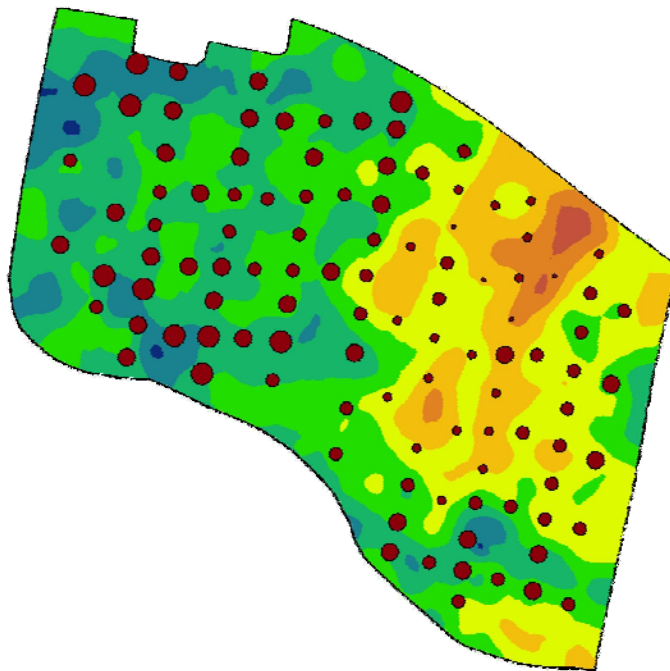




Gammastrålningsmätning för detaljerad kartering av jordarter inom fält



Mats Söderström, Ingemar Gruvaeus & Lars Wijkmark

Förord

Detta projekt har genomförts med finansiellt stöd från VL-stiftelsen (projekt nr 06357), Precisionsodling Sverige, - POS (Agroväst Livsmedel AB) samt Hushållningssällskapet i Skaraborg. Mätning i fält med instrumentet *the Mole* (Mullvaden) har genomförts av *the Soil Company*, Groningen, Holland som också deltagit i utvecklingen av instrumentet och marknadsför det.

De jordanalyser som använts som jämförelse har tagits inom ramen för tidigare projekt, med finansiering från bl.a Hushållningssällskapet i Halland, POS, Lantmännen, Stiftelsen lantbruksforskning - SLF.

Tack riktas till de lantbrukare som bistått vid fältarbetet och låtit oss göra mätningar på deras fält.

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning.....	5
Bakgrund	5
Målsättning.....	7
Genomförande	8
Resultat	11
Andra användningsområden – fortsatta studier.....	16
Slutsatser.....	17
Referenser	18
Bilagor.....	20

Gammastrålningsmätning för detaljerad kartering av jordarter inom fält

Mats Söderström, Sveriges Lantbruksuniversitet, Skara; Ingemar Gruvaeus, Hushållningssällskapet Skaraborg & Lars Wijkmark, Växa Halland

Sammanfattning

Mätningar med ett fältinstrument som mäter gammastrålning (*the Mole* – Mullvaden, The Soil Company - www.soilcompany.com) utfördes på sju platser i södra Sverige under 2007. Resultat har bearbetats på så sätt att en jämförelse gjorts mellan hur bra en traditionell markkartering (d v s med 1 prov per ha) fungerar jämfört med kartering som görs m h a Mullvaden + några jordprov för kalibrering. Vi har undersökt flera förekommande markkarteringsvariabler för näringsinnehåll och jordartsbeskrivning (P-AL, K-AL, K-HCl, Mg-AL, Cu-HCl, Ca-AL, Mull, Ler och Sand). Dessa har dock inte funnits att tillgå på alla fält. Dessutom har korrelationen med kadmiumhalten i matjord undersökts på några fält. I korthet kan sägas att:

- För mätning med Mullvaden med avsikt att kartera jordarter (ler och sand) tycks ca 1 kalibreringsprov per 2-3 ha vara tillräckligt för att uppnå avsevärt bättre resultat än om man tar ett vanligt jordprov per ha.
- För mullhalt samt andra variabler som är korrelerade med lera tycks kartering med Mullvaden ofta fungera lika bra eller bättre än vanlig markkartering (Cu-HCl, K-HCl, Mg-AL).
- För K-AL är kartan från Mullvaden ofta ungefär lika bra som en karta från en vanlig markkartering.
- För pH och P-AL verkar vanlig markkartering bättre.
- Mullvaden kan användas för detaljerad kartering av jord med alunskifferinblandning. I vissa områden är alunskiffer källan till Cd i jord och i dessa fall finns en korrelation mellan gammastrålningsmätningen och jordens Cd-innehåll.

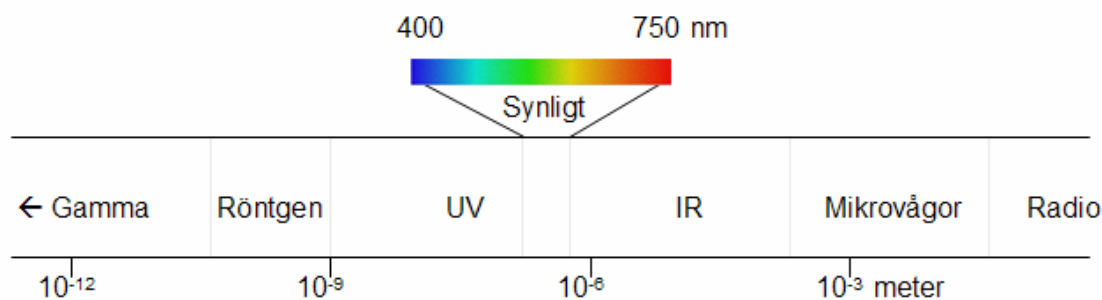
Bakgrund

En god kännedom om hur markens egenskaper varierar inom gården anses normalt vara grunden för att kunna anpassa olika odlingsåtgärder till det lokala behovet, och en stor del av den svenska åkermarken är karterad genom den vanliga markkarteringen. 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 finns redovisade i Jordbruksverket, 2002. Under senare år har nya metoder utvecklats som syftar till att kunna skapa mer detaljerade och bättre markkartor. Exempel på detta är t.ex. mätning av markens elektriska ledningsförmåga (Delin & Söderström, 2003) eller analys med nära infraröd (NIR) spektroskopi (Wetterlind m.fl., 2008).

Även variation i markens naturliga radioaktiva strålning har börjat användas inom kartering av åkermark (t.ex. Pracilio m.fl., 2006). Gammastrålning avges från några naturligt förekommande isotoper. I berg och jord finns de naturliga, radioaktiva ämnena uran (U-235 och U-238) och torium (Th-232), samt den radioaktiva isotopen kalium-40 (K-40) (IAEA, 2003). Som ett resultat av atmosfäriska provsprängningar av kärnvapen

(fram till 1980) och olyckan 1986 vid kärnkraftverket i Tjernobyl förekommer även cesium-137 (Cs-137) i markmiljön (SSI, 2007; Rosén, 1999). De radioaktiva grundämnena har en instabil atomkärna som sönderfaller spontant varvid nya grundämnen bildas. I geologiska undersökningar intresserar man sig för den strålning som härrör från de tre dominerande isotoperna K-40, U-238 och Th-232, som förekommer naturligt i berggrunden. Uran och torium sönderfaller i dotterisotoper vilka i sin tur också är radioaktiva. Dessa bildar en sönderfallskedja, där många olika typer av sönderfall är representerade (IAEA, 2003).

Vid sönderfallet avges strålning av olika slag: alfa(α)-, beta(β)- och gamma(γ)strålning. Gammastrålningen har längst räckvidd och är en elektromagnetisk strålning av samma typ som röntgenstrålning och synligt ljus. Gammastrålningen har dock kortare våglängder (figur 1) och blir därmed energirikare och betydligt mer genomträngande än synligt ljus. Räckvidden i luft är flera hundra meter (Sundevall, 2002).

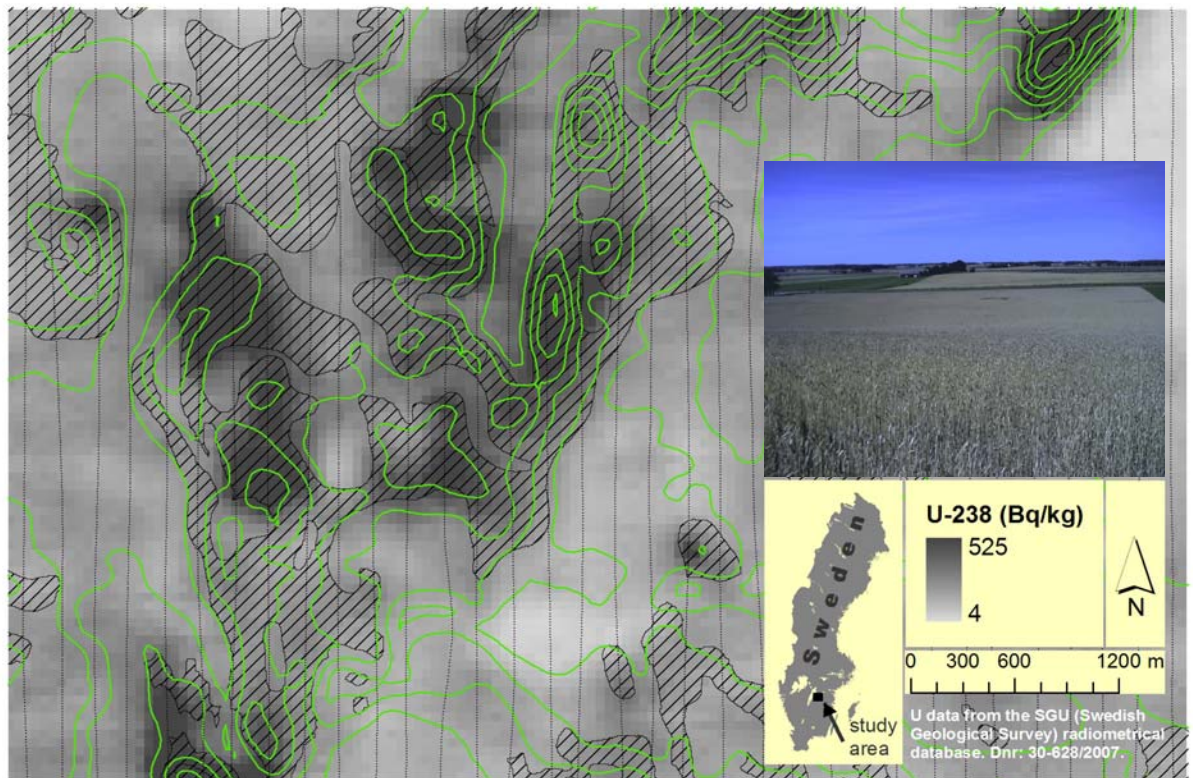


Figur 1. Gammastrålning är en mycket energirik typ av elektromagnetisk strålning med avsevärt kortare våglängd än t ex synligt ljus.

Följande stycke är till stor del hämtat från Sundevall (2002) som beskriver kopplingen mellan gammastrålningen i jordlagren och dess moderbergarter. De lösa jordlagren i Sverige är mycket unga i jämförelse med jordar i många andra delar av världen. De har huvudsakligen bildats under och efter den senaste istiden. När berggrunden bryts ned eller vittrar sker en mekanisk och kemisk borttransport av uran, radium och torium (Sundevall, 2002). Därigenom kommer halterna av dessa ämnen att gradvis minska ju mer materialet bryts ned. De lägsta halterna har finsand som i stort sett enbart består av kvarts och fältspat (Sundevall, 2002; SSI, 2007). Det uran, radium och torium som blivit löst i vattnet eller som finns som små korn av uranförande mineral adsorberas på lerpartiklar eller fälls på sådana. Därför har leror och leriga sediment vanligen förhöjda halter av dessa isotoper. Jordarternas modermaterial har dock stor betydelse. Förekomsten av och förhållande mellan de olika isotoperna varierar (SSI, 2007). Alunskiffer är rikt på uran, som förekommer som ytterst små korn jämnt fördelade i bergarten. Någon större urlakning av uran sker inte, varför uranhalten i t.ex. sand som härrör från alunskiffer i stort sett är densamma som i bergarten (Sundevall, 2002). Således är strålningsvärdet från U-238 förhöjt om en jordart innehåller alunskifferfragment. I områden med alunskiffer finner man även åkermark med förhöjda halter av kadmium (Cd) (Eriksson m.fl., 1995). Det är sannolikt den lokala berggrunds- och kvartärgeologin som är den mest avgörande faktorn för hur den naturliga variationen av kadmium i åkermarken ser ut. Detta gäller särskilt i områden som har de högsta halterna av Cd, som i de allra flesta fall beror på naturligt höga halter. Men troligen har olika jordartsbildande processer lokalt medfört att jordarnas Cd-innehåll kan skilja sig åt avsevärt.

Omkring hälften av den observerade γ -strålningen härrör från den översta dm av marken i torr jord, och 90 % kommer från markens översta tre dm (Taylor m.fl., 2002). Det betyder att strålningen även från starkt radioaktiv berggrund eller jord under ett par dm

jordlager till större delen är avskärmad. Vidare avskärmas γ -strålningen totalt av enbart några dm vatten (IAEA, 2003). Gammastrålningsmätning används t ex för kartering av radonrisk i byggnader eller för samhällsplanering (SSI, 2007).



Figur 2. Exempel på U-238-karta över ett område i Östergötland (Söderström & Eriksson, 2008). Data kommer från SGUs flygmätningar. De streckade områdena är morän. Linjerna är 5 m höjdkurvor. Man kan se att en del av moränkullarna har förhöjda halter av U-238, sannolikt beroende på alunskifferinblandning.

Sveriges Geologiska Undersökningar (SGU) har sedan 1960-talet utfört flygbaserade γ -strålningsmätningar för översiktlig kartering av markens radioaktivitet, t ex för uranprospektering. Sedan 1995 utförs mätningarna från 60 m flyghöjd med ett profilavstånd på 200 meter. Detaljeringsgraden är dock inte så hög vid en sådan mätning. Ett mätvärde representerar signalen från en oval yta på marken, med den längsta axeln ca 200 m vinkelrät mot flygriktning (Mats Wedmark, SGU, muntligt). Figur 2 visar en U-238-karta över ett område i Östergötland gjord med data från SGUs flygmätningar.

Målsättning

I det här projektet undersöks hur markkartering enligt ett holländskt koncept utvecklat av *the Soil Company* (www.soilcompany.com) som bygger på γ -strålningsmätning på fältnivå samt ett fåtal jordprover för kalibrering fungerar i jämförelse med markkartor som skapats genom interpolation av analysvärden från en traditionell markkartering med ett jordprov/ha. Dessutom nämns kort om andra möjliga användningsområden, bl.a. något om resultat från ett parallellt, pågående SLF-projekt där det utreds om metoden kan användas för kartering av kadmium i jordbruksmark.

Genomförande

Utrustningen som användes för γ -strålningsmätningen kallas *the Mole* (Mullvaden) (figur 3) och är utvecklad av University of Groningen och The Soil Company (www.soilcompany.com) i Holland. En detaljerad beskrivning av instrumentet finns t ex i Van Egmond m.fl. (2008). Data, d.v.s. isotoperna ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K och ^{137}Cs , registrerades ungefär var fjärde meter längs körspår med tolv meter emellan. Mätningen utfördes av personal från The Soil Company med en fyrhjulsdriven bil (SUV) på vilken utrustningen monterats (figur 4).



Figur 3. Mullvadssystemet består av en GPS, fäldator och detektor (Van Egmond m.fl. 2008).



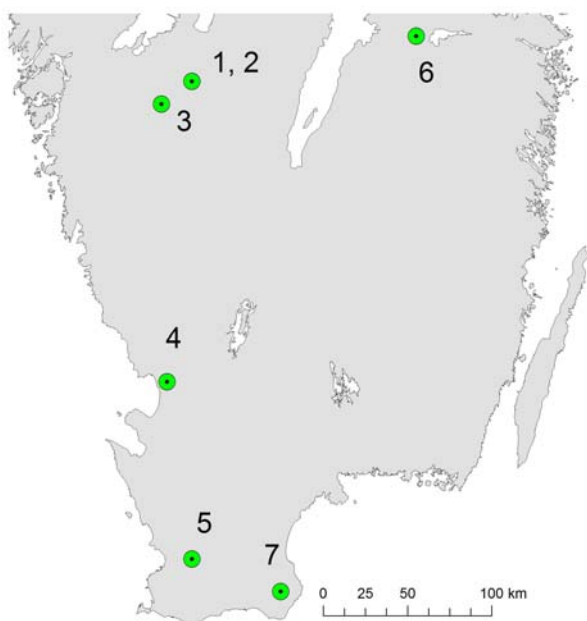
Figur 4. Fordon med hjälp av vilket mätningen med Mullvaden under februari gjordes. Utrustningen är monterad fram under nummerskylten
Foto: Mats Söderström.

Mätningarna på alla fält utom i de Skåne (där var det vid detta tillfälle alltför blött) utfördes under februari 2007 (tabell 1). Marken var då frusen och ett par cm lätt snö förekom på fälten i Östergötland. Mätningarna i Skåne genomfördes under april 2007. Enligt det holländska företaget skulle inte en liten mängd snö påverka mätvärdena nämnvärt. IAEA (2003) nämner dock att snö medför att strålningen från marken sprids. Som exempel nämns i denna referens att tio cm nysnö sprider gammastrålning lika mycket som 10 m luft. På en gård där mätning planerades (Hacksta utanför Enköping) var det flera dm snö så där utfördes ingen mätning. Jämfört med den ursprungliga planen gjor-

des mätning på ett par extra platser i Västergötland vid mättillfället i februari (Ribbingsberg och Lanna). I Halland var det för blött på de fält där vi planerat mäta. I stället valdes några andra fält i Halland (Eldsberga) där förhållandena tillät mätning.

Tabell 1. Fält där γ -strålningsmätning med Mullvaden genomförts. Siffrorna hänvisar till kartan i figur 5.

Mätplats		Egenskaper	Approx. areal	
Västergötland	1, 2	Bjertorp	Två skiften (21, 34) Väldokumenterade med jordartsskillnader och Dessutom mättes långliggande försök på skifte 19. Ej i valideringen. Av misstag mättes även skifte 33	90 ha
	3	Ribbingsberg Lanna	Väldokumenterat skifte med stora mullhaltsvariationer Ett par mindre försöksytor. Ej med i validering.	17 ha
Halland	4	Eldsberga	Tre fält. Potatisodling, stora jordartsskillnader	35 ha
Skåne	5, 7	Sjöstorp På Österlen	markkartering Kadmium och jordartsskillnader	20 ha 40 ha
Östergötland	6	Vid Linköping	Fyra fält, varav ett med i valideringen. Kadmium och jordartsskillnader	40 ha

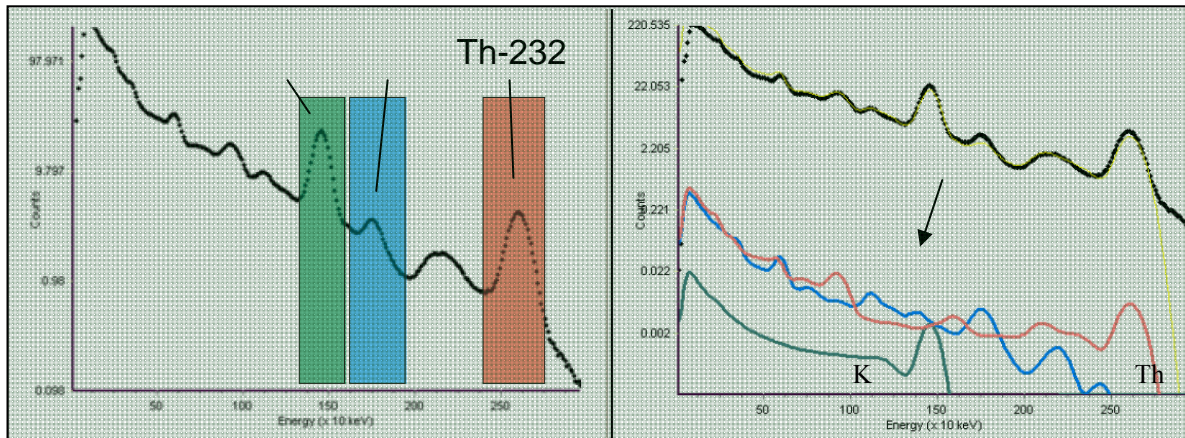


Figur 5. De olika fältens läge (se vidare i tabell 1).

Efter mätningen sammanställdes befintliga markkarteringsdata för de aktuella fälten. *The Soil Company* bearbetade insamlade γ -strålningsdata och extraherade de olika isotopernas värden (figur 6). Genom kartor på totalstrålningen tog företaget fram koordinater på de platser där de helst skulle vilja ha jordanalysdata. Dessa koordinater bestäms enligt en manuell metod, som man för närvarande använder i sina tjänster, vars princip bygger på att några provpunkter väljs på platser med

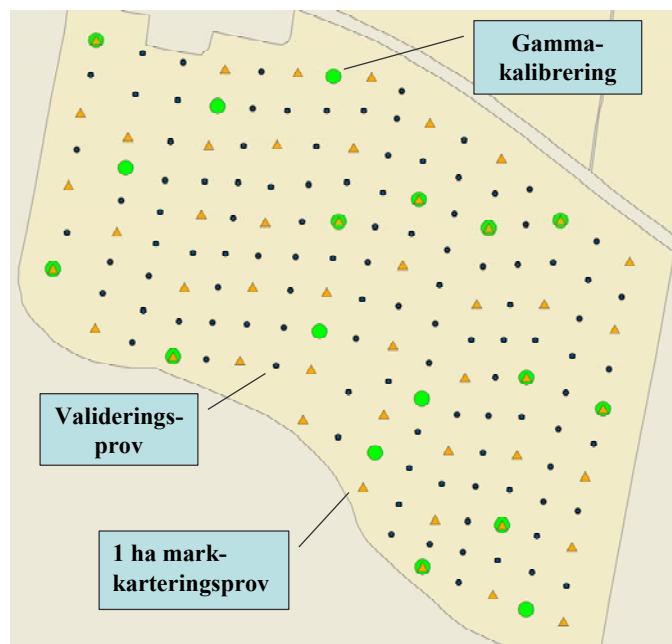
varierande γ -strålningsvärden som representerar fältet. Normalt tar man ut jordprover på dessa platser, men här valdes analysvärden från redan befintliga jordprover som låg så nära som möjligt den punkt som föreslagits. Analysresultaten för dessa punkter skickades till företaget som sedan tog fram en regressionsmodell (ibland multipelregression)

mellan isotopernas värden och de olika markkarteringsvariablerna i kalibreringspunkterna. Kartor över de olika isotoperna kan sedan räknas om markkartor med hjälp av de erhållna sambanden.



Figur 6. De olika isotoperna ger upphov till olika toppar i γ -strålningsspektrumet (vänster). Vid s.k. *full spectrum analysis* anpassas en modellkurva till totala γ -strålningsspektrumet, som sedan delas upp i delkomponenter beroende på bidrag från respektive isotop (höger) – en metod som använts här (Van Egmond m.fl., 2008).

På de fält som valts ut för validering har det funnits befintliga jordanalyser från en relativt tät provtagning. Några av provpunkterna har använts till kalibreringen enligt ovan, medan analysvärden från andra provpunkter endast använts för validering. Ett antal jordprover har valts ut för att representera en vanlig markkartering med ett prov/ha. Här kan kalibreringsprover ingå, men inte valideringsprover (se figur 7). Den spatiala fördelningen av prover varierar något mellan fälten liksom provtätheten. En utförlig redovisning finns i bilaga 1a-f.



Figur 7. Jordprover på fält 1 (47 ha).

De traditionella, vanliga markkartorna har i denna studie skapats med hjälp av en vanligt förekommande metod för produktion av lantbrukarnas interpolerade markkartor. Metoden bygger på att varje tillgänglig provpunkts analysvärde viktas med avseende på avståndet till centrum i den yta man vill beräkna (se t.ex. Burrough & McDonnell, 1998). Den bakomliggande principen är att varje observation har en lokal påverkan som minskar med avståndet från observationspunkten, så att observationer som ligger närmare en punkt vilkens värde ska beräknas får ett större inflytande än observationer som ligger längre bort. Det inversa avståndet används som viktning och metoden kallas ofta "viktning med inversa avståndet" och förkortas IDW (*inverse distance weighting*).

Här användes viktningsexponenten 2 och de närmaste 10 observationerna användes vid interpolationen.

För validering av 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 två beräknade värden (ett för kartan från Mullvadsmetoden och ett från den ”vanliga” markkartan) för varje analyserad variabel. Sambandet mellan uppmätta och beräknade värden utvärderades med de statistiska måtten r^2 , RMSEP (medelfelet i prediktionen) och RPD (standardavvikelsen dividerat med RMSEP). För att markkartan ska vara bättre än medelvärdet för fältet ska RPD-värdet vara större än ett. RPD-värden större än två är inte så vanligt för interpolerade markkartor (se t.ex. Delin & Söderström, 2003).

Resultat

Data från Mullvadsmätningen bearbetades i Holland av *the Soil Company*. De gjorde interpolerade kartor över alla fält för respektive isotop. Sammanfattande statistik (medel- min- och max-värden) för dessa kartor redovisas i tabell 2. SSI (2007) redovisar länsvisa siffror för Cs-137-värden i åkermark. Deras siffror är något lägre än de som visas här. Mätinstrument, kalibrering eller tillvägagångssätt kan dock resultera i skillnader. Halterna är dock låga eftersom ingen av dessa mätplatser utsattes för stort nedfall av Cs efter Tjernobylolyckan.

Tabell 2. Medelvärden (och min-max) i Bq/kg för kartor över radionuklider på respektive fält

	Fält 1	Fält 2	Fält 3	Fält 4b
TC ^a	248 (167-313)	293 (215-334)	195 (156-275)	160 (135-178)
K-40	715 (536-891)	723 (627-843)	524 (275-769)	708 (635-793)
U-238	52 (28-72)	66 (36-85)	41 (25-60)	17 (10-25)
Th-238	38 (15-57)	54 (35-70)	29 (12-50)	14 (9-19)
Cs-137	15 (6-28)	21 (11-32)	12 (4-21)	8 (3-12)

	Fält 4c och e	Fält 5	Fält 6 ^b	Fält 7
TC	209 (170-234)	210 (165-261)	209 (121-329)	170 (124-218)
K-40	656 (567-732)	603 (435-740)	464 (266-689)	423 (331-554)
U-238	35 (24-49)	27 (17-44)	60 (21-108)	29 (15-48)
Th-238	31 (18-40)	30 (17-47)	26 (9-43)	23 (13-38)
Cs-137	12 (7-18)	10 (4-17)	19 (9-35)	9 (4-15)

^a) TC = Total Counts

^b) Ett angränsande fält hade U-238-värdena: 120 (45-602). Det fältet ingår inte i valideringen.

I tabell 3 redovisas korrelationen mellan kalibreringspunkternas analysvärden och den isotop eller den kombination av isotoper som sedan användes för beräkning av markkartorna. I bilaga 1a-1f finns uppgifter från varje fält om kalibreringspunkternas antal och läge på respektive fält.

Man kan se i tabell 3 att det inte är samma isotoper som valts ut för att beräkna samma markkarteringsvariabel om man jämför olika fält, utom för lerhalt där det konsekvent är Th-232 som används. Om man tänker sig att samla mätdata i en databas för att efter en tid t.ex. kunna minska antalet kalibreringsprover är det en fördel om sambandet mellan olika isotoper och en och samma markkarteringsvariabel är relativt konstant. För lerhalt torde således möjligheten att man endast från Th-232-mätningar direkt skulle kunna göra en bra prediktion av lerhalt via tidigare kalibreringar på andra fält vara ganska god.

Determinationskoefficienterna som redovisas i tabell 3a-g är generellt höga. Man bör dock då ha i åtanke att dessa endast visar sambandet mellan värdena i ganska få kalibreringspunkter och en eller flera isotoper i ett (multipel-) regressions samband. För att det ska fungera att göra en bra markkarta med hjälp detta samband måste detta gälla för hela fältet och inte bara vara ett statistiskt samband i de punkter som man valt ut. Det underlättar om det finns en fysisk/kemisk förklaring till sambandet mellan isotoperna och markvariablerna.

I t ex SSI (2007), Wilford & Minty (2007) och Sundevall (2002), liksom i korthet i introduktionen i detta dokument, diskuteras sambandet mellan åkermarkens modermaterial, jordarter och isotopsammansättning och man kan se att det finns anledning att tro att man kan skilja på jordar av olika ursprung och olika kornstorlekssammansättning med denna mätmetodik. Att sambandet mellan olika markvariabler varierar mellan fält beror antagligen på att flera av markvariablerna varierar till delar med jordarten, men att det även finns annan variation som t.ex. uppkommit genom gödsling eller andra odlingsåtgärder, och detta avspeglas inte i isotopsammansättningen. Det är alltså naturligt att det främst är lerhalt och kornstorlek i övrigt som är bäst kopplade till Mullvadsmätningen.

I figur 8a-d visas exempel på isotopkartor för fält 1 (Bjertorp skifte 21). I det här fallet finns det en noterbar samvariation mellan framförallt K, Th och U, men även Cs. I figur 8e visas lerhaltskartan som framställts med Mullvadsmetoden. Det är alltså via sambandet mellan Th-232 och lerhalt i kalibreringsproverna (tabell 3a) som kartan i figur 8e tagits fram genom omräkning av Th-232-kartan. Lerhaltskartan ser detaljerad ut eftersom det finns en lokal variation i Th-232-kartan. För att undersöka hur bra kartan är används ett antal valideringsprover vars läge visas i figur 8e.

I bilaga 1a kan man se att determinationskoefficienten r^2 i det här fallet är 0,73 mellan lerhalt i valideringsproverna och lerhalt i kartan. Medelfelet (RMSEP) är drygt 3%, en nivå som sannolikt närmar sig osäkerheten i analysvärdet i jordprovet (se t ex Wetterlind m.fl., 2008). I det här fallet tycks alltså lerhaltskartan vara ganska bra.

Tabell 3a – g. Korrelation r^2 mellan markvariabler och använda isotop i kalibreringsprover. Fält i Skåne saknas. Uppgifter från Fenny Van Egmond, *the Soil Company*.

a) Fält 1, Bjertorp 21.

Markvariabel	Anv. isotop ^a	r^2
Ca-AL	Th, U, Cs, K, TC	0.83
K-HCl	Th, U, Cs	0.87
K-AL	U, Cs, K	0.83
Cu-HCl	K	0.86
Lerhalt	Th	0.89
Mg-AL	Th, U	0.76
Mullhalt	Th, Cs, K	0.76
P-AL	Th, U, Cs, K, TC	0.17
pH	Th, Cs, K	0.65
Silt	Th	0.79
Sand	Th	0.87

b) Fält 2, Bjertorp 34.

Anv. isotop	r^2
TC	0.88
Th, U, Cs, K	0.75
Th, U, Cs	0.81
Th, U, K	0.84
Th	0.80
U, Cs, K	0.90
Th, Cs, K	0.57
Th, U, K	0.70
Th, U, Cs	0.78

c) Fält 3, Ribbingsberg

Anv. isotop	r^2
Th, U, Cs	0.56
Th, U, K	0.78
Th, Cs, K	0.94
Th, K	0.87
Th	0.71
Th, U, Cs, K	0.45
Cs, K	0.74
U, K	0.94
Th, U, K	0.87
saknas	
Th	0.63

d) Fält 4 Eldsberga b
berga e

Markvariabel	Anv. isotop	r^2
Ca-AL	Th, Cs, K	0.59
K-AL	U, Cs, K	0.54
Lerhalt	Th	0.24
Mg-AL	Th, Cs, K	0.37
Mullhalt	Th, K	0.87
P-AL	Th, U, Cs, K	0.76
pH	Th, Cs, K	0.61

e) Fält 4, Eldsberga c.

Anv. isotop	r^2
Th	0.95
Th, U, Cs	0.85
Th	0.58
Th, K	0.97
U, Cs, K	0.64
saknas	
U	0.68

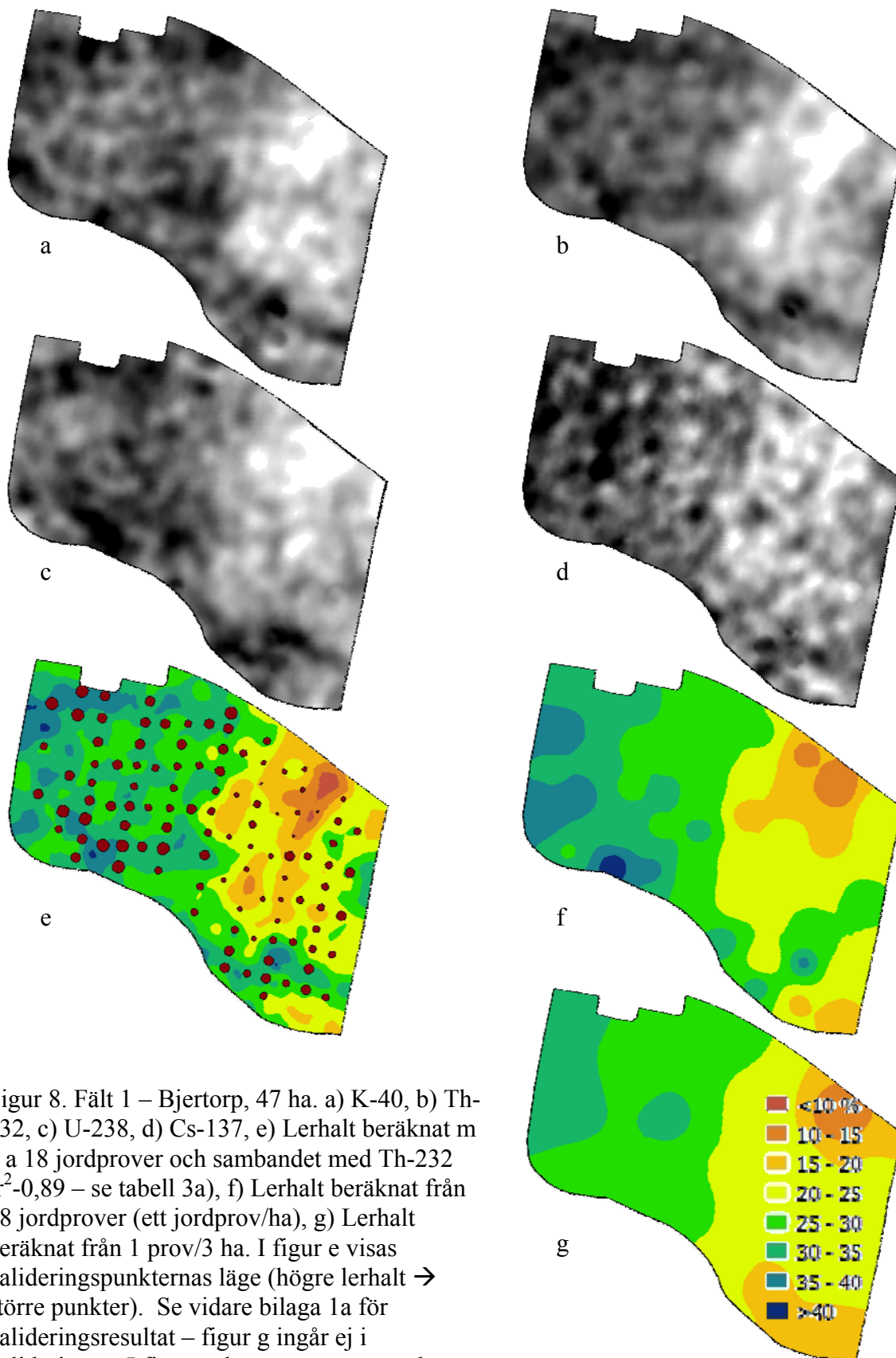
f) Fält 4, Elds-

Anv. isotop	r^2
U, Cs	0.88
U, Cs, K	0.95
Th	0.51
Th, K	0.96
U, Cs	0.99
Th, U, K	0.94
U	0.40

g) Fält 6, Linköping

Markvariabel	Anv. isotop	r^2
Ca-AL	TC	0.99
K-AL	Th, U	0.92
Lerhalt	Th	0.88
Mg-AL	Cs	0.88
Mullhalt	Th, Cs, K	0.75
P-AL	K	0.98
pH	K	0.99
Silt	Th	0.58
Sand	Th	0.84

^a) TC = Total Counts



Figur 8. Fält 1 – Bjertorp, 47 ha. a) K-40, b) Th-232, c) U-238, d) Cs-137, e) Lerhalt beräknat med 18 jordprover och sambandet med Th-232 ($r^2=0,89$ – se tabell 3a), f) Lerhalt beräknat från 48 jordprover (ett jordprov/ha), g) Lerhalt beräknat från 1 prov/3 ha. I figur e visas valideringspunkternas läge (högre lerhalt → större punkter). Se vidare bilaga 1a för valideringsresultat – figur g ingår ej i valideringen. I figur a-d representerar mörkare ytor högre värden.

I figur 8f visas hur en lerhaltskarta ser ut som interpolerats från vanliga markkarteringsdata med ett prov/ha. Denna karta ser naturligt nog inte lika detaljerad ut eftersom det är betydligt färre prover som ligger till grund för kartan. Man kan även se mönster i kartan som är typiska för själva karteringsmetoden; ett cirkulärt mönster kring lokalt höga eller låga värden som knappast kan vara en representation av hur lerhalten varierar på fältet. Det är dock inte självklart att kartan i genomsnitt behöver vara sämre än kartan från Mullvadsmätningen. Emellertid kan man i bilaga 1a se att r^2 för valideringsproverna är 0,55 och RMSEP är drygt 4 %. Dessutom är förhållandet mellan standardavvikelsen och RMSEP (d.v.s. RPD) klart lägre för den vanliga markkarteringskartan. Mullvadsmetoden ger alltså en klart bättre karta i denna jämförelse.

I det här projektet görs ju en jämförelse mellan Mullvadsmetoden och en traditionell markkartering. I det senare fallet avses en jordprovtagning med ett prov/ha. Dock är det vanligt att K-HCl och Cu-HCl inte analyseras i varje prov. Om man överhuvudtaget gör HCl-analyser så är det vanligt med analys i vartannat prov. Än mer sällan görs analys av mull- och framförallt lerhalt. Som exempel kan nämnas att ett av kriterierna för det nya miljöstödet från Jordbruksverket som introducerades under 2007 är att jordartsanalys görs i vart tredje prov. Det betyder att man oftast inte har tillgång till nämnda data i den traditionella markkarteringen. I figur 8g visas hur lerhaltskartan ser ut om den görs på vart tredje prov, alltså ett prov per tre ha (i det här fallet 16 prover). Här finns inte så mycket detaljer utan fältet delas i princip upp i den leriga, västra delen och den östra med lättare jord. Om man jämför figur 8e och 8g kan man se att lerhalten lokalt kan skilja upp mot 20% mellan de två kartorna.

Tabell 4. Medelvärden för de redovisade fälten i bilaga (inkluderar dock ej data från fält 4 (bilaga 1d) där endast korsvalidering använts för den traditionella markkarteringen).

		pH	P-AL	K-AL	Mg-AL	K-HCl*	Cu-HCl*	Mull	Ler	Sand
Markkartering	r^2	0.36	0.38	0.49	0.33	0.35	0.57	0.48	0.46	0.60
	RMSEP	0.17	4.07	3.96	7.04	44.3	2,49	1.24	6.52	9.36
	RPD	1.35	1.27	1.45	1.24	1,29	1,42	1.35	1.40	1.58
Mullvaden	r^2	0.31	0.15	0.39	0.40	0,50	0,56	0.46	0.74	0.69
	RMSEP	0.25	4.68	5.20	6.79	41,7	2,50	1.32	3.96	6.49
	RPD	0.90	0.96	1.17	1.17	1,39	1,42	1.32	2.08	2.26

* n=3 (i övriga fall så är n=5)

I bilaga 1a-f redovisas hur väl alla markkarteringsvariablerna stämmer överens med valideringspunkterna på respektive fält. Vid tolkning av r^2 , RMSEP och RPD bör man tänka på att valideringspunkternas geografiska spridning och dess antal skiljer sig åt mellan fälten. I vissa fall är variationen i en viss variabel också mycket liten för ett fält vilket typiskt medför att ett lågt r^2 -värde. Om man jämför de olika fälten i bilaga 1 visar det sig att det inte alltid är samma metod och inte heller samma variabler som verkar stämma bäst överens med valideringsproverna. Därför kan man inte med bestämdhet säga att en viss metod alltid kommer att fungera bättre än den andra. Det finns dock en tendens till att Mullvadsmetoden tycks fungera bra för vissa variabler. I tabell 4 visas

medelvärden för de använda statistiska jämförelsetalen för de olika variablerna. Där framgår, inte oväntat, att prediktion av lerhalt och sand fungerar klart bättre med Mullvadsmetoden jämfört med den vanliga markkarteringen i de undersökta fälten. Dessutom verkar variabler som ofta är bra korrelerade med jordartsskillnader, som t ex K och Mg, fungera ungefär lika bra med Mullvadsmetoden som vid vanlig markkartering. Samma tendens finns för HCl-analyserna, men det finns endast analyser på tre fält så dessa värden är mer osäkra än de övriga. När det gäller pH och P-AL verkar det däremot som om den vanliga markkarteringen är bättre än Mullvadsmetoden.

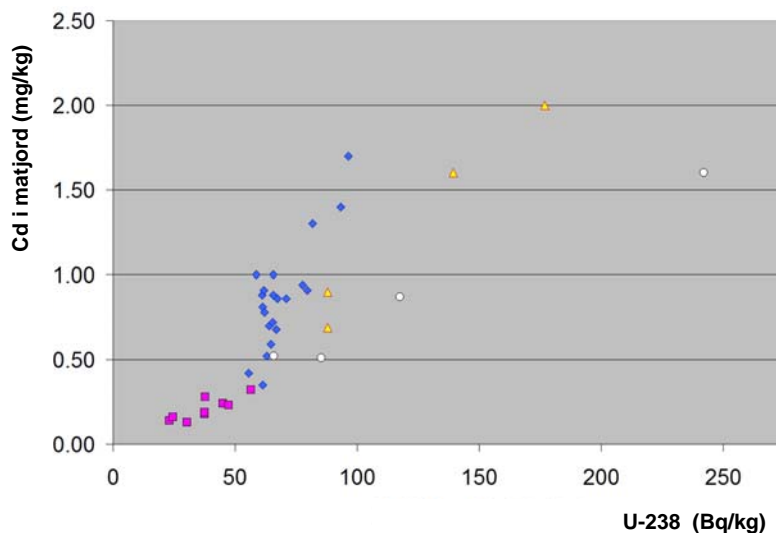
Andra användningsområden – fortsatta studier

EM38 jämfört med Mullvaden

EM38 (www.geonics.com) är ett instrument som mäter jordens elektriska ledningsförmåga som ofta är väl korrelerat med t.ex. lerhalt, men även med flera andra parametrar som t.ex. vattenhalt, textur i övrigt och salthalt (se t.ex. Sudduth m.fl., 2001; Söderström, 2001). Instrumentet har sedan några år använts i Sverige framförallt för att styra provtagning till delar av fält där jordartsvariationen är liten för att man ska få representativa prover (metoden för det beskrivs bl.a. i Olsson & Söderström, 2003). Det kan vara av intresse att jämföra EM38-mätning med Mullvadsmetoden även om dess användning inte direkt är den samma. I det här projektet har endast gjorts en sådan jämförelse på Fält 1 (bilaga 1a) för ler- och mullhalt. På detta fält fungerar inte EM38 lika bra som Mullvadsmetoden. Man ska dock ta med i beräkningen att EM38-instrumentets värden representerar ett betydligt större jorddjup än matjord – det djup som Mullvadens signal främst härrör ifrån. Man kan därför inte förvänta sig att en direkt korrelation mellan analysvärden i jordprover från matjorden och EM38-värden självklart är särskilt hög. Variation i EM38-värden är ofta väl korrelerade med variationer i skörd inom fält, ofta betydligt bättre än olika markkarteringsvärden i matjordsprover. Möjligen kan en kombination av Mullvadsmätning och EM38 ge möjlighet till ännu bättre beskrivning av åkermarkens variation.

Kopplingen mellan Cd i jord och γ -strålningsmätning

I Söderström & Eriksson (2008) redovisas hur kadmium i åkermark varierar och om det går att använda γ -strålningsmätning av U-238 som ersättning för kostsamma Cd-analyser i jordprov. Man har undersökt ett område där alunskifferinblandning i jorden antas vara källan för Cd. I detta område tycks det finnas ett påtagligt samband mellan Cd i matjord och U-238-mätning med Mullvaden (figur 9). Antalet prover är begränsat, och fälten är valda så att det ska finnas en stark gradient i den förväntade alunskifferinblandning på fälten. Man kan observera att det inte verkar vara helt och hållet samma förhållande mellan Cd i matjord och U-238 på dessa fält. Orsaken till detta är för närvarande inte utrett. Med hjälp av några kalibreringsprover tycks det vara möjligt att få en detaljerad bild över Cd-variationen inom dessa fält. I områden där inte alunskiffer i modermaterialet är huvudkällan torde inte sambandet vara särskilt starkt.



Figur 9. Plot mellan U-238 uppmätt med Mullvaden och Cd i matjord i fyra fält (olika symboler) i ett område med alunskiffer (Söderström & Eriksson, 2008).

Beräkning av erosionshastighet

Mätning av Cs-137 har under lång tid använts för beräkning av erosionshastighet (t ex Fornes m.fl., 2005; Sutherland, 1996). Principen bygger på att förekomsten av Cs-137 beror på atmosfäriskt nedfall p g a kärnvapenprov och olyckan vid kärnkraftverket i Tjernobyl. Med ledning av variationen av Cs-137 i ett undersökningsområde jämfört med koncentrationen i orörda, icke eroderade referensplatser kan erosionshastigheten beräknas. Mullvaden torde kunna användas i den här typen av studier (Eddie Loonstra, *the Soil Company*, muntligt). Med tanke på den stora mängd mätdata av Cs-137 som kan samlas in med Mullvaden bör det ge goda möjligheter till detaljerad modellering av erosionshastighet enligt denna princip.

Slutsatser

Vid mätning med Mullvaden med avsikt att kartera jordarter (ler och sand) tycks ca 1 kalibreringsprov per 2-3 ha vara tillräckligt för att uppnå avsevärt bättre resultat än om man tar ett vanligt jordprov per ha – oftast gör dock analys på färre prov i praktiken, vanligen inte alls. Mullhalt samt andra variabler som är korrelerade med lera tycks också ofta fungera minst lika bra som vid vanlig markkartering (K, Cu, Mg). För pH och P-AL verkar vanlig markkartering fungera bättre. Antalet fält som ingått i denna undersökning är inte så stort varför det vore intressant att utföra liknande jämförelser på fler fält.

Mullvaden kan användas för detaljerad kartering av jord med alunskifferinblandning på grund av att uranhalten då vanligen är förhöjd. Ibland är denna inblandning orsak till Cd i jord, vilket gör att Mullvaden då kan användas för att hitta lämpliga provtagningsplatser för Cd i jord och gröda.

Eftersom Mullvadens mätdjup väl sammanfaller med matjorden medan EM38-instrumentet mäter avsevärt djupare, torde en kombination av båda sensorerna kunna ge information om rumsliga variationer i markprofilen över fältet.

Referenser

Burrough, P.A. & McDonnell, R.A. 1998. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, Oxford, 333 s.

Delin S. & Söderström M., 2003. Performance of Soil Electrical Conductivity and Different Methods for Mapping Soil Data from a Small Dataset. ACTA Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci. 52, 4, 127 – 135.

Eriksson J., Söderström M. & Andersson A., 1995. Kadmiumhalter i matjorden i svensk åkermark. Naturvårdsverket, Rapport 4450.

Fornes W.L., Whiting, P.J., Wilson, C.G. & Matisoff, G., 2005. Caesium-137-derived erosion rates in an agricultural setting: the effects of model assumptions and management practices. Earth Surf. Process. Landforms, 30, 1181–1189.

IAEA, 2003. Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. International Atomic Energy Agency (IAEA). IAEA-TECDOC-1363. Vienna, Austria.

Olsson, D., & Söderström, M., 2003. An automated method to locate optimal soil sampling sites using ancillary data. Ur: A. Werner & A. Jarfe (red.), Program book of the joint conference of ECPA-ECPLF, Berlin. Poster at the 4th ECPA. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, p. 649. (poster tillgänglig på: <http://www.agrovast.se/precision/soilmap>).

Olsson, I-M., Eriksson, J., Öborn, I., Skerfving, S. & Oskarsson, A., 2005. Cadmium in Food Production Systems: A Health Risk for Sensitive Population Groups. Ambio, 34, 4-5, 344-351

Pracilio, G., Adams, M.L., Smettem, K.R.J. & Harper, R.J., 2006. Determination of spatial distribution patterns of clay and plant available potassium contents in surface soils at the farm scale using high resolution gamma ray spectrometry. Plant and Soil, 282, 1-2, 67-82.

Rosén, K., Öborn, I. & Lönsjö, H., 1999. Migration of radiocaesium in Swedish soil profiles after the Chernobyl accident, 1987-1995. Journal of environmental radioactivity, 46, 45-66.

SSI, 2007. Strålmiljön i Sverige. Statens strålskyddsinstitut (SSI). Rapport 2007:02. 139 s.

Sudduth, K.A, Drummond, S.T. & Kitchen, N.R. 2001. Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, 31, 239-264.

Sundevall, S.E., 2002. Metodbeskrivning och radonriskkarta över Göteborgs och Mölndals kommuner. SGU. Rapport 2002:27

Sutherland, R.A., 1996. Caesium- 137 soil sampling and inventory variability in reference locations: a literature survey. Hydrological Processes, 10, 43-53.

Söderström M., 2001. Användning av EM38 för förbättrad markkartering. Rapport från växtodlings- och växtskydds dagar i Växjö den 11 och 12 december 2001. Meddelande från Södra jordbruksdistriktet, nr 54, SLU-SJFD, pp. 28:1-28:5.

Söderström M. & Eriksson J.E., 2008. Gamma-ray sensing for cadmium risk assessment in agricultural soil and grain – a case study in eastern Sweden. 1st Workshop in High-resolution digital soil sensing and mapping (HRDSSM), 5-8 feb, 2008, Sydney, Australia. Workshop Program and Papers, Volume II, 8 p.

Taylor, M.J., Smettem, K.R.J., Pracilio, G. & Verboom, W.H., 2002. Relationships between soil properties and high-resolution radiometrics, central eastern Wheatbelt, Western Australia. Exploration Geophysics. 33, 2, 95-102.

Van Egmond, F. M., Loonstra, E.H. & Limburg, J., 2008. Gamma-ray sensor for topsoil mapping: the Mole. 1st Workshop in High-resolution digital soil sensing and mapping (HRDSS), 5-8 feb, 2008, Sydney, Australien. Workshop Program and Papers, Volume II, 10 p.

Wetterlind, J., Stenberg, B. & Söderström, M., 2008. The use of near infrared (NIR) spectroscopy to improve soil mapping at the farm scale. Precision Agriculture, accepted for publication. DOI 10.1007/s11119-007-9051-z.

Wilford, J. & Minty, B., 2007. The use of airborne gamma-ray imagery for mapping soils and understanding landscape processes. In: P. Lagacherie, A.B. McBratney and M. Voltz (Editors), Digital Soil Mapping – An Introductory Perspective. Developments in Soil Science, Volume 31. Elsevier, pp. 207-218.

Bilagor

IDW 1 sample/ha
48 samples

Bjertorp 21

Field size: 47 ha

	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.33	0.12	1.14	6.3	6.9	6.6	6.6	0.13	1.98	1
P-AL	0.45	0.75	1.31	2.3	8.2	3.6	3.4	0.99	27.51	1
K-AL	0.55	2.65	1.47	4.1	36	10.7	10	3.91	36.57	1
K-HCl	0.74	47.03	1.98	78	534	255.1	258	93.09	36.49	1
Mg-AL	0.58	3.62	1.53	2.4	30	10.7	10.0	5.55	51.59	1
Cu-HCl	0.78	2.35	1.75	6.2	24	13.3	13	4.12	31.01	1
Ca-AL	0.47	21.75	1.39	79	250	183.7	190	30.14	16.41	1
SOM	0.54	0.61	1.48	0.3	4.6	2.4	2.3	0.89	37.62	1
Clay	0.55	4.26	1.48	9	42	27.0	28	6.30	23.35	1
Silt	0.64	5.78	1.57	22	63	49.7	52.0	9.08	18.28	1
Sand	0.68	8.05	1.74	9	69	23.4	18	14.01	59.93	1
SOM	0.40	0.73	1.22	0.3	4.6	2.4	2.3	0.89	37.62	2
Clay	0.56	4.50	1.40	9	42	27.0	28	6.30	23.35	2
SOM-ECa	0.33	0.78	1.14	0.3	4.6	2.4	2.3	0.89	37.6	3
Clay-ECa	0.38	5.97	1.06	9.0	42.0	27.0	28.0	6.30	23.4	3
Clay-Mg	0.54	4.28	1.47	9.0	42.0	27.0	28.0	6.30	23.4	4

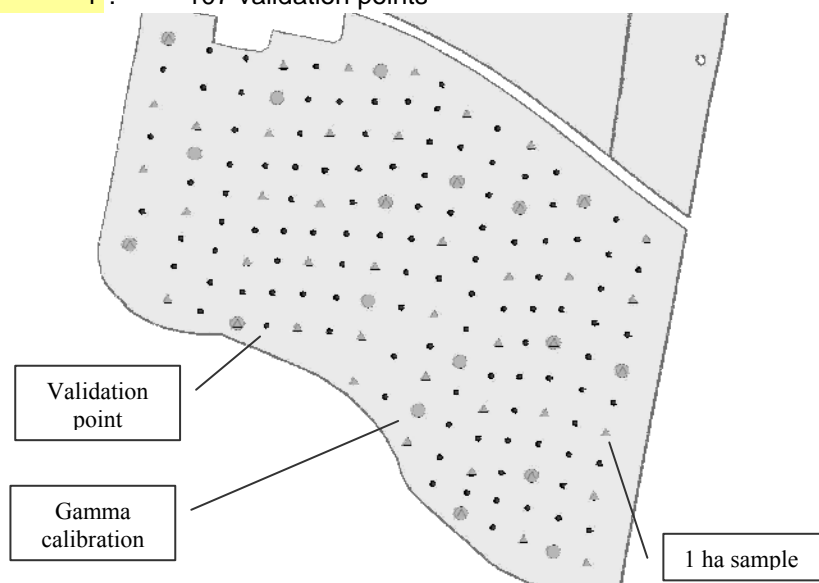
- 1 : 107 validation points
 2 : IDW from 18 samples. 107 validation points
 3 : Corr with ECa in 18 samples. 107 validation points
 4 : Corr with Mg-AL in 18 samples. 107 validation points

Gamma

18 calibration points

	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.07	0.15	0.85	6.3	6.9	6.6	6.6	0.13	1.98	1
P-AL	0.04	1.10	0.90	2.3	8.2	3.6	3.4	0.99	27.51	1
K-AL	0.53	2.71	1.44	4.1	36	10.7	10	3.91	36.57	1
K-HCl	0.78	51.67	1.80	78	534	255.1	258	93.09	36.49	1
Mg-AL	0.66	3.75	1.48	2.4	30	10.7	10.0	5.55	51.59	1
Cu-HCl	0.61	2.60	1.58	6.2	24	13.3	13	4.12	31.01	1
Ca-AL	0.24	26.30	1.15	79	250	183.7	190	30.14	16.41	1
SOM	0.37	0.75	1.19	0.3	4.6	2.4	2.3	0.89	37.62	1
Clay	0.73	3.32	1.90	9	42	27.0	28	6.30	23.35	1
Silt	0.64	6.61	1.37	22	63	49.7	52	9.08	18.28	1
Sand	0.69	7.92	1.77	9	69	23.4	18	14.01	59.93	1

- 1 : 107 validation points



Bilaga 1a.
Resultat från
valideringen.

Fält 1

Samples at Bjertorp 21

IDW 1 sample/ha
26 samples

Bjertorp 34

Field size: 25 ha

	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.05	0.12	1.01	6.4	7.1	6.9	7.0	0.13	1.82	1
P-AL	0.54	0.78	1.48	2.2	7.2	3.8	3.4	1.15	30.54	1
K-AL	0.13	3.18	1.05	16	34	22	22	3.34	14.98	1
K-HCl	0.22	45.23	0.93	331	497	419.0	422.5	41.96	10.01	1
Mg-AL	0.63	7.19	1.53	17	60	43	44.5	11.02	25.40	1
Cu-HCl	0.45	1.16	1.23	12	18	14	14.5	1.42	9.83	1
Ca-AL	0.49	21.37	1.34	200	320	257.7	260	28.60	11.10	1
SOM	0.46	0.64	1.29	0.4	4.6	2.9	3.0	0.82	28.12	1
Clay	0.51	5.85	1.33	30	59	47.9	48	7.76	16.20	1
SOM	0.55	0.71	1.16	0.4	4.6	2.9	3.0	0.82	28.12	2
Clay	0.27	6.63	1.17	30	59	47.9	48	7.76	16.20	2

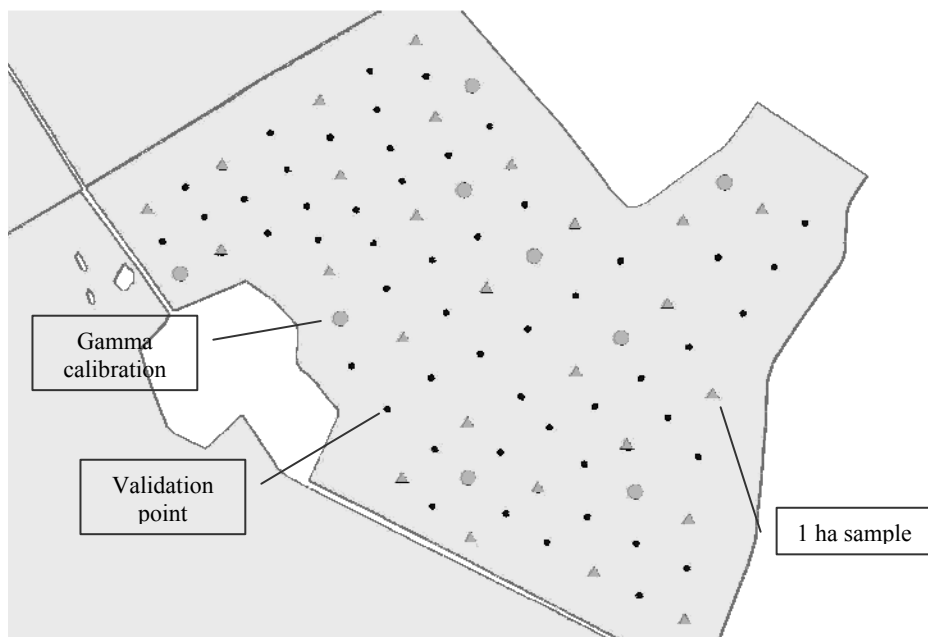
1 : 52 validation points
2 : IDW from 9 samples. 52 validation points

Gamma

9 calibration points

	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.01	0.23	0.56	6.4	7.1	6.9	7.0	0.13	1.82	1
P-AL	0.05	1.27	0.90	2.2	7.2	3.8	3.4	1.15	30.54	1
K-AL	0.13	6.26	0.53	16	34	22.3	22	3.34	14.98	1
K-HCl	0.47	33.11	1.27	331	497	419.0	423	41.96	10.01	1
Mg-AL	0.63	7.50	1.47	17	60	43.4	44.5	11.02	25.40	1
Cu-HCl	0.27	1.48	0.96	12	18	14.4	15	1.42	9.83	1
Ca-AL	0.52	21.21	1.35	200	320	257.7	260	28.60	11.10	1
SOM	0.59	0.64	1.27	0.4	4.6	2.9	3.0	0.82	28.12	1
Clay	0.57	5.19	1.50	30	59	47.9	48	7.76	16.20	1

1 : 52 validation points



Bilaga 1b.
Resultat från
valideringen.

Fält 2

Samples at Bjertorp 34
IDW 1 sample/ha Ribbingsberg Field size: 16 ha
16 samples

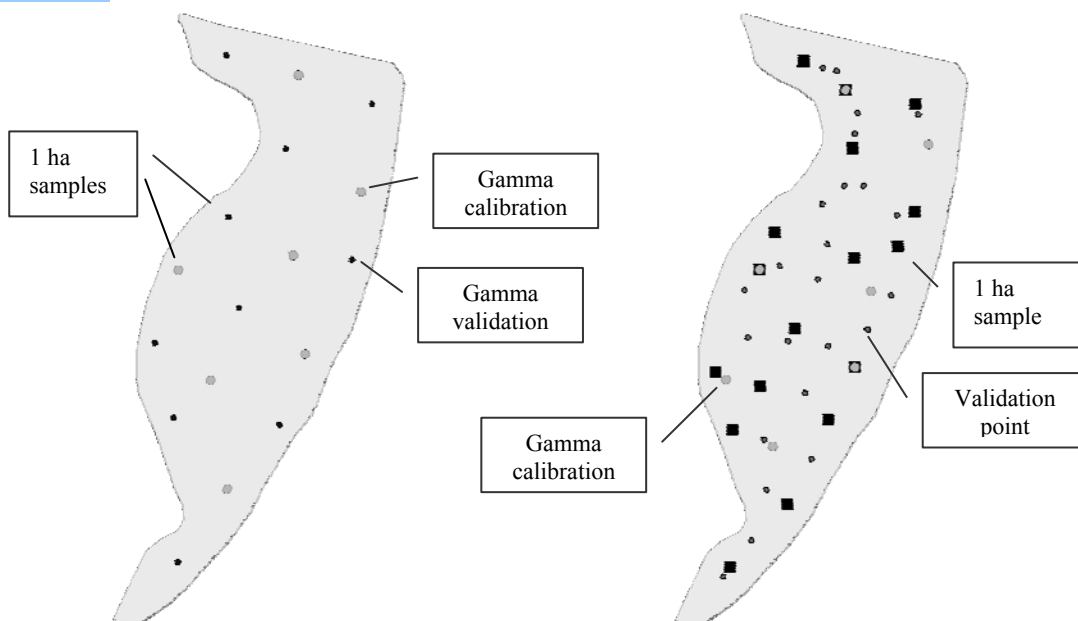
	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.36	0.27	1.25	5.6	6.6	6.2	6.3	0.34	5.51	1
P-AL	0.03	2.24	1.03	5.8	15	9.9	9.9	2.29	23.19	1
K-AL	0.38	4.34	1.28	7.3	27	18.8	20	5.56	29.53	1
K-HCl	-0.09	40.78	0.97	89	230	173.1	182	39.66	22.92	1
Mg-AL	-0.05	2.31	0.94	3.7	13	6.6	6.2	2.17	32.89	1
Cu-HCl	0.48	3.96	1.28	7.3	28	17.7	17	5.06	28.53	1
Ca-AL	0.09	41.73	1.07	79	270	185.2	180	44.47	24.00	1
SOM	0.79	3.17	1.84	1.7	20.3	9.2	8.7	5.84	63.47	2
Clay	0.16	6.26	1.06	12	37	22.1	23	6.67	30.14	2
Silt	0.51	6.76	1.37	27	61	47.4	50.5	9.29	19.59	2
Sand	0.57	9.53	1.53	8	59	30.5	25	14.58	47.85	2

1 : cross-validation 17 samples
2 : 24 validation points

Gamma
7 calibration points

	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.51	0.26	1.25	5.7	6.6	6.2	6.3	0.32	5.24	1
P-AL	0.01	3.80	0.59	5.8	14	9.7	9.5	2.25	23.11	1
K-AL	0.61	4.06	1.44	7.3	27	19.0	20	5.84	30.68	1
K-HCl	0.26	40.36	1.09	89	218	169.9	186	43.95	25.87	1
Mg-AL	0.00	2.43	0.69	3.7	10	6.1	6.0	1.69	27.49	1
Cu-HCl	0.81	3.43	1.71	7.3	28	17.6	18	5.87	33.30	1
Ca-AL	0.28	42.19	1.16	79	270	180.9	180	49.10	27.14	1
SOM	0.86	2.15	2.72	1.7	20.3	9.2	8.7	5.84	63.47	2
Clay	0.74	3.46	1.93	12	37	22.1	23	6.67	30.14	2
Silt	0.64	6.43	1.44	27	61	47.4	51	9.29	19.59	2
Sand	0.81	6.73	2.17	8	59	30.5	25	14.58	47.85	2

1 : 10 validation points
2 : 24 validation points



a) Nutrients

b) Grain size and organic matter

IDW 1 sample/ha Halland bce (3 fields) Field size: 35 ha
35 samples (18 samples for SOM & Clay)

	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.90	0.11	3.27	5.9	6.9	6.5	6.7	0.37	5.65	1
P-AL	0.91	1.81	3.39	3.2	24	10.6	7.3	6.15	57.75	1
K-AL	0.80	2.05	2.26	8.1	26	14.9	15	4.62	31.09	1
Mg-AL	0.82	2.19	2.35	5.9	23	13.2	10.7	5.16	39.14	1
Ca-AL	0.95	16.53	4.35	56	250	165.2	200	71.96	43.56	1
SOM	0.47	0.31	1.38	3.9	5.5	4.7	4.6	0.43	9.23	2
Clay	0.94	2.63	4.31	15	50	32.2	27	11.32	35.18	2

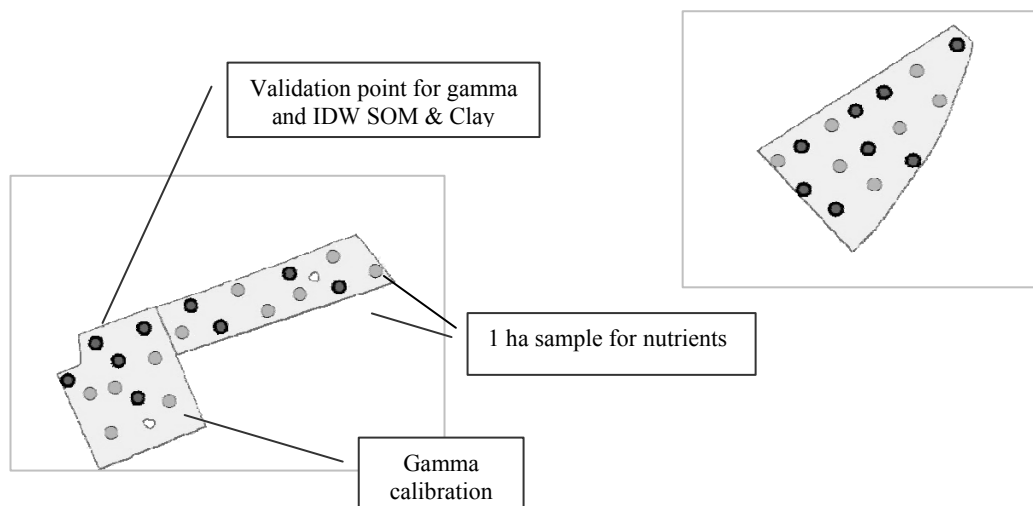
1 : Cross validation
2 : 17 validation points

Gamma

18 calibration points

	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.89	0.15	2.56	5.9	6.9	6.4	6.6	0.38	5.86	1
P-AL	0.86	2.94	2.13	3.4	19.5	11.0	7.0	6.26	57.02	1
K-AL	0.90	1.42	2.81	8.1	20	14.0	15	4.00	28.66	1
Mg-AL	0.91	2.18	2.51	7	23	13.4	10.1	5.48	40.85	1
Ca-AL	0.95	19.48	3.58	72	240	155.6	180	69.66	44.78	1
SOM	0.07	0.53	0.82	3.9	5.5	4.7	4.6	0.43	9.23	1
Clay	0.91	3.55	3.19	15	50	32.2	27	11.32	35.18	1

1 : 17 validation points



Samples at Halland field c,e (left) and b (right)

Data for Halland (above) except field b. Interpolation of soil samples only from gamma calibration points (0.5 samples/ha).

IDW 0.5 sample/ha 11 samples	Halland ce (2 fields)					Field size: 20 ha				
	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.17	0.08	1.08	6.6	6.9	6.8	6.8	0.09	1.28	1
P-AL	0.51	0.78	1.35	3.4	7	5.3	5.2	1.06	19.76	1
K-AL	0.78	1.01	1.86	15	20	17.3	18	1.87	10.79	1
Mg-AL	0.76	2.19	1.87	9.5	23	17.6	18.0	4.09	23.23	1
Ca-AL	0.24	18.04	1.07	180	240	217.8	220	19.22	8.83	1
SOM	0.88	0.22	2.24	3.9	5.5	4.6	4.6	0.48	10.46	1
Clay	0.89	1.36	2.95	15	27	22.4	23	4.00	17.84	1

1 : 9 validation points
0.5 sample / ha

Gamma

11 calibration samples

	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.03	0.09	0.96	6.6	6.9	6.8	6.8	0.09	1.28	1
P-AL	-0.02	3.00	0.35	3.4	7	5.3	5.2	1.06	19.76	1
K-AL	0.54	1.53	1.22	15	20	17.3	18	1.87	10.79	1
Mg-AL	0.75	2.68	1.53	9.5	23	17.6	18.0	4.09	23.23	1
Ca-AL	0.10	23.64	0.81	180	240	217.8	220	19.22	8.83	1
SOM	0.16	0.57	0.86	3.9	5.5	4.6	4.6	0.48	10.46	1
Clay	0.71	2.79	1.43	15	27	22.4	23	4.00	17.84	1

1 : 9 validation points

IDW 1 sample/ha
 20 samples

Sjöstorp

Field size: 21 ha

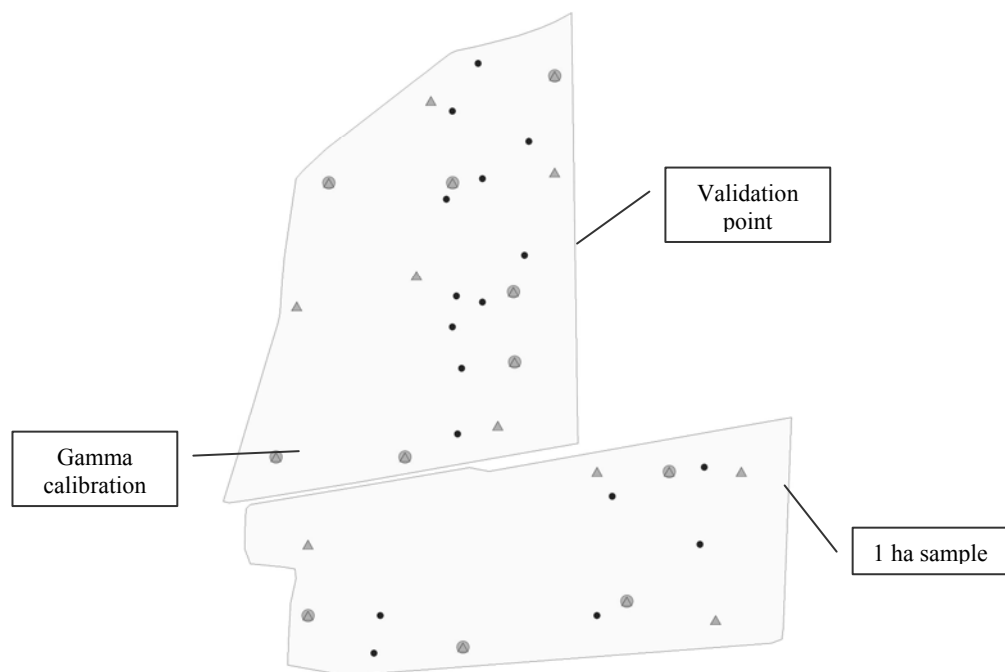
	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.55	0.24	1.88	6.3	7.6	7.0	7.0	0.45	6.43	1
P-AL	0.13	7.40	0.74	4.9	23	12.5	12.0	5.44	43.49	1
K-AL	0.52	5.53	1.22	9	32	21	20	6.74	31.89	1
Mg-AL	0.05	14.91	0.87	4	44	17	11.0	13.04	78.16	1
Ca-AL	0.36	201.15	1.15	160	960	376.2	300	232.3	61.74	2
SOM	0.41	1.12	1.16	2.2	5.8	3.9	3.3	1.30	33.58	1
Clay	0.34	13.33	1.07	14	52	32.6	32	14.32	43.87	1
Sand	0.39	15.89	1.19	14	73	39.5	43.0	18.88	47.77	1

1 : 17 validation points, irregularly distributed
 2 : 13 validation points, irregularly distributed

Gamma
 11 calibration points

	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.58	0.40	1.13	6.3	7.6	7.0	7.0	0.45	6.43	1
P-AL	0.01	7.14	0.76	4.9	23	12.5	12.0	5.44	43.49	1
K-AL	0.28	5.72	1.18	9	32	21	20	6.74	31.89	1
Mg-AL	0.57	11.42	1.14	4	44	17	11.0	13.04	78.16	1
Ca-AL	0.81	90.52	2.57	160	960	376.2	300	232.3	61.74	2
SOM	0.50	1.19	1.09	2.2	5.8	3.9	3.3	1.30	33.58	1
Clay	0.92	4.12	3.48	14	52	32.6	32	14.32	43.87	1
Sand	0.95	4.74	3.99	14	73	39.5	43.0	18.88	47.77	1

1 : 17 validation points, irregularly distributed
 2 : 13 validation points, irregularly distributed



Samples at Sjöstorp

IDW 1 sample/ha Linköping 9025 Field size: 16 ha
 16 samples

	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.52	0.10	1.48	7.6	8.0	7.8	7.8	0.14	1.83	1
P-AL	0.73	9.18	1.82	8.3	72	20.0	14.5	16.71	83.50	2
K-AL	0.85	4.10	2.21	6.2	39	16.3	15.5	9.06	55.64	2
Mg-AL	0.42	7.17	1.34	3.4	37	14.6	14.0	9.63	66.21	2
Ca-AL	0.34	481.79	1.27	440	2000	1578.6	2000	612.86	38.82	2
SOM	0.18	0.68	0.96	3.9	6.4	5.1	5.2	0.66	12.84	2
Clay	0.76	2.89	2.05	9	28	21.1	23.5	5.95	28.13	2
Sand	0.75	3.96	1.87	30	53	37.4	36	7.39	19.77	2

1 : 11 validation points
 2 : 14 validation points 2 8 samples with 2000 (max)

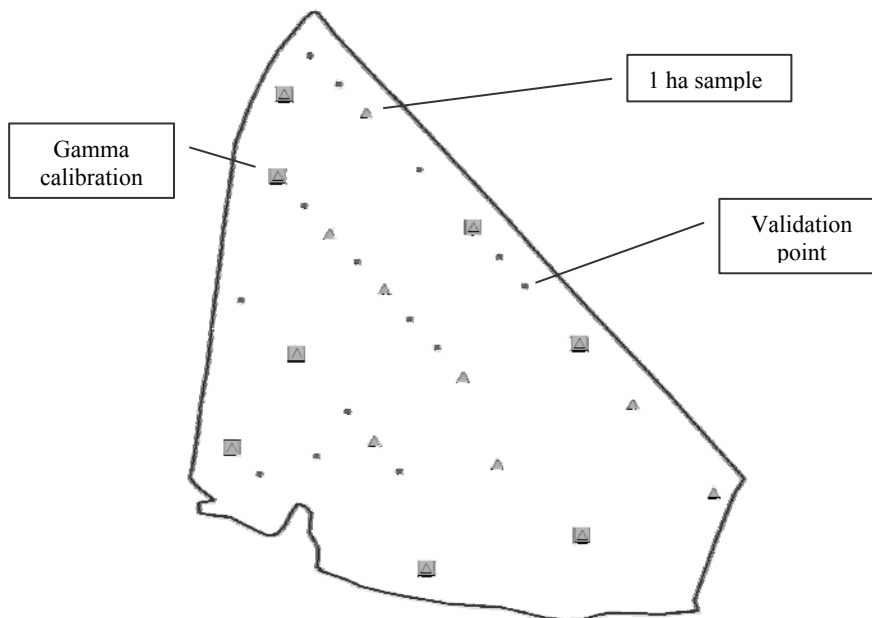
Gamma
 8 calibration points

	r2	RMSEP	RPD	Min	Max	Mean	Median	SD	CV	Note
pH	0.36	0.19	0.73	7.6	8	7.8	7.8	0.14	1.83	1
P-AL	0.63	10.06	1.66	8.3	72	20.0	14.5	16.71	83.50	2
K-AL	0.40	7.24	1.25	6.2	39	16.3	16	9.06	55.64	2
Mg-AL	0.14	8.83	1.09	3.4	37	14.6	14.0	9.63	66.21	2
Ca-AL	0.20	623.46	0.98	440	2000	1578.6	2000	612.86	38.82	2
SOM	-0.04	1.88	0.35	3.9	6.4	5.1	5.2	0.66	12.84	2
Clay	0.73	3.71	1.60	9	28	21.1	24	5.95	28.13	2
Sand	0.32	6.59	1.12	30	53	37.4	36	7.39	19.77	2

1 : 11 validation points
 2 : 14 validation points 2 8 samples with 2000 (max)

Bilaga 1f.
 Resultat från
 valideringen.

Fält 6



Samples at Linköping 9025

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.

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 torrsubstansavkastning 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 handburensensor 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. Svenska Lantmännen, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Svalöf Weibull AB, Yara AB, hushållningssällskap, Nordkalk AB och Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI).

Distribution:

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för markvetenskap

Avdelningen för precisionsodling

Box 234

532 23 Skara

Tel. 0511-670 00

Internet: <http://po-mv.slu.se>

<http://www.agrovast.se/precision>