning om ifall kartan sannolikt ger en bild av den variation som föreligger (figur 7). Man utnyttjar det beräknade indexvärdet samt signifikanstest för att göra klassningen. Det här är ju en hjälp även för den som tar fram kartan eftersom det ger en indikation på lämpligheten att interpolera. Metoden är användbar även om man vill interpolera med IDW eftersom man annars inte får någon indikation på om data är autokorrelerade eller ej. Vid instabil, till synes slumpmässig variation är det lämpligt att redovisa markkarteringsvärdena i punktform och beräkna fältmedelvärden och undvika interpolation. Dessutom finns möjlighet att förbättra dataunderlaget med några fler prover. I normalfallet bör man kunna åtgärda instabil variation genom att komplettera med ytterligare ett antal jordprover i områden där värdena mellan grannprover varierar mest. I litteraturen föreslås att man bör ha åtminstone 30 observationer för att använda Morans I (Mitchell, 2005).



Figur 7. Genom att testa datavariationen med Morans I-index innan interpolationen och redovisa resultatet på ett tydligt sätt, kanske på det här sättet, underlättas tolkningen av kartans trovärdighet. Här exemplifieras ett aktuellt resultat med den röda rektangeln.



Figur 8. Resultat från lokal Morans I-test där man bl a kan få en statistisk bild av var grupper med höga respektive låga värden finns och dessutom en indikation på var enstaka värden finns som kan betraktas som kraftigt avvikande från omgivande analysvärden (spatiala outliers). Exemplet visar P-AL på en gård i Västergötland

Det finns även en lokal variant på Morans I som torde vara intressant att använda för den som producerar interpolerade markkartor (och även för den som bara tänker beräkna fältvisa medelvärden) (figur 8). Denna analys ger möjlighet att på en statistisk grund lokalisera kluster

av höga respektive låga värden samt därutöver även provpunkter som har ett mätvärde som kraftigt avviker från sin omgivning (s.k. spatiala *outliers*) (Mitchell, 2005) (figur 8). Den senare typen av information är väldigt viktig eftersom sådana mätvärden kan få ett stort genomslag både i olika typer av statistisk sammanställning och analys. Vid interpolation kan enstaka extremvärden påverka kartans utseende påtagligt. Det kan vara svårt att hantera sådana värden. Det är alltid fördelaktigt att försöka fastställa orsaken till extrema värden. I vissa fall kan det röra sig om analysfel eller helt enkelt felskrivning.

Slutsatser

Man ställs inför flera frågeställningar när man ska ta fram interpolerade markkartor. Som ett första steg kan det vara lämpligt att undersöka om data är rumsligt korrelerade. Man kan t ex analysera data med Morans I för att få en uppfattning om detta. För interpolation kan olika metoder användas beroende på hur många provpunkter man har tillgång till och hur många prov/ha man har. För den vanligast använda metoden IDW finns en variant som ger mer estetiskt tilltalande kartor. Varje interpolerad karta bör valideras genom korsvalidering. Olika statistiska mått kan användas för bedömning markkartans kvalitet. RPD är ett mått som gör det möjligt att jämföra olika variabler och kartor med varandra. Det är lämpligt att information om och resultat från analyser och kvalitetstester bifogas markkartan.

Tillkännagivanden

Projektet har erhållit ekonomiskt stöd från Lantbrukarnas Ekonomi AB, Kraftsamling Växtodling, projekt nr 08114.

Referenser

- Burrough, P.A. & McDonnell, R.A. 1998. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, Oxford, 333 p.
- Childs, C. 2004. Interpolating surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. ArcUser, July-September 2004, 32-35.
- de Smith, M. J., Goodchild, M. F. & Longley, P. A. 2007. Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools. Matador, Leicester, UK. 394 s. Även på Internet: <http://www.spatialanalysisonline.com/>
- Delin, S. & Söderström, M. 2003. Potential for improving interpolation of soil data using geostatistics and soil electrical conductivity. ACTA Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci. 2003, vol. 52, no. 4, pp. 127-135.
- Jordbruksverket. 2002. Markkartering. Jordbruksinformation 6 – 2002. Jordbruksverket, Jönköping.
- Khosla, R., Westfall, D., Reich, R. & Inman, D. 2006. Temporal and spatial stability of soil test parameters used in precision agriculture. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 37: 15, 2127 — 2136
- Mitchell, A. 2005. The ESRI guide to GIS analysis. Volume 2: Spatial measurements & statistics. ESRI Press, Redlands, USA. 238 s.
- Nehmdahl, H. & Greve, M. H. 2001. Using soil electrical conductivity measurements for delineating management zones on highly variable soils in Denmark. In: Grenier, G. & Blackmore, S. (eds.): ECPA 2001. 3rd European Conference on Precision Agriculture (vol. 1). agro Montpellier, 461-466
- Norrman, J., Purucker, T., Back, P-E., Engelke, F. & Stewart, R. 2009. Metodik för statistisk utvärdering av miljötekniska undersökningar i jord. Naturvårdsverket, rapport 5932, 99 s.

- Ping, J.L., Green, C.J., Zartman R.E. & Bronson K.F. 2004. Exploring spatial dependence of cotton yield using global and local autocorrelation statistics. *Field Crops Research* 89, 219–236
- Söderström M., 2003. Systems of soil mapping in precision agriculture. NJF seminar no. 336 "Implementation of Precision Farming in Practical Agriculture", 10-12 June 2002. DIAS report, Plant Production No. 100. pp 17-25
- Söderström, M., Gruvaeus, I. och Wijkmark, L., 2008. Gammastrålningsmätning för detaljerad kartering av jordarter inom fält. *Precisionsodling Sverige, POS Teknisk rapport 11*. Institutionen för mark och miljö, Sveriges Lantbruksuniversitet. 30 s.
- Wetterlind, J., Stenberg, B. & Söderström, M. 2008. The use of near infrared (NIR) spectroscopy to improve soil mapping at the farm scale. *Precision Agriculture*, Vol. 9, No. 1-2, 57–69.

**Förteckning över rapporter utgivna av Avdelningen för precisionsodling i serien
*Precisionsodling Sverige, Tekniska rapporter:***

1. Nyberg, A., Börjesson, T. och Gustavsson, A-M., 2004. Bildanalys för bedömning av klöverandel i vallar – Utvärdering av TrefoilAnalysis
2. Börjesson, T., Åstrand, B., Engström, L. och Lindén, B., 2005. Bildanalys för att beskriva beståndsstatus i höstraps och höstvetete och ogräsförekomst i vårsäd
3. Delin, S. 2005. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige (POS) 2003-2004.
4. Delin, S.(red.), 2006. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige, POS, 2005
5. Delin, S.(red.), 2006. Dokumentation från seminariet ”Precisionsodling - avstämning av verksamhet och vision hos olika aktörer”, Skara den 19 april 2006
6. Söderström, M., 2006. PrecisionWizard - Gör styrfiler till FarmSiteMate och Yara N-sensor
7. Söderström, M., och Nissen, K., 2006. Insamling av GIS-data och navigering med GPS
8. Engström, L., Börjesson, T och Lindén, B. 2007. Beståndstäthet tidigt på våren i höstvetete – samband med skörd, topografi, förrådskalium och biomassa (Yara N-sensor- och NIR-mätningar)
9. Delin, S.(red.), 2007. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2006.
10. Söderström, M., Wijkmark, L., Martinsson, J. och Nissen, K., 2008. Avstånd mellan körspår – en jämförelse mellan traditionell spårmarkör och autostyrning med GPS.
11. Söderström, M., Gruvaeus, I. och Wijkmark, L., 2008. Gammastrålningsmätning för detaljerad kartering av jordarter inom fält
12. Söderström, M., 2008. PrecisionWizard 3 – hantera precisionsodlingsdata och gör egna styrfiler till Farm Site Mate och Yara N-Sensor .
13. Börjesson, T., Lorén, N., Larsolle, A., Söderström, M., Nilsson, J. och Nissen, K. 2008. Bildanalys som redskap för platsspecifik ogräsbekämpning .
14. Lundström, C. (red); 2008. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2007.
15. Söderström, M. 2008. Den traditionella markkarteringens användbarhet för precisionsodling.
16. Jacobsen, A. & Söderström, M. 2008. Anvendelse af geostatistik og remote sensing data til kortlægning af jordens lerindhold.
17. Jacobsen, A. & Söderström, M. 2008. Regional analyse af samspillet mellem satellitdata og jordbundsvariation. Delrapport 2 i SLF-projektet (dnr SLF 297/02): "Kostnadseffektiv markkartering genom stratifierad datainsamling baserad på fjärranalys"
18. Lundström, C. (red). 2009. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2008.
19. Börjesson, T. & Söderström, M. 2009. Bedömning av kvalitetsskillnader över tid i vallar avsedda för hösilage med Yara N-sensor.
20. Söderström, M., Börjesson, T., Pettersson, C.G., Nissen, K. & Hagner, O. 2009. Prognoser för malkornskvalitet med fjärranalys.
21. Söderström, M. 2009. Interpolerade markkartor – några riktlinjer.

Förteckning över rapporter utgivna av Institutionen för jordbruksvetenskap Skara i serien *Precisionsodling Sverige, Tekniska rapporter* (ISSN:1651-2804):

1. Börjesson, T, Ivarsson, K., Engquist, A., Wikström, L. 2002. Kvalitetsprognoser för brödvete och malkorn med reflektansmätning i växande gröda.
2. Börjesson, T., Nyberg, A., Stenberg, M. och Wetterlind, J. 2002. Handburen Hydro sensor i vall - prediktering av torrsbstansavkastning och kvalitetsegenskaper.
3. Söderström. M. (red.). 2003. Precisionsodling Sverige 2002, Verksamhetsberättelse från arbetsgrupperna.
4. Jonsson, A. och Söderström. M. 2003. Precisionsodling - vad är det?
5. Nyberg, A., Lindén, B., Wetterlind, J. och Börjesson, T. 2003. Precisionsodling av vall: Mätningar med en handburen sensor i vallförsök med nötflytgödsel på Tubbetorp i Västergötland, 2002.
6. Nyberg, A., Stenberg, M., Börjesson, T. och Stenberg, B. 2003. Precisionsodling av vall: Mätningar i växande vall med ett bärbart NIR-instrument – en pilotstudie.

Förteckning över rapporter utgivna av Institutionen för jordbruksvetenskap Skara i serien *Precisionsodling i Väst, Tekniska rapporter*:

1. Rapport från en studieresa till norra Tyskland.
2. Thylén, L & Algerbo, P-A. Teknik för växtplatsanpassad odling.
3. Seminarium och utställning i Skara den 10 mars 1998.
4. Delin, S. 2000. Hantering av geografiska data inom ett jordbruksfält.
5. Lundström, C. Delin, S. och Nissen, K. 2000. Precisionsodling - teknik och möjligheter.

AGROVÄST-projektet *Precisionsodling Sverige* syftar till att utveckla och tillämpa användbara metoder inom precisionsodlingen till nytta för det praktiska jordbruket.

I projektet arbetas med precisionsodling i form av utvärdering och tolkning av samt teknik för markkartering, kalkning, gödsling, bestämning av mark- och grödegenskaper, växtskydd samt miljöeffekter av precisionsodling.

Projektet genomförs i ett samarbete mellan bl.a. Lantmännen, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Svalöf Weibull AB, Yara AB, hushållningssällskap, Greppa Näringen och Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI).

Distribution:

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för mark och miljö

Box 234

532 23 Skara

Tel. 0511-670 00

Internet: <http://www.mark.slu.se/>
<http://www.agrovast.se/precision>