

Markkartering anpassad för precisionsodling

Farm soil mapping for precision agriculture



Emma Eriksson

Precisionsodling
2008:3
Skara

ISBN 978-91-85911-77-6 (tryck)
ISBN 978-91-85911-78-3 (pdf)

FÖRORD

Detta examensarbete på 30 hp genomfördes inom agronomprogrammet, inriktning mark/växt. Arbetet ingår i ett projekt finansierat av SLF utfört vid Precisionsodlingsgruppen i Skara, Institutionen för mark och miljö. Målet med studien är att med nära infraröd reflektans (NIR) spektroskopi minska antalet jordprov som analyseras på konventionell väg och därmed sänka kostnaden.

Jag vill rikta ett jättestort tack till min handledare Johanna Wetterlind som trots mammaledighet har ställt upp och läst och svarat på frågor i alla lägen. Jag vill också tacka Johan och Lisbeth på Lanna som hjälpte till med jordprovtagningen, Lars Ingemarsson som upplät sitt fält till oss, Mats Söderström som hjälpt mig med Arc GIS samt min examinator Bo Stenberg som har gett mig mycket feedback och hjälp mig att resonera kring resultaten.

Emma Eriksson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	1
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	2
SAMMANFATTNING	3
SUMMARY	4
INLEDNING	5
SYFTE	7
BAKGRUND	8
PRECISIONSODLING	8
<i>Precisionskalkning</i>	8
LER- OCH MULLHALT	9
MARKKARTERING	12
NIR.....	13
MULTIVARIAT STATISTIK	14
<i>PCA</i>	14
<i>PLS</i>	16
GEOSTATISTIK	17
MATERIAL OCH METODER	18
JORDPROVTAGNING.....	18
NIR ANALYSER	20
JORDARTSKARTOR	22
RESULTAT	23
NIR-MODELLVALIDERING.....	23
INTERPOLERING AV KARTOR.....	24
KARTVALIDERING	28
KALKBEHOVSBERÄKNINGAR	29
FÄLTMÄTNINGAR	31
DISKUSSION	32
NIR-MODELLVALIDERING.....	32
KARTVALIDERING	32
KALKKARTOR.....	33
FÄLTMÄTNINGARNA	33
SLUTSATSER	35
LITTERATUR	36

SAMMANFATTNING

Att markkartera är ett sätt att skaffa information om hur variationen i textur, mullhalt och viktiga växtnäringsämnen ser ut på skiftesnivå. Med kunskap om hur åkerns förutsättningar varierar kan insatserna t.ex. kalkning och PK-gödning justeras vilket kan leda till både bättre kvalitet, mindre miljöpåverkan och bättre ekonomi.

Dagens analysmetoder vid markkartering är både dyra och tidskrävande. För att få jordbrukare att använda sig av en markkartering med tätare provtagning som är bättre anpassad för precisionsodlingsåtgärder krävs en metod med hög kvalitet till ett rimligt pris. Målet med studien var att minska antalet jordprov som analyseras på konventionellt sätt genom att göra lokala kalibreringar för ler och mullhalt med nära infraröd reflektans (NIR) spektroskopi och därmed sänka kostnaden. Resultaten utvärderades genom att jämföra ler-, mullhalts och kalkbehovskartor från traditionell markkartering med NIR-strategin.

Studien ägde rum på Bränneberg, en gård ca 25 km väster om Skara och skiftet som markkarterades var på 68,5 ha. Vid traditionell markkartering tas ca 1 prov/ha och jordart analyseras ofta på vart annat prov. Detta innebar 34 prov för att bestämma ler- och mullhalt enligt traditionell markkartering i denna studie. Med NIR-strategin togs 138 prov (2 prov/ha) som alla mättes med NIR i labb. Tjugofem av dessa analyserades även på traditionellt vis och ingick i kalibreringen av NIR-modeller som sedan användes för att prediktera de resterande 113 proven. I och med snabba och billiga NIR-mätningar och färre traditionella analyser kan NIR-strategin användas till ungefär samma kostnad som den traditionella markkarteringen trots att betydligt fler jordprov ingår. Studien innefattade också NIR-kalibreringar för mätningar gjorda direkt i fält vilket skulle kunna sänka kostnaden ytterligare.

Tidigare studier med lokala NIR-kalibreringar på gårdsnivå har visat på goda korrelationer mellan ler- och mullhalter analyserade på traditionellt vis och bestämda med NIR-teknik. I denna studie blev kartvalideringen något bättre för NIR-modellen än den traditionella markkarteringen. Korrelationerna mellan beräknade och uppmätta ler- och mullhalt var dock inte lika bra som i tidigare studier. Detta kan förklaras av att variationen i fält var väldigt liten, lerhalten rörde sig mellan 37 och 59 % och mullhalten mellan 3.0 och 4.9 %. Felen i NIR-modellerna var däremot låga (0,13 % mull och som bäst 2,95 % ler) och jämförbara med tidigare studier. Denna studie tillsammans med tidigare studier visar att NIR strategin har potential. Den största nyttan finns dock på fält med större variation än fältet i denna studie. NIR-modellerna konstruerad efter mätningar direkt i fält såg bra ut i jämförelse med modellerna gjord efter labbmätningarna vilket är lovande för vidare utveckling av fältmätningar.

SUMMARY

Farm-soil mapping is a method to get information about clay content, soil organic matter (SOM) and nutrients in agricultural fields. It is also important to see how these factors vary within the fields. With this knowledge it is possible to use site-specific liming and fertilization. This can give better quality, better economy and less environmental impact.

The methods of today for farm-soil mapping are both expensive and time-consuming. To motivate farmers to take soil samples at a higher spatial resolution suitable for precision agriculture we need a cost-effective farm-soil mapping strategy with high quality. The aim of this study was to minimize the number of soil samples analyzed with traditional methods by using local NIR-calibrations to reduce the costs. The results are presented as field maps interpolated using kriging, showing the content of clay, SOM and the demand of lime for increasing pH one unit. These maps made by NIR-predicted clay and SOM were compared with field maps interpolated from traditional farm-soil mapping.

The study was conducted on a 68.5 ha field on Bränneberg farm, 25 km west of Skara. The sample density for traditional farm-soil mapping in Sweden is about one sample per hectare and texture and organic matter is often only performed on every second sample. Traditional mapping resulted in 34 samples on this field but for the NIR-method the aim was a sample density of 2 samples per hectare. Thus, 138 samples were taken for NIR analyses and 25 samples of these were analysed by traditional laboratory methods and used for calibrating NIR models for prediction of the resulting 113 samples. Because of very rapid and simple NIR-technique this high resolution strategy would add to approximately the same costs as the traditional farm-soil mapping. The study also included NIR-calibrations from measurements made directly in the field which would be a way to reduce the costs even more.

Earlier studies with local NIR-calibrations have showed good correlations between NIR-predicted and traditionally measured clay and SOM contents. In this study, the field map validation was slightly better for the NIR strategy compared to the traditional method. However, the correlations between NIR-predicted and traditionally measured clay and SOM were less convincing. This can be explained by the low within field variation, the clay content varied between 37 and 59% and the amount of SOM was between 3.0 and 4.9%. The prediction errors, on the other hand, were low (0.13 % SOM and at best 2.95 % clay) and comparable to earlier studies. Together with earlier studies it is possible to say that the strategy has a potential. The benefits are, however, larger on fields with a more pronounced variation than in the field in this study. For the in-field study the validations of the NIR calibrations from NIR spectra measured directly in the field were good compared to the measurements made in the laboratory which is encouraging for the development of in-field measurements.

INLEDNING

I takt med att lantbruket intensifieras och gårdarna blir större försämras kunskapen om enskilda odlingsskiftens bakgrund och egenskaper (Lundström et al., 2001). Ett skifte kan idag bestå av en sammanslagning av ett antal mindre skiften. Att ett fält som har tillhört olika brukningsenheter har olika odlingshistoria, markegenskaper och således växlande odlingsförutsättningar är ett rimligt antagande. Skiftena kan t.ex. ha varit gödslade med olika intensitet, jordarten kan skifta, och topografi och pH kan variera.

Att markkartera är ett sätt att ta reda på hur variationen ser ut på skiftesnivå vilket är något de flesta lantbrukare gör (Lundström et al., 2001). Det är dock ett väsentligt mindre antal som verkligen använder den information som markkarteringen ger (Olsson 2008). Med kunskap om hur åkerns förutsättningar varierar kan insatserna t.ex. kalkning och PK-gödsling justeras. Detta kan göras antingen manuellt av föraren eller för betydligt bättre noggrannhet med hjälp av ett globalt positioneringssystem (GPS) och styrfiler. Det är inte säkert att mängden insatsmedel minskar totalt men om det fördelas på ett sätt som är anpassat efter fältets förutsättningar kan både jämnare kvalitet på grödan och mindre miljöpåverkan förväntas.

Dagens analysmetoder vid markkartering är både dyra och tidskrävande. För att få jordbrukare att använda sig av en intensivare markkartering som grund för precisionsodlingsåtgärder krävs en metod med hög kvalitet till ett rimligt pris (Chang et al., 2001). Idag tas ett prov per hektar vid markkartering och oftast görs ler- och mullhaltsanalys bara på vartannat prov (Albertsson 2007). Om insatsmedel så som gödning och kalk skall anpassas på fältnivå behöver informationen vara mer detaljerad vilket innebär att antalet provpunkter vid markkartering behöver ökas jämfört med vad som är praxis idag. Detta gäller också vid de geostatistiska analyser som ofta används för att konstruera markkartor. Hur många prov som verkligen behövs beror på variationen i fält (Wetterlind et al., 2008).

Ett sätt att täcka in variationen bättre, trots ganska få provpunkter, vid markkartering är att ta hjälp av annan information som registrerats betydligt tätare och är korrelerad med de markparametrar som är av intresse (Wetterlind et al., 2008). Exempel på detta kan vara skördekartering där avkastningen mäts kontinuerligt under tröskningen. På så sätt fås ett kvitto på hur avkastningen varierar över fältet. En körning med Yara N-sensor som mäter ljusreflektans från grödan vilket korrelerar med kväveinnehåll ger en bild av fältets variation i avkastningspotential/kvävelevererande förmåga. Att kartera fältet med EM38 som genom ett magnetfält mäter markens elektriska ledningsförmåga ger en bild av framförallt lerhaltsvariation. Oavsett metod så registreras alla mätningar med GPS och efteråt kan en karta skapas som visar fältets variation. Provpunkter vid markkartering väljs sedan ut utifrån fältets variation.

Detta examensarbete görs inom ett projekt på enheten för precisionsodling och pedometri i Skara, institutionen för Mark och miljö. Målet med studien är att med nära infraröd reflektans (NIR) spektroskopi minska antalet jordprov som analyseras på konventionell väg och därmed sänka kostnaden. I detta ingår att hitta strategier för att täcka in så mycket som möjligt av variationen med så få prov som möjligt samt att jämföra olika metoder för utplacering av referensprov. Detta arbete koncentreras på en av projektets gårdar. Informationen i markkartor skapade utifrån NIR-mätningar och prediktionsmodeller jämförs med kartor gjorda med ut-

gångspunkt från traditionell markartering med ett halvt prov per hektar. Både genom jämförelse med kartvalideringsprover och vilka skillnaderna blir vid praktisk tillämpning för att skapa en styrfil för kalkspridning.

SYFTE

Målet med detta examensarbete är att med NIR teknik skapa säkrare och tätare jordprovtagning med avseende på ler- och mullhalt vid markartering än vad som görs idag, men till samma kostnad. Om detta kan åstadkommas skulle det leda till att mer av den verkliga variationen i fält kan fångas upp och ge bättre underlag för precisionsodlingsåtgärder, t.ex. gödning och kalkning.

De traditionella jordartsanalyserna utgör en stor utgiftspost och därför blir ett viktigt mål att analysera så få prov som möjligt på labb för att hålla nere kostnaden. Betydligt fler prov än vad som tas vid en traditionell markartering kommer däremot att analyseras med NIR. Ler- och mullhalt kommer utifrån dessa mätningar att predikteras med modeller byggda på ett antal referensprov som förutom NIR analyser även är analyserade med traditionella jordartsanalyser. Variationen i fält måste täckas in för att få så bra prediktioner som möjligt (Wetterlind et al., 2008). En EM-38 körning som mäter markens elektriska konduktivitet kommer därför att ligga till grund för placering av provpunkter och för valet av referensprov.

Resultaten från en tätare provtagning kommer att jämföras med traditionell markartering och presenteras i form av ler- och mullhaltskaror. För att få en uppfattning om hur stor betydelse detta har i praktiken kommer klakbehovskartor beräknas utifrån tidigare nämnda resultat.

Frågeställningarna blir då hur kartor gjorda med en tätare provtagning och NIR analys skiljer sig från traditionell markartering. Vad detta betyder i praktiken och vilken vi tror mest på.

I dagsläget tas jordproverna in på labb precis som vid traditionell markartering men ett mål längre fram är att kunna mäta NIR direkt ute i fält. Som ett led i detta kommer NIR mätningar gjorda på labb här att jämföras med mätningar gjorda direkt ute i fält.

BAKGRUND

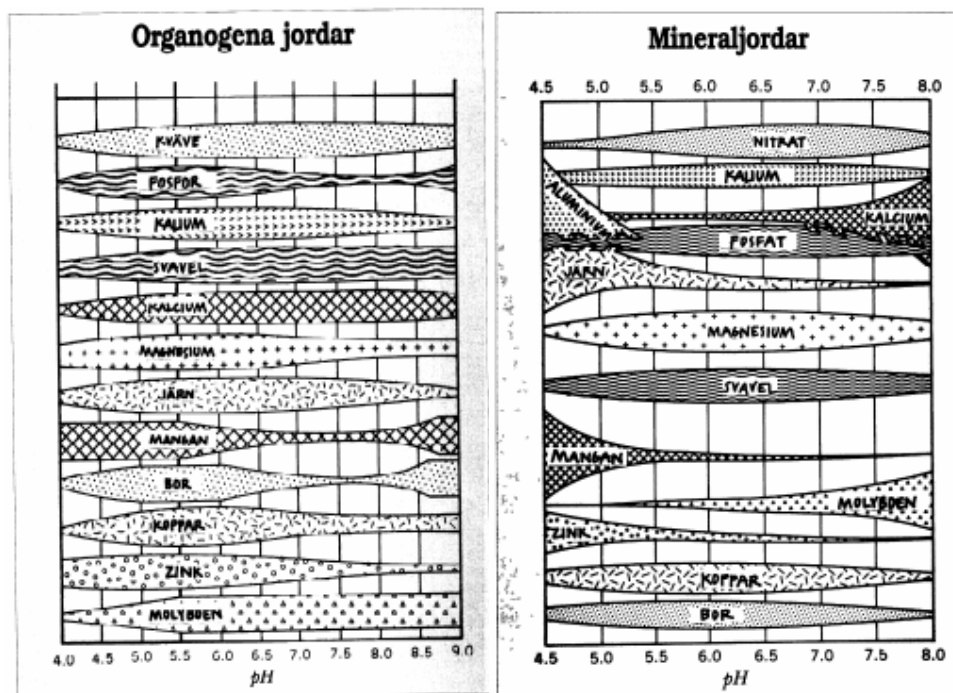
Precisionsodling

Precisionsodling innebär en växtplatsanpassad odling där lokala förutsättningar styr odlingsåtgärderna (Lundström et al., 2001). Den minskade kunskapen om fältens historia och egenskaper leder till att insatser ofta görs generellt och inte utifrån behovet. Med precisionsodling är målet att bättre precision i insatserna skall leda till ökad effektivitet och därigenom bättre resultat och resursutnyttjande (Lundström et al., 2001). Kan man styra gödsling, kalkning, jordbearbetning och bekämpning på ett bättre sätt skulle avkastning och kvalitet kunna optimeras. Minskad andel liggsäd, lägre falltal och jämnare proteinhalt är exempel på den direkta nyttan lantbrukaren kan ha av precisionsodling. Det är inte säkert att andelen gödselmedel minskar totalt sett men att sprida på ett smartare sätt och få bättre resursutnyttjande (fosfor är en ändlig resurs) och mindre nitratutlakning ligger i både lantbrukets och samhällets intresse. I år ökar även den ekonomiska aspekten i detta då fosforpriset har ökat inför säsongen som följd av en ökad efterfrågan på världsmarknaden (Gustavsson, K., 2008). En högre prisbild ökar lönsamheten i att bara tillföra fosfor på fältdelar med låga P-AL tal.

Det forskas ganska mycket kring precisionsodling och det finns flera tillämpbara applikationer, de flesta handelsgödselspridare, sprutor och kalkspridare kan utrustas så att de via en dator kan regleras med en styrfil. Men den praktiska tillämpningen är fortfarande relativt liten (Olsson, 2008). Några förklaringar är att många både rådgivare och lantbrukare har svårt att se den faktiska nyttan och vill se mer objektiv information, mer storskaliga fältförsök. Driftsäkerheten är också en faktor då det kan vara komplicerat med olika inställningar och kalibreringar som behövs av maskinerna. De som oftast använder sig av precisionsodling är lantbrukare med stort teknikintresse och ganska stor areal. Geografiskt område spelar också roll då utbudet av entreprenörer skiftar.

Precisionskalkning

Ett gott kalktillstånd är viktigt för jordens bördighet då både växternas förmåga att tillgodogöra sig växtnäring samt jordens brukningsegenskaper påverkas (Albertsson 2007). Vid lågt pH ökar lösligheten av aluminium vilket kan vara skadligt för växterna, olika arter är olika känsliga. Vidare kan för höga pH-värden göra att viktiga näringsämnen (särskilt mikronäringsämnen) fastläggs (fig. 1).



Figur 1. Växtnäringsämnenas löslighet vid olika pH-värden, (www.vaxteko.se).

Kalktillståndet hos en jord anges av pH-värdet, detta ger dock inte i sig någon information om kalkbehov utan måste sammankopplas med ler- och mullhalt (Albertsson 2007). Att kalkbehovet kan variera mycket inom ett och samma fält hänger ihop med skillnader i ler- och mullhalt samt pH (Gustafsson, 1999). Utifrån rådande pH och odlingsinriktning bestäms hur många enheter man behöver höja värdet medan ler- och mullhalt avgör hur mycket kalk det går åt för att uppnå detta. Ju högre ler- och mullhalt desto mer kalk behövs eftersom mycket kalciumjoner kan bindas in till jordkolloiderna. Även basmättnadsgrad kan ligga till grund för kalkningsrekommendationer men då detta är en dyrare analys används det inte i praktiken (Albertsson 2007). Bestämning av lerhalt kan även ske genom en indirekt metod där man utgår från K-HCl talet. Denna korrelation varierar dock med olika jordar och att beräkna lerhalt utifrån detta innebär en viss osäkerhet.

När kalkgivan bestäms som en medelgiva för hela fältet är risken stor att vissa ställen får för högt pH och andra för lågt. Många entreprenörer som sprider kalk har idag GPS vilket gör det ganska enkelt att anpassa kalkgivan utifrån markkarteringen. En kalkbehovskarta och styrfil kan konstrueras och sedan reglera spridaren (Lundström et al., 2001). Vid försök på Bjertorp i Västergötland hade ett skifte pH-värden mellan 5,3 och 6,5 samt stora skillnader i ler- och mullhalt. Beräknat kalkbehovet varierade mellan 0 och 12 ton per hektar. Ett år efter precisionskalkning på detta skifte var pH-värdet betydligt jämnare och varierade mellan 6,2 och 6,8 (Lundström et al., 2001).

Ler- och mullhalt

Ler- och mullhalt har stor betydelse för jordens odlingsförutsättningar. Detta beror till stor del på dess innehåll av jordkolloider. Kolloider kan ha sitt ursprung i orga-

niskt material eller mineral, karakteristiskt är att de är små partiklar som inte sedimenterar uppslammade i vatten, <0,001 mm (Brady et al., 2002). Kolloider har en mycket stor yta, 1000 gånger större per massenhet än ett sandkorn. Lerkolloider är platta mineralpartiklar med en diameter mindre än 0,002 mm (definitionen för ler). Genom isomorph substitution (utbyte av joner) eller oxidföreningar är dessa elektriskt laddade på ytan. Humus är vad som återstår när organiskt material omsatts av mikroorganismer, humuspartiklar räknas som stabila föreningar och utgör 60-80 % av det organiska materialet i marken. Dessa karakteriseras av att de ofta innehåller aromatiska ringar, organiska syror och OH-grupper vilket gör att de också är elektriskt laddade.

Jordkolloidernas laddning fyller många viktiga funktioner i våra jordar. Aggregatbildning i lerjordar sker genom att kolloiderna kommer så nära varandra att attraktionskrafter uppstår och de klumpar ihop sig. Utan aggregatbildning skulle lerjordar vara mycket svårödlade. De skulle bli så kompakta att dräneringsförmågan skulle bli mycket liten, rötterna skulle få svårt att tränga igenom marken och syresättning av markluften skulle bli låg (Arvidsson och Pettersson 1995).

Till negativa laddningar, framförallt på lerkolloider binds katjoner som har stort värde för jordens växtnäringsförsörjning t.ex. K^+ , Mg^{2+} och Ca^{2+} . Lerhalten kan variera i ett ganska stort spann (tabell 1) detta förklarar de stora skillnader i växtnäringsförsörjning som åkerjordar uppvisar. En stor katjonbyteskapacitet verkar även buffrande på pH förändringar. Vidare kan bekämpningsmedelsmolekyler attraheras till jordkolloider p.g.a. deras laddning. Detta gör att transporten nedåt i profilen går långsammare och en längre uppehållstid ger mikroorganismerna i jorden större förutsättningar att bryta ner dessa substanser innan de når grundvattnet (Brady et al., 2002).

Tabell 1. Klassificering beroende på jordens lerinnehåll (www.greppa.nu).

Benämning	Lerhalt
Lerfattiga jordar	> 2%
Svagt leriga jordar	2-5 %
Leriga jordar	5-15 %
Lättleror	15-25 %
Mellanleror	25-40 %
Styva leror	40-60 %
Mycket styva leror	< 60 %

Mullhalten (tabell 2) har stor betydelse för hur jorden är som odlingslokal. Det finns inget enkelt svar på varför mullhalten har så stor betydelse för bördigheten, det är snarare ett flertal faktorer som bidrar (Brady et al., 2002). Organiskt material i marken gynnar nedbrytande djur som t.ex. daggmaskar. Maskarnas omblandning av jorden är mycket värdefull t.ex. gynnar deras grävande infiltrationen och syretillgången i markan blir bättre. Under nedbrytningen skapas ämnen som fungerar aggregatstabiliserande vilket är speciellt viktigt på mer grovkorniga jordar. En mycket stor del av markens kväveinnehåll (95-99 %) är bundet i organiska föreningar. Av dessa mineraliseras 1,5-3,5 % varje år, dessutom frigörs andra viktiga växtnäringsämnen som fosfor, svavel och mikronäringsämnen. Det bildas också

tillväxtstimulerande ämnen som auxin, gibberellin och vitaminer under nedbrytningen av organiskt material. En högre mullhalt bidrar till bättre vattenhållande förmåga samt minskar risken för igenslamning och skorpbildning.

Tabell 2. Klassificering beroende på jordens mullhalt (Arvidsson och Pettersson 1995).

Benämning	Mullhalt
Mullfattiga	> 2 %
Något mullhaltiga	2-3 %
Måttligt mullhaltiga	3-6 %
Mullrika	6-12 %
Mycket mullrika	12-20 %
Mineralblandade (t.ex. leriga mulljordar)	20-40 %
Mulljordar	<40 %

Markartering

Markartering är en viktig åtgärd i dagens jordbruk och görs med huvudsyftet att ta reda på jordens växtnäringstatus samt pH-värde och kalktillstånd (Albertsson 2007). Att veta markens växttillgängliga näring är av stor vikt då alla gödslingsrekommendationer förutom kväve grundas på jordens växtnäringstatus samt förväntad skörd. Mullhalt analyseras för uppskattning av jordens basutbyteskapacitet, kväveminalisering, brukningsegenskaper samt för dosering av jordherbicid. Lerhalten ger liksom mullhalt information om jordens brukningsegenskaper samt behov av kalium- och magnesiumgödsling, dessutom kan risken för växtnäringläckage bedömas. Efter första markarteringen rekommenderas en omkartering vart tionde år, pH och PK-status rekommenderas vart tredje år för att följa trender, jordartsanalys behöver bara göras en gång.

Vid markarteringen kan provpunkterna positionsbestämmas med GPS vilket gör det möjligt att återkomma till exakt samma plats vid en omkartering. Är provpunkterna positionsbestämda med GPS kan man dessutom genom interpolering konstruera markkartor som visar på variationen av olika parametrar mellan provpunkterna (Lundström et al., 2001). Informationen från en markartering är värdefull som underlag för att bestämma gödslingsnivåer av framförallt kalium och fosfor men också för att bedöma behovet av kalkning (Albertsson 2007). Markkartorna kan i sin tur göras om till styrfiler som används för precisionsspredning av ovan nämnda parametrar (Lundström et al., 2001).

Dagens metoder för jordanalys är både dyra och tidskrävande. För att få jordbrukare att använda sig av en intensivare markartering som grund för precisionsodlingsåtgärder krävs en metod med hög kvalitet till ett rimligt pris (Chang et al., 2001).

Idag är det praxis att ta ett prov per hektar vid markartering vilket betyder ungefär ett prov var hundra meter. Textur och mullhalt analyseras dessutom ofta bara på vart annat prov. Detta ger tyvärr inte tillräckligt detaljerad information för precisionsodling. För att interpolera markkartor som skall ligga till grund för spridning av t.ex. kalk och gödning skulle ofta ett mycket större antal prov behövas. Genom att välja provpunktsplatser vid jordprovtagning efter annan parameter korrelerad med jordart och mer frekvent mätt t.ex. skördeartering, topografiska kartor, N-sensormätning eller EM38-körning kan variationen i fält täckas in på ett bättre sätt vid jordprovtagning (Wetterlind et al., 2008). EM38 mäter konduktiviteten i marken (<http://www.geonics.com>). Konduktiviteten (elektrisk ledningsförmåga) har ett starkt samband med jordart, framförallt lerhalt (Söderström, 2002)

Från och med 2007 finns det ett miljöstöd för miljöskyddsåtgärder. I detta ingår bland annat att all åkermark inom jordbruksföretaget skall markarteras och jordartsanalys skall då ingå. Syftet med stödet är att minska riskerna vid användning av växtskyddsmedel samt minskat växtnäringläckage (Jordbruksverket Miljöersättningar 2007). Med detta incitament kan intresset för markartering och jordartsanalys tänkas öka, och således också intresset för utveckling av billigare analysmetoder. Ett tänkbart sätt att analysera ler- och mullhalt relativt snabbt och billigt är med NIR. Flera studier visar på möjligheten att prediktera lerhalt med NIR (Bendor and Banin, 1995; Broge et al., 2004; Stenberg et al., 2002; och Chang et

al., 2001). Möjligheten att prediktera mullhalt med NIR har även det visats i ett flertal studier (Mulla et al., 2001; Chang et al., 2001; Udelhoven et al., 2003).

NIR

NIR är ingen ny analysmetod utan har åtskilliga decennier på nacken. Det är idag den ledande analysmetoden för en snabb kvalitetsanalys av bl.a. spannmål och grovfoder. NIR tekniken används också i stor utsträckning inom läkemedelsindustrin och petrokemin. Att NIR spektroskopi har blivit så populärt på senare år beror på möjligheten att enkelt och snabbt göra både kvalitativa och kvantitativa mätningar (Chang et al., 2001). Behovet av provberedning är litet, vanligen bara torkning och malning för torra prover eller uppmätning i kyvett för blöta. Själva mätningen går sedan på några sekunder (Analytical Spectral Devices Inc., Boulder, CO, USA, www.asdi.com). NIR står för Nära Infraröd Reflektans och sträcker sig mellan 780 och 2500 nm. Denna strålning har ganska lågt energiinnehåll vilket gör att ingen skyddsutrustning eller spädning behövs. Ytterligare en fördel med NIR är att provet inte påverkas av mätningen och därmed kan sparas för fler mätningar.

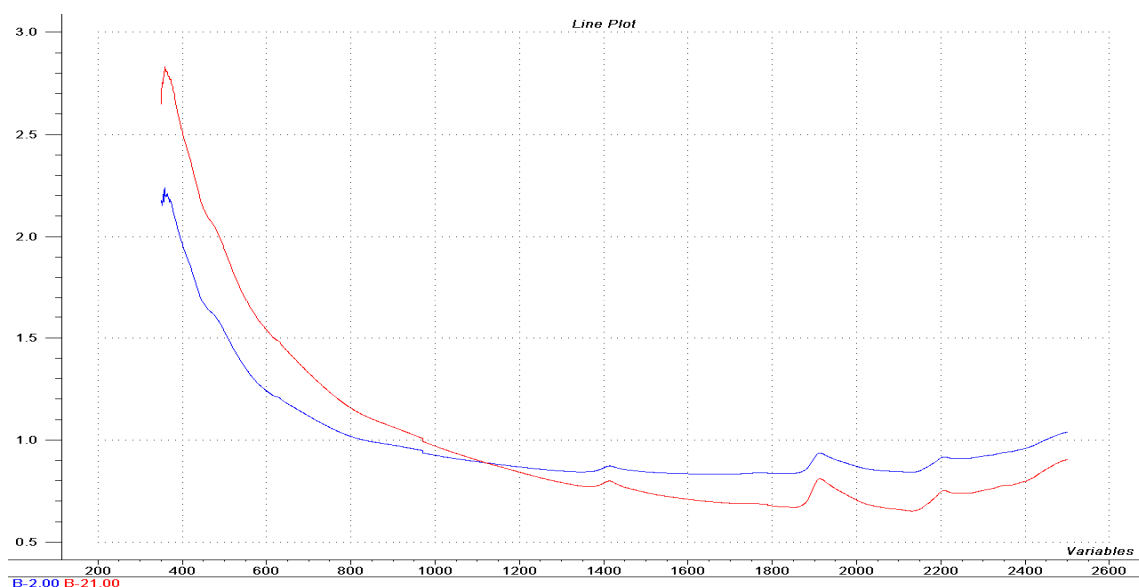


Bild 1. Absorptionspektrum från NIR-mätningar av jord. B2 har enligt EM38-mätning hög konduktivitet och B21 låg konduktivitet.

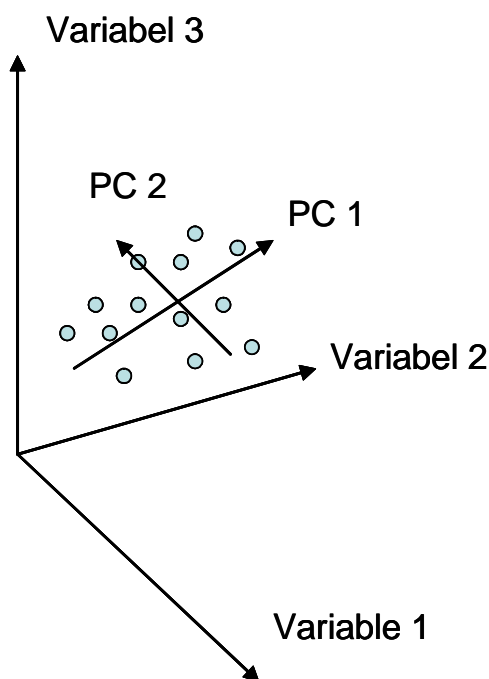
De spektrum (bild 1) en NIR mätning genererar beror på att olika molekyler kan absorbera energi (våglängder) som skapar intermolekylära svängningar. Vilka våglängder som absorberas beror på vilka sorters molekyler och bindningar det finns i ett prov. I ett reflektansspektrum kommer dessa våglängder att vara försvagade i jämförelse med en standardiserad vit referens. De molekylbindningar som gör att NIR-mätningar kan korreleras med lerhalt beror på att metal-OH och O-H bindningar absorberar i vissa våglängdsband. NIR-absorption knutet till mullhalt beror på sträckningar och böjningar i olika N-H, C-H och C-O grupper. På grund av att ljuset sprids när det reflekteras och allt som inte absorberas därmed inte når mätproben (diffus reflektans) är det alltså inte entydigt så att den synbara absorbansen, dvs. den inverterade reflektansen, är direkt proportionell mot en koncentration. Detta problem kan i stor utsträckning hanteras med olika matematiska transfor-

meringar av spektrumen, t.ex. någon form av baslinjekorrigerig, derivering etc. Ytterligare problem skapas av att en molekylbindning kan absorbera en, två eller flera olika våglängder som tillsammans bildar den energi som kan tas upp eller att en våglängds energi kan delas upp på två olika bindningar. Absorptionstopparna blir därför otydliga och överlappande och det går inte att utläsa en koncentration direkt ur ett absorptionsspektrum (Stenberg et al., 2008). För varje nytt användningsområde måste därför ett antal kalibreringsprover analyseras på labb med en referensmetod. Kalibreringen blir således det viktigaste ledet vid NIR analyser. Antalet prov som behövs beror på vad som analyseras och variationen i datamaterialet, men ju fler kalibreringsprov desto säkrare modell. Gemensamt för alla kalibreringar är att de måste täcka in hela den spridning som provtagningen kommer att omfatta (Analytica Spectral Devices, Inc). Genom statistiska beräkningar korreleras analysvärden med reflektionsspektrat (om det finns ett samband) och en modell för att prediktera okända prover kan skapas.

Multivariat statistik

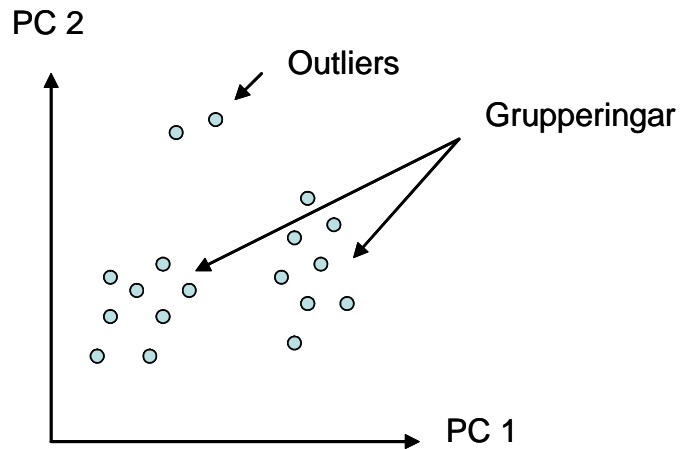
PCA

Principalkomponent analys (PCA) är en metod för att analysera data bestående av ett stort antal variabler (Esbensen, 2006). Det stora antalet variabler reduceras till ett fåtal principalkomponenter (PC) där den första, PC 1, beskriver den största variationen i datasetet, PC 2 den största variationen som återstår och så vidare (figur 2). Viktigt att notera är att principalkomponenterna är i rät vinkel mot varandra vilket gör att det inte finns någon korrelation mellan dem.



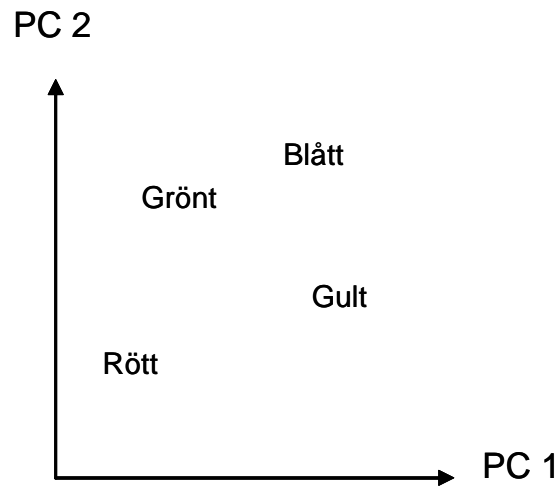
Figur 2. Två principalkomponenter inritade i ett dataset bestående av tre variabler. I exemplet förklaras mycket av variationen i variabel 2 av PC 1 och mycket av variationen i variabel 1 av PC 2 eftersom respektive variabel och PC har nästan samma riktning. Variabel 3 förklaras i liten utsträckning, men i någon mån av PC 1.

För att få en bättre bild av hur punkterna förhåller sig till varandra kan de ritas ut med avseende på två principalkomponenter i taget. Det går t.ex. att finna likheter/olikheter, grupperingar och outliers (figur 3).



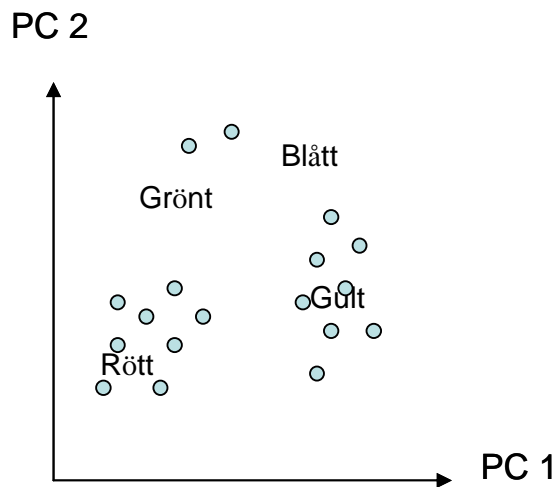
Figur 3. Observationerna uppriktade i en tvådimensionell figur med avseende på PC 1 och PC 2 (Scoreplot).

En scoreplott kan jämföras med en loadingplott (figur 4) som i stället ritat ut de olika variablerna. På så sätt kan man få en bild av varför provpunkterna ligger som de gör.



Figur 4. Loadingplott.

För att ytterligare förenkla tolkningen kan scorplotten och loadingplotten ritas i samma bild (figur 5).



Figur 5. Scoreplott och loadingplott i samma figur.

Låt oss säga att vi har mätt någon faktor som är relaterad till färg. Vi har här fått två grupper, en som innehåller mer gult pigment och en som innehåller mer rött. Dessa grupperingar kan undersökas för att finna en förklaring till grupperingen. Kanske skall de analyseras som två olika dataset? Två outliers finns i det grönblåa området. Sådana punkter studeras för att se om det är något mätfel eller vad som kan göra att de skiljer sig från datasetet i övrigt. Dessa kan behöva tas bort innan vidare analyser för att inte störa beräkningarna. Det kan också vara så att man inte täckt in all variation i datasetet. Om fler prover tagits skulle kanske de två uteliggarna tillhöra någon grupp eller bilda en egen.

PLS

PCA beskriver bara data, nästa steg blir att försöka relatera variationen i datasetet (X) till en variabel (Y) som man vill kunna prediktera, t.ex. lerhalt. Det finns många olika metoder men alla grundar sig på att det finns ett samband mellan X och Y. Det matematiska sambandet kallas modell. Partial least squares (PLS)-regression är en metod som grundar sig på att det finns ett linjärt samband mellan X och Y. Fördelen med att använda PLS är att den kan hantera hur många X-variabler som helst vilket är särskilt värdefullt när man arbetar med spektra.

Kalibrering går ut på att med ett mindre antal prov hitta vilka modellparametrar (PLS-komponenter) i datasettet som bäst förklarar Y. PLS fungerar i princip på samma sätt som PCA men strävar efter att extrahera fram den variation i X som kan förklara mest av variationen i Y. Utifrån detta samband konstrueras en matematisk modell som skall kunna beräkna (prediktera) Y-värdet på prov där bara X är känt. Antalet PLS-komponenter som ska ingå i modellen blir en avvägning. Ju fler PLS-komponenter desto bättre prediktioner, men samtidigt blir modellen mer komplicerad, och risken för överprediktion ökar. Med överprediktion menas att modellen anpassas för mycket till de specifika kalibreringsprov man använt och att även information som inte är relevant vid prediktering av andra prov tas med vilket leder till sämre predikteringar av nya prov. För att undvika överprediktering är det därför mycket viktigt att validera modellerna med ett antal oberoende prov som inte ingått i kalibreringen.

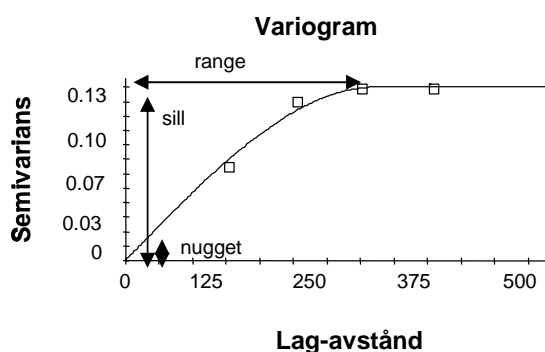
Validering innebär att modellen testas för hur bra den är på att förutsäga (prediktera) kända värden. Valideringen ger ett r^2 -värde som talar om korrelationen mellan X och Y samt ett värde på det förväntade felet i kommande prediktioner, Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP). RMSEP har samma enhet som datasetet och kan på så sätt direkt jämföras med dessa värden.

Om ett dataset innehåller få prov kan modellen istället korsvalideras. Vilket innebär att ett prov ur kalibreringssetet plockas bort och en modell skapas, sedan predikteras Y för detta prov (Esbensen, 2006). Proceduren upprepas för alla prov och utifrån detta beräknas det förväntade modellfelet, Root Mean Square Error of Cross Validation.

Geostatistik

Interpolering innebär att punktoobservationer omvandlas till kontinuerliga data genom att värden på ej provtagna platser skattas utifrån provtagna punkter runt omkring (Delin 2000). Detta kan göras på olika sätt, ett benämns närmaste granne vilket ger en observerad punkt samma värde som närmaste granne. Denna metod passar dock bäst för klassificerade data. Med Invers distans räknas ett medelvärde fram för varje punkt där kringliggande observationer viktas beroende på avstånd. Invers distans fungerar bra vid tät provtagning. Kriging liknar invers distans men tar även hänsyn till konfigurationen av mätpunkterna samt semivariogram som beskriver den rumsliga variationen.

Semivarians är variansen mellan två punkter på ett visst avstånd från varandra, lag-avstånd. I ett semivariogram plottas medelvärdet av variansen för punkter på samma avstånd mot detta avstånd (lag-avstånd). Ett rumsligt samband finns om variansen mellan provpunkter är större ju längre lag-avståndet är. Variansen mellan två punkter oändligt nära varandra är brus och beror på provtagnings och/eller mätfel. Detta kallas nugget och kan avläsas där kurvan skär y-axeln. Avståndet där variansen slutar att öka kallas range och variansen vid denna punkt sill (figur 6). För att få ett stabilt variogram behövs minst 50 observationer, annars finns risk för att kurvan blir hoppig då för få par inte ger ett stabilt medelvärde för varje punkt.



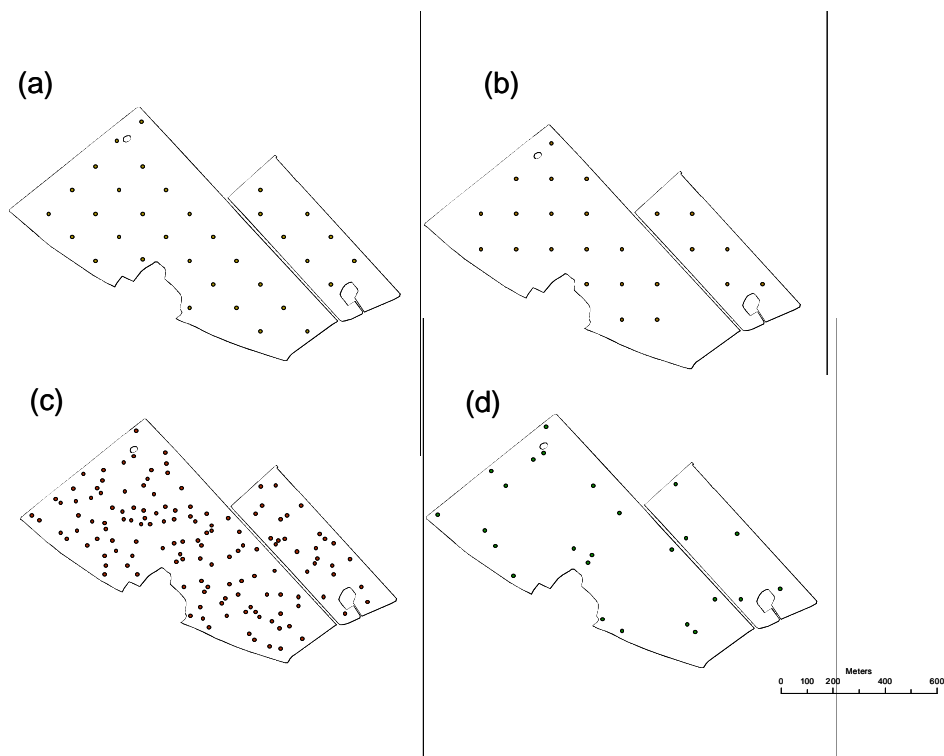
Figur 6. Exempel på ett variogram

MATERIAL OCH METODER

Jordprovtagning

Provtagningen till studien gjordes på gården Bränneberg ca 25 km väster om Skara. Två skiften ingick i undersökningen, vilka tillsammans utgjorde 68,5 ha. De topografiska skillnaderna var mycket små, i det närmsta var fälten helt platta. Fälten låg i omedelbar anslutning till gårdscentrum. Huvudgrödan har de senaste åren varit stråsäd och fälten har gödslats med både handelsgödsel och stallgödsel från gris. Fälten karterades hösten 2003 med EM38 vilken mäter jordens elektriska ledningsförmåga som är starkt knuten till framför allt lerhalt, men även temperatur, saltinnehåll, vatten- och mullhalt spelar in (Söderström 2002). Utifrån denna kartering valdes provtagningspunkter ut för att täcka in så mycket variation som möjligt. Jordprovtagningen ägde rum hösten 2007 och omfattade 4 olika dataset (figur 7):

- Traditionell markkartering, 34 provpunkter i ett rutnät motsvarande 0,5 prov per hektar.
- Kalibreringsprov, 25 provpunkter utplacerade efter EM-38 körning och användes för att kalibrera NIR-modellen.
- Prediktionsprov, 138 (inkl kalibreringsproven) provpunkter utplacerade efter EM38 körningen, NIR mättes och kunde predikteras med NIR-modellen
- Kartvalideringsprov, användes för att validera GIS-kartorna, 25 provpunkter i ett rutnät.



Figur 7. Provpunktsplacering, (a) Traditionell markkartering, (b) Kartvalideringsprov, (c) Prediktionsprov, (d) Kalibreringsprov

Samma prov som användes för att kalibrera modellen ingick också i prediktionssproven för att uppnå en provtäthet på ca 2 prov/ha med den nya metoden. Vilket jämfördes med traditionell markartering, 0,5 prov/ha.

Provpunkternas placering i fält mättes in med hjälp av GPS. Vid varje provpunkt togs 10 matjordsstick (0-20 cm) inom en radie på 6 m och blandades till ett homogent prov. Efter provtagning torkades alla prover i torkskåp vid ca 30°C i ett dygn och maldes ner för att kunna passera genom ett 2 mm såll. Lerhaltsanalyser utfördes av Eurofins i Kristiansstad, genom en modifierad sedimentations metod (Gee och Bauder, 1986). Mullhaltanalyser gjordes av SLU i Uppsala genom att analysera totalkol med förångning vid 1250°C (LECO Corporation, St. Joseph, MI, USA, www.leco.com). Från totalkol räknades mullhalten ut genom att multiplicera med 1,724.

Fältmätningarna gjordes på 24 platser och för att få en tillräcklig provtäthet delades skiftet av och mätningarna utfördes med undantag för två prov på den nordvästra delen av skiftet vilket motsvarar ca 30 ha. Provpunkterna valdes ut efter resultatet från EM-38 körningen och togs på platser som visade på höga eller låga konduktivitetsvärden. Vid varje provpunkt samlades 3 jordprov in från fem olika platser, ett i mitten och fyra stycken i en cirkel kring mittpunkten med en radie på 6 m. På dessa prover gjordes sedan två olika mätningar, en opreparerad direkt på jordkockorna och en preparerad där mätytan filades med en rasp.

För att få en uppfattning om vattenhalt vid mätningarna samlades tre representativa prover in och vattenhaltsbestämdes (tabell 3). Dessa bedömdes i fält som torr, fuktig och blöt.

Tabell 3. Bestämning av vattenhalt vid mättillfället

	Vattenhalt i %
Torr	7,0
Fuktig	13
Blöt	20



Bild 2. Jordkockor med olika vattenhalt, torr, fuktig, blöt från vänster till höger

NIR analyser

På alla prov gjordes NIR-mätningar med ett bärbart NIR-instrument, FieldSpec Pro FR (Analytical Spectral Devices Inc., Boulder, CO, USA, www.asdi.com). Vid labbmätningarna var mätinstrumentet utrustat med en optisk fiberkabel och en 20 W Al-klädd halogen tungsten lampa placerad 7 cm ovanför provet. Från varje provpunkt bereddes två prov. Mätningen utfördes sedan under 10 s och provet roterades på en skiva för att få ett större mätområde, ca 7,5 cm².

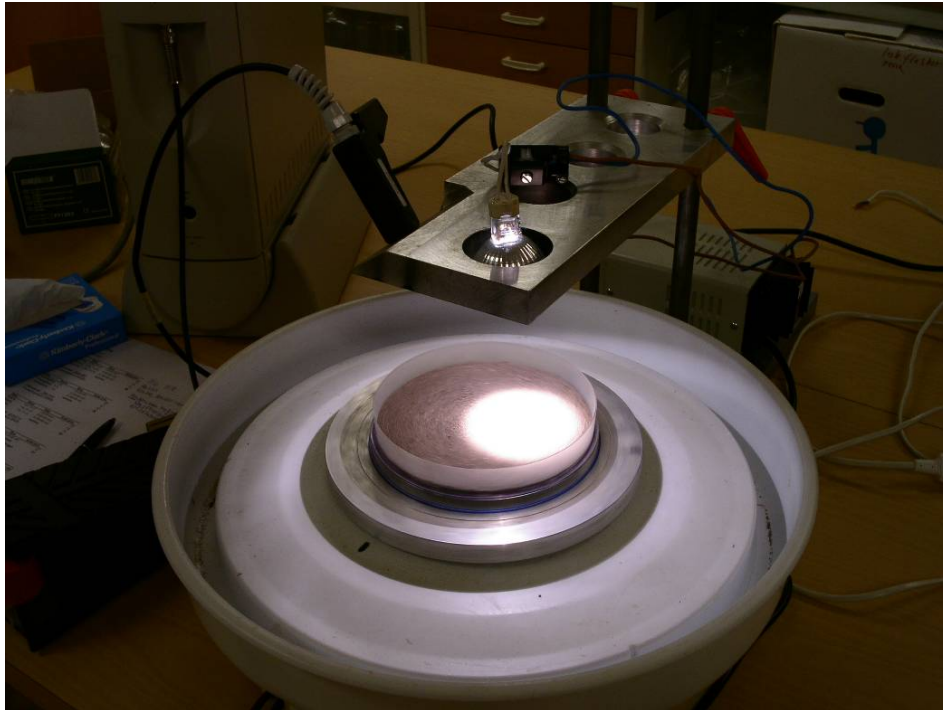


Bild 3 Uppställning vid NIR-mätning i labb.



Bild 4. Dator för registrering av NIR-spektra.

Under fältmätningarna användes istället en kontaktprob med inbyggd lampa dels för att skydda mätinstrumentet och dels för att få bra ljus att mäta i.



Bild 5. NIR-mätning i fält med kontaktprob.

Vid mätningarna registrerades våglängder mellan 350 och 2500 nm. Dataanalyser gjordes med både NIR-spektra, 780-2500 nm och med synligt ljus inkluderat, VisNIR 450-2500 nm. Att våglängderna, mellan 350 och 450 nm inte används vid analyser med Vis NIR beror på att spekrat här innehöll väldigt mycket brus. Av de registrerade mätningarna gjordes först ett medelvärde för varje provpunkt och sedan transformerades spekrat från reflektans till absorbans med $\log(1/\text{reflektans})$. Alla statistiska analyser gjordes i Unscrambler 9.7 (CAMO PROCESS AS, Oslo, Norway). För att ta bort onödigt brus som kan störa modellen samt förstärka svaga signaler modifierades absorptionskurvorna med Savitzky-Golay 1:a gradens derivata och 25 smothing points för ler och 15 smothing points för mull. Innan transformationsmetod bestämdes testades ett antal första- och andraderivator samt otransformerat absorptionspektrum.

NIR-modellen skapades med den multivariata linjära regressionsmetoden, PLS – Partial Least Squares (Esbensen, 2006) Modeller gjordes med både NIR och VisNIR. Därefter validerades modellerna mot de 34 proven för traditionell jordprovtagning. De bästa modellerna valdes genom att jämföra korrelationskoefficient (r^2) mellan mätta och predikterade värden och Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP, ett medelvärde för den absoluta skillnaden mellan predikterade värden och referensvärden i valideringsproven). Genom att dela standardavvikelsen med RMSEP erhöles ”ratio of performance to deviation” (RPD). Ju högre RPD-värde desto bättre. Ett RPD nära ett innebär att RMSEP är jämförbart med standardavvikelsen och är därmed inte bättre än en gissning. Ett RPD på två kan anses hyfsat och runt tre är riktigt bra. Den bästa modellen för ler- respektive mullhalt användes sedan för att prediktera okända prover (138 prediktionsprov). Dessa prediktioner nyttjades som underlag för interpolering av kartor. Fältmätningarna innehöll betydligt färre prover och därför korsvaliderades modellen istället för att valideras med helt oberoende prov.

Jordartskartor

För att skapa interpolerade kartor användes Geostatistical Analyst och kriging i Arc GIS 9.1 (ESRI, <http://www.esri.com>). Modellparametrar för kriging skapades i GS⁺5.1 (Gamma Design software, www.gammadesign.com). Detta gjordes både för predikterade värden och den traditionella markarteringen.

För att testa kombinationen av mull- och lerkartorna, och betydelsen av eventuell addering av fel vid en praktisk tillämpning räknades kalkbehovet ut. En kalkbehovskarta som byggde på ler- och mullhalter från den traditionella markarteringen jämfördes med en kalkbehovskarta gjord med NIR-predikterade ler- och mullhalter. Kalkbehovet beräknades enligt formeln:

$$\text{Kalkbehov (ton CaO/ha)} = (\text{pH}_{\text{mål}} - \text{pH}_{\text{uppmätt}}) \times (1,9 + (3,5 \times \text{mullhalt} + \text{lerhalt})/3,8)$$

(Gustafsson 1999)

För att kunna titta på effekten av ler- och mullhalt utan att blanda in pH gjordes beräkningarna så att pH höjdes en enhet över hela fältet ($\text{pH}_{\text{mål}} - \text{pH}_{\text{uppmätt}} = 1$).

De interpolerade kartorna och kalkbehovskartorna validerades med 25 prover analyserade på traditionellt vis. Dessa var uttagna i ett rutnät jämt fördelade över fältet och ingick inte i några av de tidigare beräkningarna eller analyserna (fig. 2b).

RESULTAT

NIR-modellvalidering

Tabell 4 visar en sammanställning av ler och mullhaltsvariationen i de prover som analyserats på labb. Fälten hade ganska små jordartsvariationer, lerhalten befann sig i stort sett inom intervallet för styv lera (tabell 1). Mullhalten visade på måttligt mullhaltig jord (tabell 2). Kalibreringsproven utifrån EM-38 körningen har inte täckte in de lägsta lerhalterna på samma sätt som den traditionella markarteringen och kartvalideringsproven. Kartvalideringsproven visar på ett lägre maxvärde för lerhalt jämfört med de andra dataseten. Låga mullhalter täcktes inte in av kartvalideringsproven.

Tabell 4. Sammanställning av mull- och lerhalter i de tre dataseten analyserade med traditionella laborationsmetoder

	Ler (%)					
	n	Median	Medel	Min.	Max.	s.d.*
Traditionell markartering	34	44,0	44,5	37,0	58,0	5,0
Kalibreringsprov	25	46,0	46,2	41,0	59,0	4,5
Kartvalideringsprov	25	47,0	46,3	38,0	55,0	4,5

	Mull (%)					
	n	Median	Medel	Min.	Max.	s.d.*
Traditionell markartering	34	4,0	4,0	3,2	4,8	0,36
Kalibreringsprov	25	4,2	4,1	3,0	4,9	0,44
Kartvalideringsprov	25	4,0	4,0	3,5	4,8	0,34

* Standardavvikelsen

Vid labmätningar gav NIR-spektrum bättre modeller än att använda VisNIR-spektrum. Tabell 5 visar resultatet från valideringen av NIR-modellerna. RMSEP var ganska högt för lermodellen jämförbart med standardavvikelsen i provseten vilket gav ett RPD på 1,08. Valideringen av lermodellen gav också en hög bias vilket tyder på att variationen i fältet inte täcks in helt av kalibreringsproven. För att försöka åtgärda detta adderades två prov till kalibreringssetet ur NIR valideringssetet som avvek en del vid en principalkomponentanalys (PCA). Att addera de två proven ledde till både lägre RMSEP och bias.

Tabell 5. Validering av NIR modell för ler- och mullhalt

	r^2	RMSEP	RPD	Bias
<i>Ler</i>				
NIR-modell	0,31	4,16	1,08	1,86
NIR-modell inklusive två extra prov	0,65	2,95	1,53	0,94
<i>Mull</i>				
NIR-modell	0,59	0,13	3,38	0,05

Tabell 6 visar en sammanställning av resultatet från prov predikterade med NIR-modellen. Jämförs dessa värden med tabell 4 kan inga direkta skillnader noteras, referensanalyserna och de predikterade värdena varierar på ungefär samma sätt.

Tabell 6. Sammanställning av ler- och mullhalter från prediktionsproven predikterade med NIR-modellerna

	n	Predikterade värden (%)				s.d.*
		Median	Medel	Min.	Max.	
<i>Ler</i>						
NIR-modell	138	46,0	47,7	36,1	57,1	4,4
NIR-modell inklusive två extra prov	138	46,0	46,6	37,9	59,2	4,4
<i>Mull</i>						
NIR-modell	138	4,3	4,3	3,0	5,4	0,39

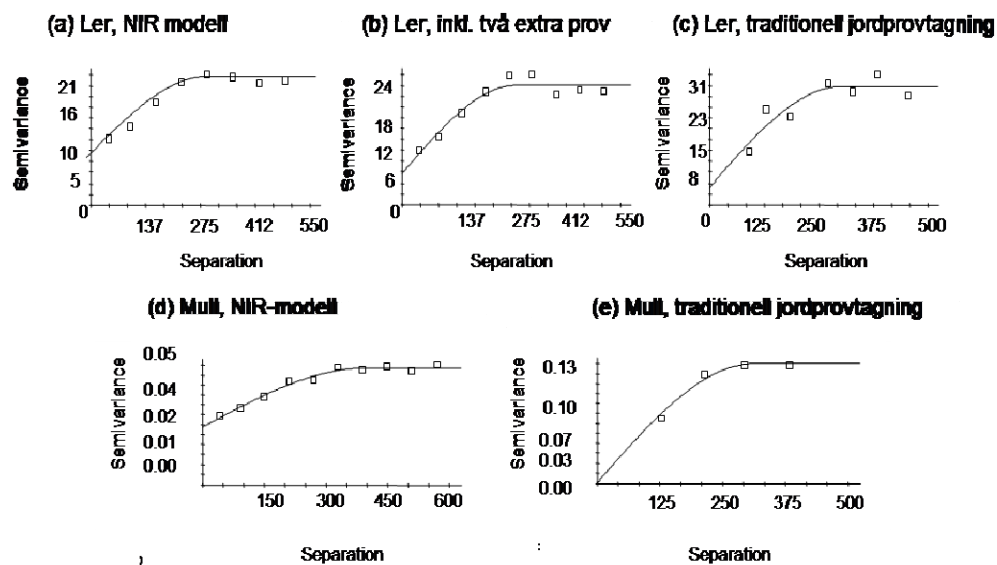
*standardavvikelse

Interpolering av kartor

Figur 8 visar variogrammen för de olika dataseten. Variogrammen ser bättre ut för ler än för mull med en tydlig range och större skillnad mellan nugget och sill. Den traditionella markarteringen grundar sig på 34 prov vilket ger för få värden för att få ett bra variogram. Använda modellparametrar visas i tabell 7. Att nugget är noll för den traditionella mullmodellen är inte så troligt utan sannolikt ett resultat av att det är så få provpunkter. En nugget lika med noll innebär i princip att man tror att det inte finns några mätfel alls utan att det är ett sant värde, vilket inte är troligt.

Precisionsodling 2008:3

Hur stor nugget modellen har, har betydelse för hur detaljerad kartan ser ut. Jämförs kartorna efter NIR predikterade prov och traditionell markartering i figur 10 syns just detta. Kartan för den traditionella markarteringen ser mer detaljerad ut jämfört med NIR-modellen.



Figur 8. Variogram för de olika dataseten

Tabell 7. Modellparametrar för variogrammen i figur 3

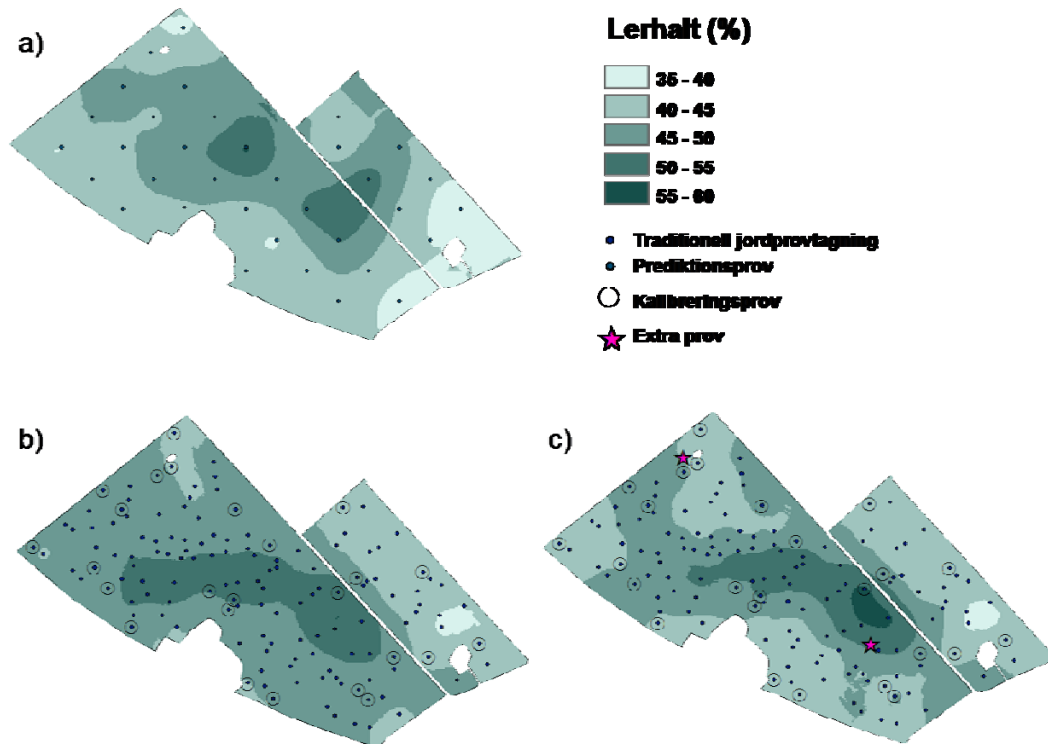
	Modell	c_0	$c_0 + c$	a (m)	
<i>Ler</i>					
	NIR modell	Sfärisk	7,13	13,18	303
	NIR modell inklusive två extra prov	Sfärisk	5,75	16,71	287
	Traditionell markartering	Sfärisk	4,09	24.16	300
<i>Mull</i>					
	NIR modell	Sfärisk	0,023	0,047	401
	Traditionell markartering	Sfärisk	0,0001	0,1332	311

c_0 = nugget variance

$c_0 + c$ = sill

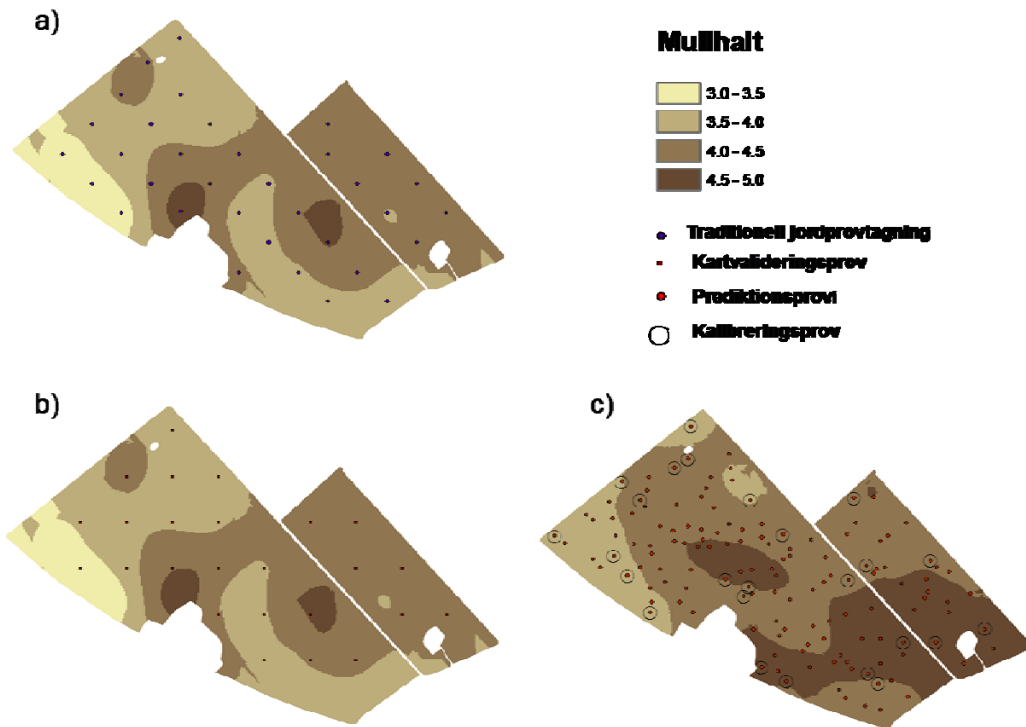
a = range för den sfäriska modellen

Skifteskartorna i figur 9 visar att NIR-modellen med två extra prover inkluderade ger den mest detaljrika kartan för lerhaltsvariation. Traditionell jordprovtagning ger en ”fläckig” karta i och med få prover som får högt inflytande över närområdet.



Figur 9. Lerhaltsvariation, a) Krigingskarta efter traditionell jordprovtagning med provpunkterna utmärkta, b) Krigingskarta efter NIR-modell med prediktionsprov och kalibreringsprov utmärkta, c) Krigingskarta efter förbättrad NIR-modell med två extra prov .

Figur 10 visar interpolerade kartor av mullhalt. Kartan gjord efter NIR-modellen visar inte lika höga eller låga värden (de får inget genomslag) och ger ett mer utsmetat intryck jämfört med den traditionella jordprovtagningen.



Figur 10. Mullhalt, a) Krigingskarta efter traditionell jordprovtagning med provpunkter utmärkta

b) Krigingskarta efter traditionell jordprovtagning med kartvalideringsprov utmärkta

c) Krigingskarta efter NIR-modellen med prediktionsprov och kalibreringsprov utmärkta.

Kartvalidering

Tabell 8 visar resultatet av kartvalideringen. Korrelationen är betydligt bättre för de NIR predikterade modellerna än för traditionell jordprovtagning även om r^2 -värdena är låga. Att addera två extra prov till NIR modellen för ler gav bättre modellvalidering men i kartvalideringen är skillnaden mellan dessa försumbar.

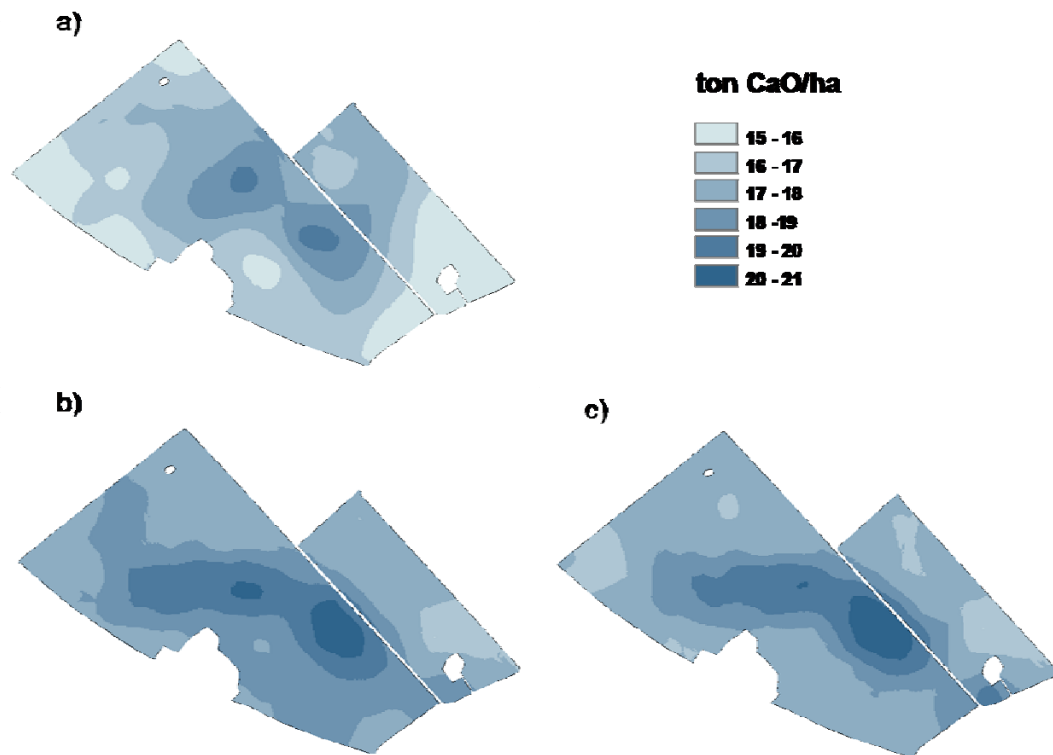
Tabell 8. Kartvalidering, interpolerade värden jämfört med 25 valideringsprov uttagna i ett rutnät (analyserade värden)

	R^2	RMSEP
<i>Ler</i>		
NIR modell	0,25	3,81
NIR modell inklusive två extra prov	0,26	3,78
Traditionell markkartering (0,5 prov/ha)	0,095	4,19
<i>Mull</i>		
NIR modell	0,35	0,11
Traditionell markkartering	0,11	0,32

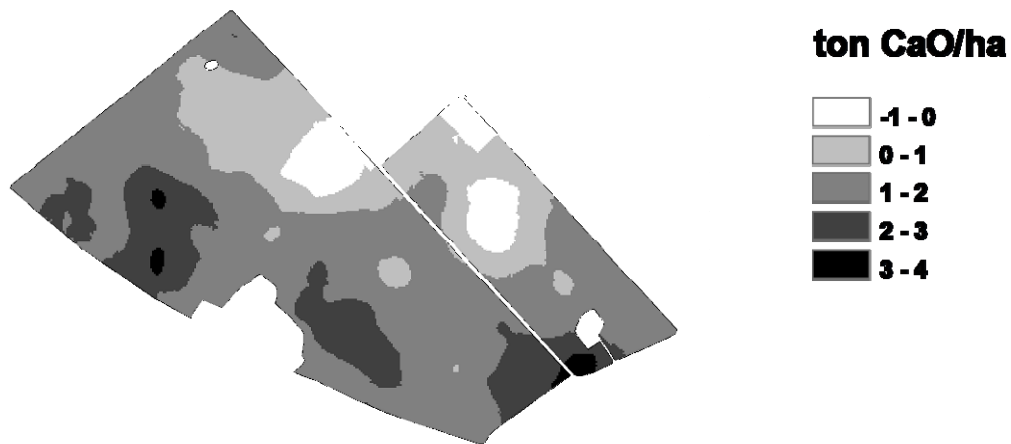
Studerars värdena för kartvalideringen visar det att lerkartor gjorda efter NIR-modellen (även den förbättrade) ger störst fel för höga och låga värden, men det finns även höga värden som predikteras bra. För mullhalt finns inget sådant mönster.

Kalkbehovsberäkningar.

Kalkbehovsberäkningarna i figur 12 visar skillnader mellan kartorna utifrån NIR-predikterade värden på ler och mull med tät provtagning och traditionell markkartering. Den traditionella markkarteringen har gett en fläckigare karta än de som är gjorda efter NIR-mätta prover. Även de NIR-mätta kartorna skiljer sig åt, den förbättrade NIR-modellen gav ett något lägre kalkbehov. Men mönstren är mycket lika.



Figur 12. Kalkbehov på fältet för att höja pH en enhet (a) Krigingskarta efter traditionell markkartering (b) Krigingskarta efter NIR-modell (c) Krigingskarta efter förbättrad NIR-modell.



Figur 13. Skillnaden i kalkbehov för att höja pH-värdet en enhet mellan karta från predikterade värden (utan extraprov) minus karta från traditionell markkartering.

Skillnadskartan i figur 13 visar att kalkbehovet kan variera upp till 4 ton CaO/ha beroende på vilket dataset kartan konstruerats av. Kartan gjord efter NIR predikterade värden gav ett högre kalkbehov. I tabell 9 visas resultatet av kartvalidering för kalkkartorna. R^2 -värdena är ganska dåliga men i alla fall betydligt bättre för NIR-modellerna än för den traditionella jordprovtagningen. RMSEP visar att felspridningen skulle bli ungefär ett ton CaO/ha.

Tabell 9. Kartvalidering av kalkkartorna

	R^2	RMSEP
Höja en pH enhet efter traditionell jordprovtagning	0,14	1,27
Höja en pH enhet efter NIR-modell	0,32	1,13
Höja en pH enhet efter förbättrad NIR-modell	0,27	1,16

Fältmätningar

Tabell 10 visar variationen i ler- och mullhalt för de prov där NIR-mätningar har skett direkt i fält. Lerhaltsvariationen täcks in ganska bra medan de högre mullhaltarna har missats, jämfört med tabell 4.

Tabell 10. Labbanalyserade värden av prov mätta med NIR i fält.

	n	Ler (%)				Mull (%)			
		Medel	Min.	Max.	s.d.	Medel	Min.	Max.	s.d.
Kalibrering	24	47,0	40,0	57,0	4,0	3,5	2,3	4,2	0,57

Tabell 11 visar resultatet av fältmätningarna. Som tidigare nämnts fungerade NIR bäst vid labbmätningarna medan fältmätningarna hade bättre korrelation med Vis-NIR. De preparerade proven gav r^2 -värden lika med noll varför de inte redovisas i tabellen. Korrelationsvärdena och Root Mean Square Error of Cross Validation (RMSECV) för de opreparerade proven är däremot ganska bra jämfört med samma provpunkter mätta med NIR i labb.

Tabell 11. Korsvalidering av orörda fältprover jämfört med korsvalidering av samma prov mätta i labb.

Analysmetod	R^2	RMSECV
<i>Ler</i>		
Fältprover	0,66	2,54
Labmätning av fältprover *	0,70	2,29
<i>Mull</i>		
Fältprover	0,40	0,46
Labmätning av fältprover *	0,51	0,42

* Samma provpunkter som mättes i fält

DISKUSSION

NIR-modellvalidering

Jämförs tabell 4 och 6 som visar en sammanställning av predikterade värden och labbmätta ligger median och medelvärdena ganska lika. Predikterad mullhalt ligger lite högre än de labbmätta värdena. Studeras max- och min-värden extrapolerar NIR-modellen både högre och lägre värden än vad som finns i kalibreringssetet. Låga lerhalter predikteras dock sämre än andra prov vilket kan bero på att kalibreringssetet inte täckte in dessa värden och att modellen därigenom inte klarar av att beräkna dessa värden lika bra.

Modellvalideringen gav ganska låga r^2 -värden, 0,31 för ler (0,65 om de två extra proverna adderas) och 0,59 för mull. Wetterlind et al., (2008) visade i en liknande studie r^2 -värden runt 0,80 för ler och 0,89 för mull. Vanligen tittar man gärna på r^2 -värdet för att se hur bra korrelationen är mellan uppmätta och predikterade värden. Enligt Davies and Fearn (2006) blir r^2 -värdet missvisande om provtagningsintervall är litet, de förespråkar istället att RMSEP får väga tyngre när valideringsresultatet värderas. I studien av Wetterlind et al. (2008) är lerhaltsvariationen betydligt större än vad som visas här, 22-66% jämfört med 37-59%. Även mullhaltsvariationen är betydligt större, 2,4-7,7 % jämfört med 3,0-4,9 %. Detta är en trolig förklaring till de lägre korrelationerna i detta försök eftersom RMSEP-värdena är likvärdiga. För ler jämförs, 4,16% (2,95%, med extraproverna) med 3,7% från studien av Wetterlind et al. (2008). Dessa värden är bra även jämfört med andra liknande studier (Stenberg et al., 2002; Sørensen och Dalsgaard 2005; Wetterlind et al., 2006). För mull är RMSEP 0,13% i denna studie och 0,32% i studien av Wetterlind et al. (2008).

RMSEP var jämförbart med standardavvikelsen i provseten (RPD på 1,08). Vilket egentligen säger att vi lika gärna kan göra en karta efter medelvärdet. För modellen med två extra jordprover var dock RPD 1,5. En svårighet med metoden är att veta hur många kalibreringsprov som behövs för att täcka in tillräckligt stor variation för att kunna göra bra prediktioner. Det går inte att säga ett exakt antal prov som krävs för att göra bra kalibreringar utan det beror på hur stor variationen i fält är, 25 prov anses dock generellt som mycket lite. I och med att kalibreringarna blev bättre när två extra prov adderades verkar det som att de 25 kalibreringsprov vi använde oss av innehöll för lite information i det fallet och tyder på en generell risk för instabilitet. Dessa två prover skiljer sig inte från de övriga proverna på något sätt vad gäller ler- eller mullhalt och hade därför inte gått att plocka ut innan analysen. Det är först i PCA-plotten, det vill säga i NIR-spektrum det utmärker sig, alltså verkar det som att spektrumen innehåller information som är kopplat till textur men inte syns i mätvärdena. Eventuellt skulle det vara bättre att välja ut kalibreringsprov utifrån variationen i NIR-spektrum istället för utifrån EM-38 mätningar.

Kartvalidering

Kartvalideringen gav ett RMSEP på 3,81 % för ler och 0,11 % för mull vilket är lägre än vad Wetterlind et al. (2008) visade (5,5 % för ler och 0,37 % för mull). Med avseende på r^2 -värde är kartvalideringen i denna studie, 0,25 för ler och 0,35 för mull, sämre än i studien av Wetterlind et al. (2008). Wetterlind et al. (2008) visade r^2 -värden på 0,60 för ler och 0,72 för mull. Värt att notera är att den jämför-

da studien har avsevärt högre korrelation även i kartvalideringen för traditionell jordprovtagning. Återigen är den troliga förklaringen till denna diskrepans att variationen i ler- och mullhalt är mycket mindre i denna studie och med små variationer får mätfelen större betydelse.

I NIR-modellvalideringen skiljer det en del mellan lermodellerna gjorda med eller utan extraprover och kartorna har märkbara skillnader. Men när det kommer till valideringen av kartorna är resultatet ganska lika. I kartan gjord på lerprediktioner från modellen med två extra prover ligger valideringspunkterna betydligt oftare i områden där lerhalten förändras på kort sträcka jämfört med hur det ser ut i kartan som bygger på modellen med de ursprungliga 25 kalibreringsproven. Detta kan göra att modellen med två extra prover ser sämre ut än vad den är, och att den vanliga modellen verkar bättre.

För den traditionella jordprovtagningen är kartvalideringen sämst i områden där lerhalten förändras mycket på liten sträcka. Detta förklaras med att få antal prover gör att provpunkter som gränsar till varandra skiljer sig mycket åt och det blir svårt att räkna fram bra värden mellan dessa. Det syns även i variogrammen på att det är få punkter eller inga alls vid korta avstånd.

Som nämnts tidigare påverkas kartorna utseende av modellvariogrammet. I figur 8 ser variogrammen väldigt bra ut även för den traditionella markkarteringen. Här skulle vi förväntat oss sämre variogram p.g.a. få prover. Även om NIR-modellerna ser sämre ut i figuren väljer vi att tro mer på kartorna gjorda efter dessa eftersom variogrammen för traditionell markkartering i och med få provpar är mycket instabila.

Kalkkartor

Tittar vi på kartvalideringen är r^2 -värdet dubbelt så högt för NIR-modellen jämfört med den traditionella markkarteringen medan RMSEP är nästan lika. Orsaken till de små skillnaderna är antagligen återigen att variationen är så låg inom fältet. Figur 13 visar skillnader i kalkbehov på upp till 4 ton CaO/ha mellan den traditionella markkarteringen och NIR-modellen. Detta är ganska mycket med tanke på att det totala behovet varierar med 6 ton CaO/ha. I kartorna efter NIR-modellen syns ett mycket tydligt samband med lerhalt.

Fältmätningarna

Att NIR mätningarna i fält gick så pass bra jämfört med labbmätta prover är förvånande då den opreparerade ytan kan ge mycket brus p.g.a. olika ljusspridning (Chang et al., 2001). Att vi fann en så pass bra korrelation är mycket positivt för framtida utveckling av tekniken. Att mäta direkt i fält skulle kunna sänka kostnaderna ytterligare. Provtagningen gjordes under fyra dagar (8-11 oktober 2007). De två första dagarna var det soligt och torrt väder och kockorna torra. Dag tre och fyra var det dels mulet och dels hade delar av fältet harvats. Detta gjorde att många av mätningarna dessa dagar har skett vid en något högre vattenhalt vilket påverkade NIR-spektrumen något.

Proven behandlade med en rasp för att få en jämn mätyta fick väldigt dåliga resultat. Då ljusspridningen har stor betydelse för resultatet vid NIR-mätningar spelar

ytegenskaperna en viktig roll (Chang et al., 2001). Antagligen har prepareringen med rasp av fältproverna orsakat en allt överskuggande ljusspridning som inte har något att göra med ler- och mullhalt.

Hur stor variation behövs egentligen för att vi skall vinna något på en tätare provtagning som underlag för precisionsodling? Det är en svår fråga att svara på. Uppenbarligen var variationen i detta fält för liten för att kunna visa på en tydlig nytta med en tätare provtagning men tillräckligt stor i den jämförda studien. Vad man kan säga är i alla fall att variationen (standardavvikelsen) bör vara klart större än analysfelet för referensmetoden. I denna studie var standardavvikelsen för lerhalt 4,5 % och 0,35 % för mullhalt.

SLUTSATSER

I och med den ökande prisbilden på insatsmedel i jordbruket ökar intresset för precisionsspridning och växtplatsanpassade givor. När allt fler skaffar GPS i sina traktorer blir det lättare att motivera precisionsodling. För att kunna tillämpa precisionsspridning av gödsel och kalk behövs som tidigare konstaterats ett större antal jordprover för att göra bra interpolerade kartor som underlag till styrfiler. NIR mätningar kan till samma kostnad som vanlig markartering mätas på betydligt fler prover.

Tidigare studier av Wetterlind et al. har visat bra resultat för lokala NIR kalibreringar. I denna studie var kalibreringarna inte lika övertygande, Men i absoluta tal redovisat som RMSEP var felen relativt små även i denna studie. Detta beror på den begränsade variationen i detta fält. Fältet där studien var förlagd verkar alltså vara för jämt för att vi skall vinna så mycket på en tätare provtagning. Trots det blev kartvalideringarna bättre efter NIR-modellen än efter den traditionella markarteringen. Tillsammans med tidigare resultat tyder detta på att metoden har potential, men ger störst nytta på fält med större variation än fältet i denna studie.

Det är först i PCA-plotten, det vill säga i NIR-spektrum som proven vi adderade till kalibreringssetet utmärker sig, alltså verkar det som att spektrumen innehåller information som är kopplat till textur men inte syns i mätvärdena. Eventuellt skulle det vara bättre att välja ut kalibreringsprov utifrån variationen i NIR-spektrum istället för utifrån EM-38 mätningar.

LITTERATUR

- Albertsson, B. (2007). Riktlinjer för gödsling och kalkning 2008. Jordbruksverket, rapport 2007:22
- Arvidsson, J., Pettersson, O. (1995). Jordpackning och markstruktur. Aktuellt från lantbruksuniversitetet, nr 435, SLU, Uppsala.
- Chang C-W., Laird A. D., Mausbach, J. M., Hurburgh, R. Jr. C. (2001). Near-Infrared Reflectance Spectroscopy_Principal Components Regression Analyses of Soil Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:480-490.
- Bendor E., Banin A. (1995). Near-Infrared Analysis as a Rapid Method to Simultaneously Evaluate Several Soil Properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:364-372.
- Broge, N.H., Thomsen, A. G., & Greve, M. H. (2004). Prediction of topsoil organic matter and claycontent from measurements of spectral reflectance and elektrical conductivity. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. Soil and Plant Science*, 54:232-240.
- Davies A. M. C., & Fearn T. (2006). Back to basics: calibration statistics. *Tony Davies column. Spectroscopy Europe*, 18:31-32
- Delin S. (2000) Hantering av geografiska data inom ett jordbruksfält. Kurskompendium i precisionsodling 5 p. Institutionen för jordbruksvetenskap Skara. Precisionsodling i Väst. Teknisk rapport 4.
- Esbensen, K. (2006). *Multivariate data analysis - in practice, An introduction to multivariate data analysis and experimental design. 5th edition*, Camo software AS, Oslo, Norway
- Ekström, G. (1927). Klassifikation av Svenska Åkerjordar. Sveriges Geologiska Undersökning, Ser C. No. 345 (Årsbok 20), 161 s
- Gustafsson K. (1999) Modells for precision application of lime. In: *Precision Agriculture '99 part 1, Papers presented at the 2nd European Conference on Precision Agriculture*, Odense, Denmark, 11-15 July. Ed. J V Stafford. Sheffield Academic Press Ltd., Sheffield, 175-180.
- Lundström, C., Delin, S., Nissen, K. 2001. Precisionsodling- teknik och möjligheter. SLU, Institutionen för jordbruksvetenskap Skara, Precisionsodling i Väst Teknisk rapport 5.
- Mulla, D J., Betty, M., & Sekely, A. C. (2001). Evaluation of remote sensing and targeted soil sampling for variable rate application of lime. In P. C. Robert, R. H. Rust, & W. E. Larsen (Eds.), *Precision Agriculture , Proceedings of the 5 th International Conference*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.
- Olsson F., (2008). Attityder till implementering av precisionsodlingsteknik. Examensarbete vid avdelningen för Precisionsodling, nr 5, Skara.
- Gustafsson, K., (2007). Precisionsbrevet, aktuellt för optimal växtodling, nr 3 2007-09-07.
- Stenberg, B. and Viscarra Rossel, R. 2008. Diffuse reflectance spectroscopy for high resolution soil sensing. Workshop program and papers for the 1st global workshop on high resolution digital soil sensing and mapping, 5-8 February 2008, Sydney, Australia.
- Stenberg, B., Jonsson, A., & Börjesson, T. (2002). Near infrared technology for soil analysis with implications for precision agriculture. In A. Davies & R. Cho (Eds.), *Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 10th International Conference*, Kyongju S. Korea. NIR Publications, Chichester, UK, 279-284.
- Söderström M. Lantmännens medlemstidning nr 5, 2002.

Uldehoven, T., Emmerling C., & Jarmer, T. (2003). Quantitative analysis of soil chemical properties with diffuse reflectance spectrometry and partial least-square regression: A feasibility study. *Plant and Soil*, 251, 319-329.

Wetterlind J., Stenberg B., & Söderström M. (2008). The use of near infrared (NIR) spectroscopy to improve soil mapping at the farm scale. *Precision Agriculture*, 9:57-69

Jordbrukets miljöersättningar

www.vaxteko.se [2008-02-03]

Titlar utgivna i serien Precisionsodling:

- 2008:1. Sofia Delin och Lena Engström, Kvävemineringsförlopp efter gödsling med organiska gödselmedel vid olika tidpunkter.
- 2008:2. Börje Lindén, Flytgödselspridning på hösten: möjligheter att minska kväveutlakningsriskerna genom olika åtgärder i växtodlingen - Litteraturoversikt: kunskapsläge och kunskapsluckor.
- 2008:3. Emma Eriksson, Markartering anpassad för precisionsodling.

Institutionen för mark och miljö, SLU, Skara,

Precisionsodling och pedometri bedriver forskning med precision i odlingen som mål. Detta forskningsarbete tar sikte på att utveckla metoder för bättre utnyttjande av markens resurser samt styrning av processer som inverkar på grödornas tillväxt, framför allt genom bättre växtnäringshushållning, bl.a. platsspecifikt för tillämpning inom precisionsjordbruket.

Forskning bedrivs främst i fältstudier och fältförsök. Huvudsyftet med denna forskning är att förstärka den ekonomiska uthålligheten i svenskt lantbruk genom att förbättra grödornas avkastning och jordbruksprodukternas kvalitet och samtidigt utnyttja våra naturliga tillgångar på ett miljövänligt och resursbevarande sätt. Forskning, utbildning och information präglas av helhetssyn och sker i nära samarbete med näringsliv, myndigheter och rådgivning.



Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för mark och miljö
Precisionsodling och pedometri
Box 234, 532 23 SKARA
Internet: <http://po-mv.slu.se>