



Anvendelse af geostatistik og remote sensing data til kortlægning af jordens lerindhold

**Delrapport 1 i SLF-projektet (dnr SLF 297/02):
"Kostnadseffektiv markkartering genom
stratifierad datainsamling baserad på
fjärranalys"**

Anne Jacobsen og Mats Söderström

Forord

Denne rapport med arbejdstitlen "Anvendelse af geostatistik og remote sensing til kortlægning af jordens lerindhold" er et delprojekt under projektet "Kostnadseffektiv markkartering genom stratifierad datainsamling baserad på fjärranalys", som er finansieret af Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF).

Der rettes en stor tak til lektor Lars Krogh, Geografisk Institut, Københavns Universitet, Danmark og geolog Thomas Hunter Eriksen, Nordjyllands Amt, Ålborg, Danmark for uvurderlige diskussioner i forbindelse med anvendelse af geostatistik til jordbundskortlægning.

Indholdsfortegnelse

FORORD	3
INDHOLDSFORTEGNELSE	4
SAMMENFATNING	5
INDLEDNING	6
TEORI	8
MATERIALER OG METODER	9
STUDIEOMRÅDE.....	9
JORDBUNDSDATA	10
SATELLITDATA	10
LINEÆR REGRESSION	12
KRIGING OG CO-KRIGING	12
RESULTATER OG DISKUSSION	14
REGRESSIONSANALYSE.....	14
KRIGING OG CO-KRIGING	17
KONKLUSION	22
LITTERATUR	23

Sammenfatning

Stedbestemt afgrødebehandling er betinget af detaljeret spatiel information om blandt andet de stabile jordbundsforhold. Allerede etablerede svenske jordbundsdata-baser over næringstoffer, pH og organisk materiale er indsamlet i et gridnet på 100 m. Remote sensing data fra Landsat-7 ETM+ satellitten er arealdækkende og kan give informationer om den rumlige variation indenfor en gridstørrelse på 30 m (i denne undersøgelse er satellitdata fra producentens side resamlet til 25 m). Delprojekt 1 har ved hjælp af et datasæt bestående af lerindholdet i % og geostatistik undersøgt muligheden for at anvende de to datafangstmetoder til kortlægning af information om stabile jordbundsforhold.

Undersøgelsen viser, at et gridnet af jordbundsdata på 100 m tilsyneladende viser den samme spatielle variation af lerindholdet som et gridnet af spektrale data på 25 m. Der er derfor umiddelbart indikationer for, at en co-kriging af lerindhold på baggrund af KHC1 data kan anvendes til kortlægning over områder, hvor der allerede er indsamlet jordbundsdata. Jordprøver til omsætning af KHC1 til lerindhold i %, kan samples omkostningseffektivt på baggrund af KHC1 data.

Co-kriging af spektrale data og lerindholdet i % giver et godt estimat på den spatielle variation set i fht. ler% estimeret på baggrund af KHC1. Der er derfor gode indikationer for at remote sensing data vil kunne anvendes til omkostningseffektiv strategiseret prøveindsamling af jordbundsdata over områder, hvor der ikke allerede eksisterer jordbundsdata i et veletableret 100 m grid.

Indledning

Remote sensing ved hjælp af billeder fra satellit eller fly kan potentielt bidrage med distribueret information af spatiel og temporal karakter, som kan anvendes indenfor den del af præcisionslandbruget, som vedrører stedbestemt afgrødebehandling (eng: precision crop management).

Der er tre typer af information, der er relevante i forbindelse med stedbestemt afgrødebehandling (Moran et al., 1997):

- Information om sæson stabile forhold
- Information om sæson variable forhold
- Information til diagnostificering af årsager til variationer i høstudbytte og information til udvikling af behandlingsstrategier

Sæson stabile forhold er konstante igennem vækstsæsonen og afspejler f.eks. høstudbytte- eller jordbundsbehandlingsenheder. Sæson stabile forhold bør kortlægges inden sæsonstart og behøver ikke opdatering i løbet af sæsonen. Sæson instabile/variable forhold varierer igennem vækstsæsonen og afspejler f. eks. jordbundsfugtighed, ukrudt (sv.: ogräs), insektangreb og afgrødesygdomme. Sæson instabile forhold skal kortlægges adskillige gange i løbet af vækstsæsonen. Diagnostificering og behandlingsstrategier baserer sig på information om både sæson stabile og sæson variable forhold.

Precisionsodling Sverige (POS) sigter mod at fremme stedbestemt afgrødebehandling blandt andet ved at søge at øge mængden af information om sæson stabile forhold.

Sæson stabile forhold kan kortlægges på flere måder. Integration af høstudbyttekort fra forskellige vækstsæsoner er en anvendt metode til kortlægning af relative produktionszoner på markniveau (Moran et al. 1997). Høstudbyttekortene kan være fremstillet på baggrund af lineære regressionsmodeller, kriging og/eller co-kriging og clusteranalyser.

Et metodestudie finansieret af VL-stiftelsen og AgroVäst Livsmedel AB (Projekt 00980 – delprojekt 1) viste, at høstudbyttet over flere sæsoner var signifikant korreleret til vegetationsindekset NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) beregnet på baggrund af multispektrale data fra SPOT HRV satelliten. Projektet viste også, at sammenhængen mellem NDVI og høstudbytte var afhængig af tidspunktet i vækstsæsonen, og at opgørelsen over vækstpotentialet dermed var afhængig af tidspunktet for optagelsen af satellitbilledet.

En anden metode til kortlægning af sæson stabile behandlingsenheder er en direkte kortlægning af jordbundsressourcerne.

Adskillige studier har påvist sammenhænge mellem spektrale data og jordbundens egenskaber. Overordnet set har undersøgelser bla. vist, at multispektrale satellitdata er påvirket af jordens indhold af ler og organisk materiale (Coleman et al., 1993; Agbu et al., 1990) og Chen et al. (2000) har vist, at multispektrale flybilleder kan forudsige organisk materiale i en sådan grad, at afledte kort kan anvendes indenfor

præcisionslandbrug. Sammenhænge mellem flydata og organisk materiale er desuden påvist af Varvel et al. (1999) og mellem satellitdata og organisk materiale af Ishida & Ando (1999). Derudover viser analyser af hyperspektrale data (Palacios-Orueta & Ustin, 1998), at det samlede bidrag til reflektansen fra ler og organisk materiale kan adskilles, således at det er muligt at kortlægge begge parametre.

I et tidligere projekt finansieret af VL-stiftelsen, Svenska Lantmännen (Projekt 00980 – delprojekt 2, Jacobsen & Söderström, 2001) undersøgtes mulighederne for at anvende multispektrale satellitbilleder til at kortlægge sæson stabile forhold relateret til jordbundsvariationen i ler og organisk materiale. Undersøgelsen viste, at der var signifikant sammenhæng mellem det spektrale signal fra et satellitbillede optaget tidligt på foråret og jordens indhold af ler og organisk materiale. Undersøgelsen viste også, at afgrøderne havde en effekt på det spektrale signal og at spektrale data fra marker med vårafgrøder hovedsagelig var påvirket af det spektrale signal fra jordbundsressourcerne, mens spektrale data fra marker med vinterafgrøder hovedsagelig var påvirket af det spektrale signal fra afgrøden.

Kortlægning af jordbundsressourcer på markniveau på baggrund af spektrale data med henblik på registrering af behandlingsenheder er først blevet nærmere undersøgt indenfor de seneste ti år (Chen et al., 2000). Bell et al. (1995) angiver tre forskellige metoder til kortlægning af jordbundsressourcer for stedbestemt afgrødebehandling:

- Allerede etablerede kortlægninger over jordbundsforhold
- Geostatistisk interpolation teknikker
- Anvendelse af jord- og landskabsmodeller med input fra remote sensing eller digitale højdemodeller (DEM)

Allerede etableret kortlægning over jordbundsressourcer og jord- og landskabsmodeller er ofte for upræcist målt og i for stor skala til at anvendes på markniveau (Moore et al., 1993).

Geostatistiske interpolationsmetoder bygger på den antagelse, at observationer, der ligger tæt på hinanden, er højere korreleret end punkter, der ligger langt fra hinanden (Geografiens 1. lov formuleret af Tobler i 1970 (Longley et al., 2001). Kriging, som anvendes i denne undersøgelse, er en geostatistisk interpolationsmetode, som udnytter den spatielle (geografiske) variation i datamaterialet ved at fremstille kontinuerte fladekort på baggrund af et semivariogram, som beskriver (semi-) variansen mellem punktpar med forskellig indbyrdes afstand (Burrough & McDonnell, 1998).

Geostatistiske interpolationmetoder baserer sig på jordbundsprøver, som er indsamlet i regulære grids på markniveau. Den optimale grid størrelse varierer mellem olika jordar (men beror även på provtagningsmetodik som t ex hur många delprover ett jordprov består av och över hur stor yta dessa delprover är tagna), men har ofta visat sig vara något mindre än 100 m. Moran et al.(1997) anger den optimala gridstorleken till 60-100 m och i amerikanska rekommendationer sägs att gridstorleken inte bör överstiga 70 m för att man på ett säkert sätt ska kunna kartera P, K och pH (Brouder & Morgan, 2000). Et 20 m rastergrid er ofte det ønskelige til mange anvendelser indenfor stedbestemt afgrødebehandling (med tanke på at maskinernes arbejdsbredde ofte er så stor som 24 m) og det kan være svært at med punktobservationer med op til 100 meters afstand, på et nøjagtigt sätt beskrive den reelle rumlige variation indenfor 20 meter.

Co-kriging teknikken (Burrough & McDonnell, 1998) anvender en billig attributværdi (f.eks. spektrale data) indsamlet i et tæt grid til at kortlægge en dyr attributværdi (f.eks. jordbundsressourcer i form af lerindhold) indsamlet i et mindre tæt grid. Co-kriging muliggør således kortlægning af en dyr attributværdi på et detaljeringsniveau, som varer til den spatielle opløsning af en billig attributværdi. Moran et al. (1997) anbefaler målinger af jordbundsressourcer og multispektrale billeder som datafangstmetode til kortlægning af præcise kort til stedbestedt afgrødebehandling, men der er kun få eksempler i litteraturen, hvor det er set anvendt (Bhatti et al., 1991, Ishido & Ando, 1999 og Eriksen et al., 2003).

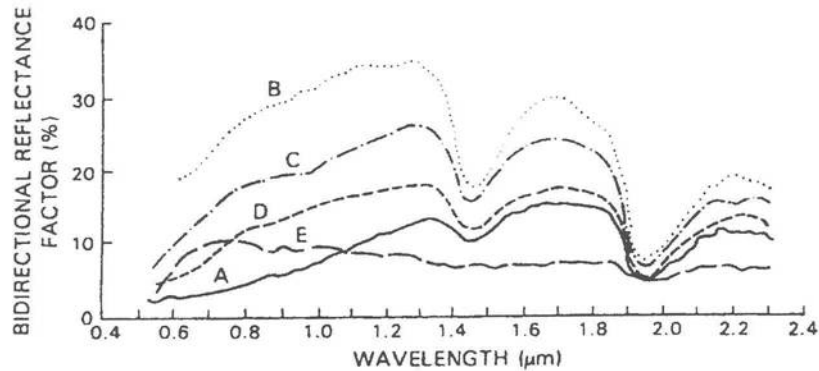
Der eksisterer i Sverige allerede et stort antal jordbundsprøver indsamlet i et 100 m grid, som er analyseret for plantenæringsstoffer, pH og organisk materiale. Det er delprojekt 1's problemstilling at analysere de nævnte svenske jordbundsdata i samspil med jordprøver over lerindholdet og spektrale satellitdata for at fremskaffe og kortlægge information om sæson stabile jordbundsforhold på markniveau. Problemstillingen undersøges ved hjælp af multivariate regressionsanalyse og co-kriging. Formålet er at validere det hensigtsmæssige i at anvende remote sensing data til strategisk prøvetagning af lerindholdet for at opnå omkostningseffektiv kortlægning af jordbundsressourcer, som kan anvendes til stedbestedt afgrødebehandling.

Teori

Jordens reflektans er karakteriseret af et overordnet spektralt continuum, som er påvirket af jordens mineralogi og heraf relaterede parametre såsom partikelstørrelsesfordeling, organisk materiale, jordbundens fugtighed og jordbundens struktur (Baumgardner et al., 1985, Irons et al., 1989).

Jordens mineralogi (stabile egenskaber) kan bestemmes på grund af elektroniske transitioner (overgange) og molekulære vibrationer i mineralernes krystalgitter. Deraf følgende spektrale forskelle i reflektans og absorption i det elektromagnetiske spektrum fra 400-2500 nm identificerer direkte jernoxider, lermineraller og karbonater (Sommer et al., 1998).

Jordens egenskaber (mineralogi, tekstur og mængden af organisk materiale) påvirker desuden størrelsen af reflektans og absorption i de relevante spektrale områder. Figur 1 viser fem forskellige reflektanskurver, der kan identificeres på baggrund af jordbundens egenskaber (Baumgardner et al., 1985).



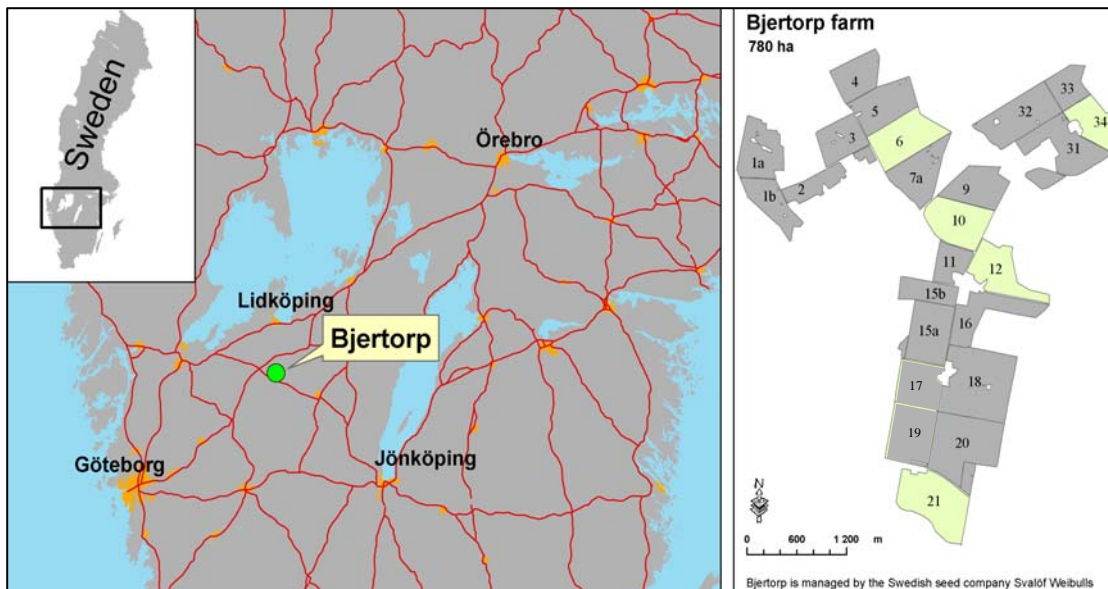
Figur 1: Karakteristiske bidirektionel reflektansfaktor fra jord. Kurve (A) moden fin teksturel jord med højt (> 2%) indhold af organisk stof; (B) umoden jord med lavt (< 2%) indhold af organisk stof og lavt (< 1%) jernoxid indhold; (C) moden jord med lavt (< 2%) indhold af organisk stof og medium (1-4 %) indhold af jernoxider; (D) moderat grov teksturel jord med højt (> 2%) indhold af organisk stof og lavt (< 1%) indhold af jernoxider; (E) fine teksturel jord med højt (> 4%) indhold af jernoxider (fra Baumgardner et al., 1985).

Jordens *egenskaber* (stabil information) over en årrække kan antages at være konstant over tid, mens jordens *tilstand* (instabil information) er ikke-konstant over tid. Det spektrale signal fra jorden indeholder information både om de stabile egenskaber såsom mineralogi, organisk materiale, tekstur og struktur og om de instabile tilstande såsom forskelle i jordbunds-fugtighed, delvist vegetationsdække og belysningseffekter (Irons et al., 1989).

Materialer og metoder

Studieområde

Undersøgelingsområdet er Bjertorp, Västra Götaland, Sverige. Figur 2 viser den geografiske placering og fordelingen af marker med jordbundsprøver, der indgår i undersøgelsen.



Figur 2: Bjertorps beliggenhed og udbredelse. Numre angiver markfelt / skiftesnr. Hvide (ljusgrå) markfelter angiver marker med jordbundsprøver indsamlet i 2000. Grå markfelter angiver marker med jordbundsprøver indsamlet i 1995 og 1997 (markfelt 1A).

Jordbundsdata

Jordbundsprøverne, der indgår i undersøgelsen er indsamlet i 1995, 1997 og 2000. Der er indsamlet 595 prøver i 1995 i et regulært gridnet på ca. 100 m, og 610 prøver tilsammen i 1997 og 2000 i et regulært gridnet på ca. 50 m (figur 2). De 595 prøver er bestemt med hensyn til plantenæringsstoffer, pH og organisk materiale; de 610 prøver er bestemt med hensyn til plantenæringsstoffer, pH, organisk materiale og jordens lerindhold i procent. Support arealet for hver af de 1205 jordbundsprøve er en horisontelt integreret cirkel med radius på 5 m og en vertikalt integreret dybde mellem 0-0.20 m.

I analysen anvendes lerindhold i procent (ler%) og kalium (K) bestemt ved hydro-klorid (HCl) – metoden (KHCl). Hydro-klorid metoden anvendes til at måle det samlede indhold af det pågældende næringsstof.

Satellitdata

Satellitdata, der anvendes i undersøgelsen er spektrale data fra Landsat-7 ETM+ (figur 3). Satellitbilledet er fra den 14. marts 2003. Metadata for satellitdata fremgår af tabel 1.



Figur 3: Colorinfrarød (CIR) komposition af Landsat-7 ETM+ over Bjertorp. Billedet er optaget den 14. marts 2003. Lyse felter 1a og 1b er brakmarker (sv: træda), 5 er permanent græs. 15a og b, 10, 18, 21 og delvist 16 viser et højere signal i nærinfrarød (NIR) og de spektrale data på disse marker ser ud til at være påvirket af afgrødens fremvækst

Tabel 1: Metadata for de multispektrale satellitdata fra Landsat-7 ETM+, der er anvendt i undersøgelsen.

Optagedata		Geometriske data		Spektrale data	
Mission	Landsat-7	Geometrisk		TM1	Blue
Instrument	ETM+	processering	2C	TM2	Green
Scene ID	195-019	X-dim	25 m	TM3	Red
Dato	3/14/2003	Y-dim	25 m	TM4	Near Infra-Red (NIR)
Tidspunkt	9:06:01	Projektion	Transverse	TM5	Middle Infra-Red (MIR)
Sol azimuth	159.2		Mercator	TM6	Thermal Infra-Red (TIR)
Solhøjde	27.1	Sfæroide	Bessel 1841	TM7	Middle Infra-Red (MIR)

I analysen anvendes ukalibrerede DN-værdier uden atmosfærisk korrektion.

Det fremgår af figur 3, at jorden stort set er snefri og uden vegetation dog således, at der er et højere signal i NIR på nogle områder af marker med høstafgrøder, hvor væsksten af afgrøder er i fremdrift. Græsmarker (muligvis flerårige, skiftesnr. 5) og brakmarker (skiftesnr. 1A og 1B) har en markant anderledes refleksion i CIR-billedet, hvor markerne fremtræder helt lyse. Det er stort set samme farve, som golfbanen centralt i billedet. Der kan være tale om frost, der er fanget i vegetation og ikke er smeltet som på de mørke mere vegetationsløse marker, hvor solstrålingen nemmere absorberes og jorden dermed opvarmes hurtigere.

Alle markparceller anvendes i den multivariate regressionsanalyse. I co-kriging processen udelades marker, der fremtræder lyse på CIR billedet (skiftesnr. 1A, 1B og 5).

Lineær regression

Sammenhængen mellem KHC1 og ler% er bestemt ved hjælp af simple lineær regression.

Den optimale regression mellem mellem KHC1 og spektrale Landsat-7 ETM+ data og mellem ler% og spektrale Landsat-7 ETM+ data er beregnet ved at teste alle lineære kombinationer mellem de uafhængige spektrale data og ler% henholdsvis KHC1. Algoritmen fitter alle regressioner ved først at teste en uafhængig variable, dernæst alle kombinationer af to uafhængige variable, dernæst alle kombinationer af tre uafhængige variable osv. (NCSS, 2000).

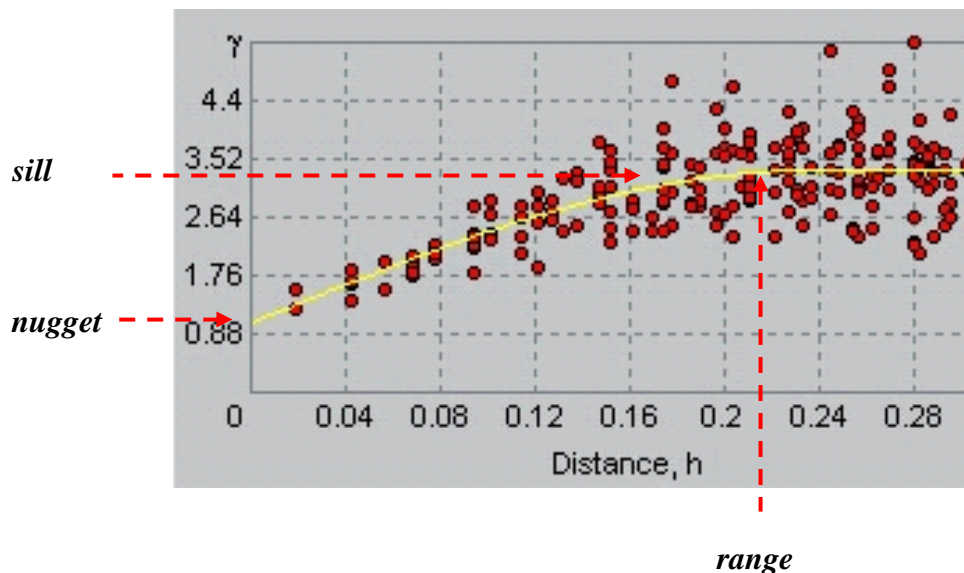
Kriging og co-kriging

Kriging og co-kriging er foretaget ved at anvende Geostatistical Analyst i ArcMap (ESRI, 2001). Kriging er en geostatistisk (og dermed stokastisk og eksakt (om man bortser fra ev. måtfel)) interpolationsmetode, som adskiller sig fra deterministiske interpolationsmetoder ved at undersøge den spatielle struktur og autokorrelation for de målte data og derefter tillægge data en vægtning i forhold til deres indbyrdes position og retning.

Udgangspunkt for vægtningen er et variogram over semivariansen. Semivariansen beregnes som den halve middelværdi af de kvadrerede differencer mellem alle par af punktobservationer adskilt af en given forskydningsvektor. Forskydningsvektoren benævnes lag-afstanden (engelsk: lag = forskydning) og svarer i praksis til afstanden mellem observationer (Webster & Oliver, 2001). Størrelsen af lag-afstanden ændres med et multiplum og der fås for alle afstande mellem punktpar et sæt af varians værdier, der tilsammen udgør det eksperimentelle semivariogram. Produktet af multiplum og lag-afstanden sættes i praksis lig med halvdelen af den længste forskydningsvektor i datasættet (Webster & Oliver, 2001).

Semivariogrammet afbilleder lag-afstanden på x-aksen og semivariansen på y-aksen. Hvis et datasæt udviser spatiel korrelation, vil det fremgå af semivariogrammet, at der er lav semivarians mellem punkterpar, der har en kort lag-afstand og stigende semivarians mellem punktpar, der har længere lagafstand (Geografiens 1. lov).

Til det eksperimentelle semivariogram fittes en model, der beskriver de karakteristiske egenskaber ved semivariogrammet. De karakteristiske egenskaber ved semivariogrammet og dermed modellen angives som nugget, sill og range (Webster & Oliver, 2001, figur 4). Nugget beskriver måleusikkerheder og den naturlige støj i datasættet svarende til semivariansen ved meget lille lag-afstand (tæt på 0), sill beskriver den maksimale semivarians beregnet mellem punktpar, der er så langt fra hinanden, at de ikke længere er spatielt autokorrelerede og range beskriver den lag-afstand, hvor observationerne ikke længere er autokorrelerede.



Figur 4: Plot af et eksperimentelt semivariogram. X-aksen angiver lag-afstanden mellem 2 punkter i et punktpar. Y-aksen viser semivariansen. En matematisk model (gul kurve) er tilpasset punktsværmen. Semivariogrammet beskrives ved tre parametre nugget, sill og range, som er vist på figuren og defineret i teksten. Forskellen mellem nugget og sill benævnes partial sill (fra Eriksen et al., 2003).

De mest anvendte semivariogrammodeller til kriging interpolation af jordbundsvariable er den sfæriske og den eksponentielle (Webster & Oliver, 2001). Den mest anvendte

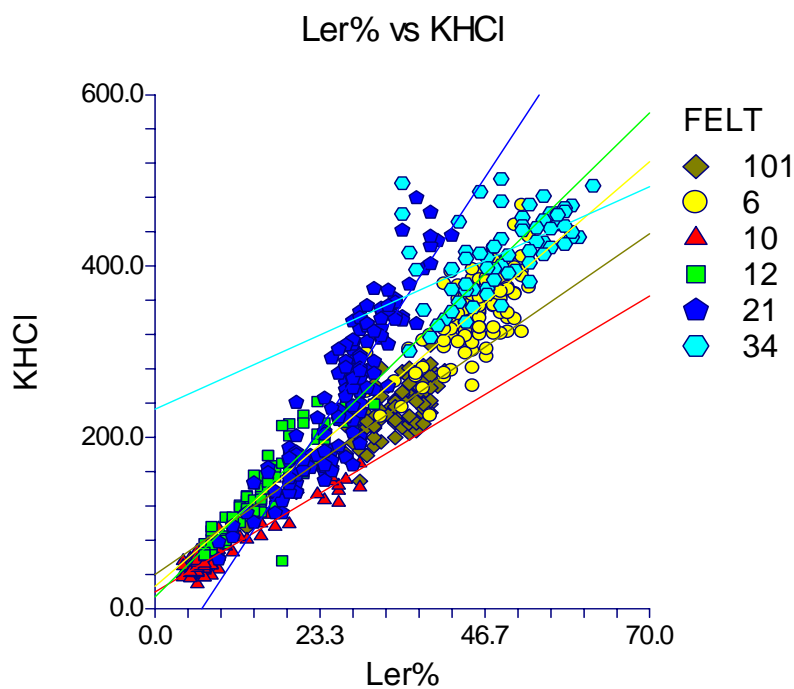
interpolationsmetode til geostatistisk interpolation af jordbundsvariable er ordinær block kriging (Webster & Oliver, 2001).

Udover semivariogrammet for begge variable, kræver co-kriging information om den fælles spatielle covariation svarende til kryds-semivariansen eller kryds-covariansen. Et co-kriget estimat er et vægtet gennemsnit, hvor værdien af den ressourcekrævende variabel i et punkt estimeres som en lineær vægt sum af den ikke-ressourcekrævende co-variable (Webster & Oliver, 2001).

Resultater og diskussion

Regressionsanalyse

Sammenhængen mellem ler% og KHCl er vist grafisk i figur 5. Det fremgår, at spredningen stiger med stigende lerindhold og at sammenhængen mellem ler% og KHCl er størst ved lavt lerindhold.



Figur 5: Grafisk fremstilling af sammenhængen mellem ler og KHCl. Felt 101 svarer til felt 1A. Regressionslinier på markniveau er indtegnet.

Regressionslinier på markniveau er indtegnet på figur 5. Regressionslinierne for mark 101 (1A) og 12 er parallelforskudte, mens de øvrige regressionslinier krydser hinanden.

Regressionen af KHCl på ler% for hele datasættet fremgår af ligning 1.

$$Ler\% = 0,113 KHCl + 2,365$$

ligning 1

$$r^2 = 0,877 \quad p < 0,05 \quad RMSE = 5,33 \quad \text{Antal observationer} = 610$$

Med udgangspunkt i ligning 1, beskriver indholdet i KHCl omtrent 88% af variationen i lerindholdet.

Sammenhængen mellem spektrale data fra Landsat-7 ETM+ og ler% fremgår af ligning 2.

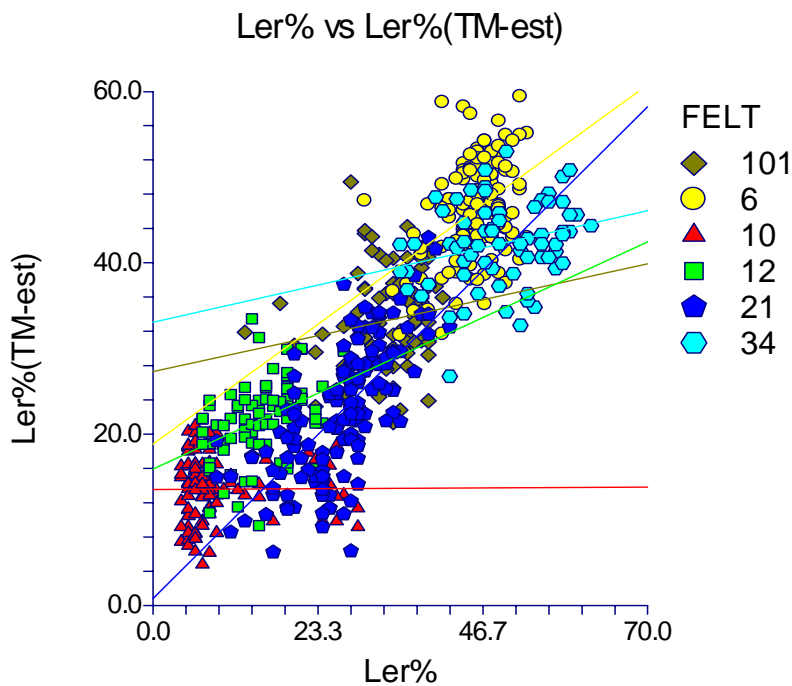
$$Ler\% = 2,190 \times TM2 - 1,507 \times TM5 + 4,307 \times TM6 - 409,960$$

ligning 2

$$r^2 = 0,749 \quad p < 0,05 \quad RMSE = 7,65 \quad \text{Antal observationer} = 610$$

Med udgangspunkt i ligning 2, beskriver Landsat-7 ETM+ kanal 2, 5 og 6 omkring 75% af den samlede variation i lerindholdet. En multiple lineær regression mellem KHCl og spektrale Landsat-7 ETM+ data, hvor kanaler 2, 5, 6 og 4 beregnes som de mest betydende kanaler for sammenhængen, har en regressionskoefficient r^2 på 0,608. De spektrale data er således væsentligt bedre korreleret til ler% end til KHCl.

Figur 6 viser den grafiske sammenhæng mellem målt og estimeret lerindhold på baggrund af ligning 2.



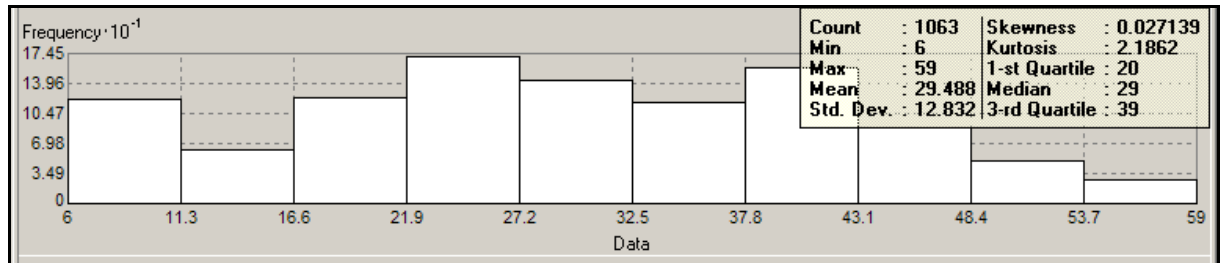
Figur 6: Grafisk fremstilling af sammenhængen mellem målt lerindholdet ($ler\%$) og lerindhold estimeret ved hjælp af Landsat TM+ data ($ler\%(TM-est)$). Felt 101 svarer til felt 1A. Regressionslinier på markniveau er indtegnet.

Det fremgår af figur 6, at der er stor forskel på sammenhængen mellem målt $ler\%$ og $ler\%$ estimeret ved anvendelse af Landsat-7 ETM+ spektrale data på markniveau. Især mark 10 er meget dårligt bestemt under anvendelse af ligning 2. En lineær regression på 104 prøver for mark 10 alene, viser at de mest betydende Landsat-7 ETM+ kanaler for denne mark er kanal 1, 3, 5 og 6. Regressionskoefficienten er $r^2 = 0.45$ for mark 10 alene.

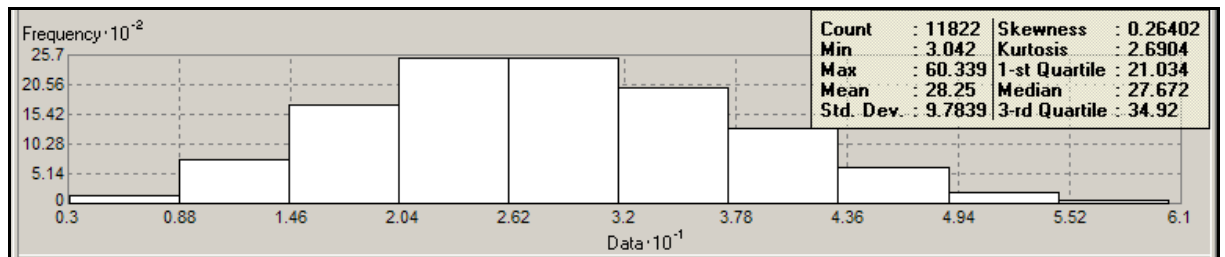
Sammenhængen mellem $ler\%$ og KHCl angivet i ligning 1 og sammenhængen mellem $ler\%$ og spektrale data angivet i ligning 2 er anvendt til at estimere $ler\%$ ved de to forskellige datafangstmetoder. Sidstnævnte er gjort ved først at konvertere pixelværdier i satellitbilledet til en punktværdi for centroiden, og dernæst at behandle punktværdien med ligningsudtrykket. $ler\%$ er beregnet for hele Bjertorp undtaget skiftesnr 1A, 1B og 5. Der er nu tilvejebragt et datasæt af lerindholdet bestående af ialt 1063 punktværdier bestemt ved hjælp af KHCl ($ler\%(KHCl-est)$) og et datasæt af lerindholdet bestående af i alt 11822 punktværdier bestemt ved hjælp af Landsat-7 ETM+ data ($ler\%(TM-est)$). De to datasæt indgår i co-kriging processen til kortlægning af $ler\%$.

Kriging og co-kriging

Kriging og co-kriging er afhængig af normaltfordelte datasæt. De to datasæt ler%(KHCl-est) og ler%(TM-est) er undersøgt for deres statistiske fordeling (figur 7 og 8).



Figur 7: Histogram og deskriptiv statistik af ler%(KHCl-est). Bemærk: Frekvens er lig med ($\cdot 10$) og ikke ($\cdot 10^{-1}$).



Figur 8: Histogram og deskriptiv statistik af ler%(TM-est).

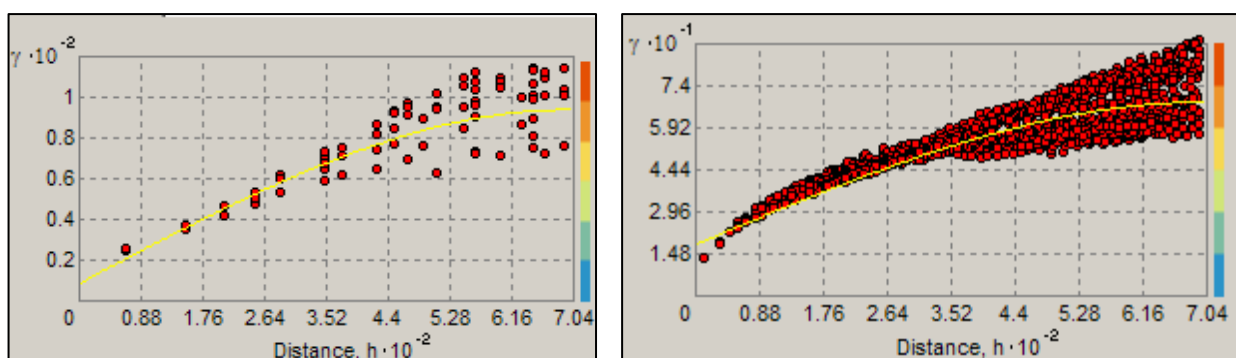
Det fremgår af figur 7 og 8, at de to datasæt ligner hinanden meget. De har stort set samme middelværdi (29,5% og 28,3%) og maximum værdi (59% og 60,3%). Minimum værdien er lidt lavere for ler%(TM-est), hvor den mindste estimerede værdi er 3,0%. Den mindste estimerede værdi for ler%(KHCl-est) er lig med 6%. Ler%(TM-est) er en smule mere højre skæv end ler%/KHCl-est), hvilket ses af skævheden, som er henholdsvis 0,26 og 0,03. Begge datasæt har en skævhed på under 0,5, hvilket betyder, at de tilnærmer sig normalfordelingen i en sådan grad, at de ikke behøver at transformeres inden kriging (Webster & Oliver, 2001).

Der er beregnet et eksperimentel semivariogram for ler%(KHCl-est) og ler%(TM-est) for at få et overblik over data inden kriging og co-kriging og et eksperimentel kryds-semivariogram ler%(cokrg) inden co-kriging. Data for semivariogrammerne fremgår af tabel 2. Lag-afstanden for de to datasæt er sat lig med samplingafstanden. Antallet af lags i ArcGIS skal mindst være syv, hvilket for ler%(KHCl)'s vedkommende svarer til en samlet afstand på 700 m omtrent svarende til diagonalen på markerne. Det anbefalede produkt af lag og antal lags er den halve diagonal. Antal lags for ler%(TM-est) er sat til 28 for at arbejde indenfor den samme afstand for begge datasæt. For at opnå at modellen for semivariogrammet for ler%(cokrg) lå indenfor semivariogram-skyen, blev antallet af lags sat til 60.

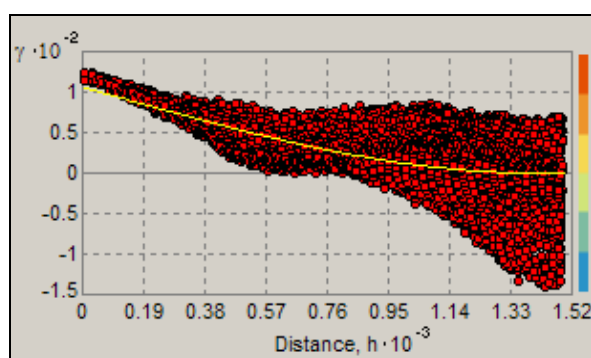
Tabel 2: Oversigt over eksperimentelle semivariogrammer og kryds-semivariogrammer.

Variable	Lag	Antal lags	Nugget	Partiel sill	Sill	Nugget/sill	Range
Ler%(KHC1-est)	100	7	8.38	85.51	93.89	0.09	696.42
Ler%(TM-est)	25	28	18.08	50.22	68.29	0.26	699.33
Ler%(cokrg)	25	60	8.3447	154.20	162.54	0.05	1438.90

Nugget/sill-værdien (tabel 2) er den samme for ler%(KHC1-est) og ler%(cokrg), mens den er noget højere for ler%(TM-est). Nugget/sill viser den procentuelle uforklarede variation, som skyldes fluktuationer i jorden over afstande, som er mindre end sampling afstanden. Nugget repræsenterer 9% af den totale varians for ler%(KHC1-est), 26% af den totale varians for ler%(TM-est) og 5% af den totale varians for ler%(cokrg). Nugget/sill forholdet for ler%(TM-est) svarer til nugget/sill forholdet i andre undersøgelser (Ishida, T. & H. Ando, 1999). Range for begge eksperimentelle semivariogrammer og kryds-semivariogrammet svarer til den samlede afstand, der er undersøgt (produktet af lag-afstand og antal lags). Auto-correlationen er dermed ikke ophørt indenfor den undersøgte afstand. Det er valgt at beholde undersøgelsesafstanden for at blive på markniveau og på grund af studieområdets arealudbredelse, da en større undersøgelsesafstanden vil give et kunstigt eksperimentelt semivariogram, da studieområdet ikke er rektangulært/kvadratisk. De eksperimentelle semivariogrammer er vist i figur 9 og kryds-covariansen er vist i figur 10.



Figur 9: Eksperimentelt semivariogram over ler%(KHC1-est)(venstre) og ler%(TM-est) (højre). Bemærk: ($\cdot 10^{-1}$) og (10^{-2}) er lig med ($\cdot 10$) og ($\cdot 10^2$).

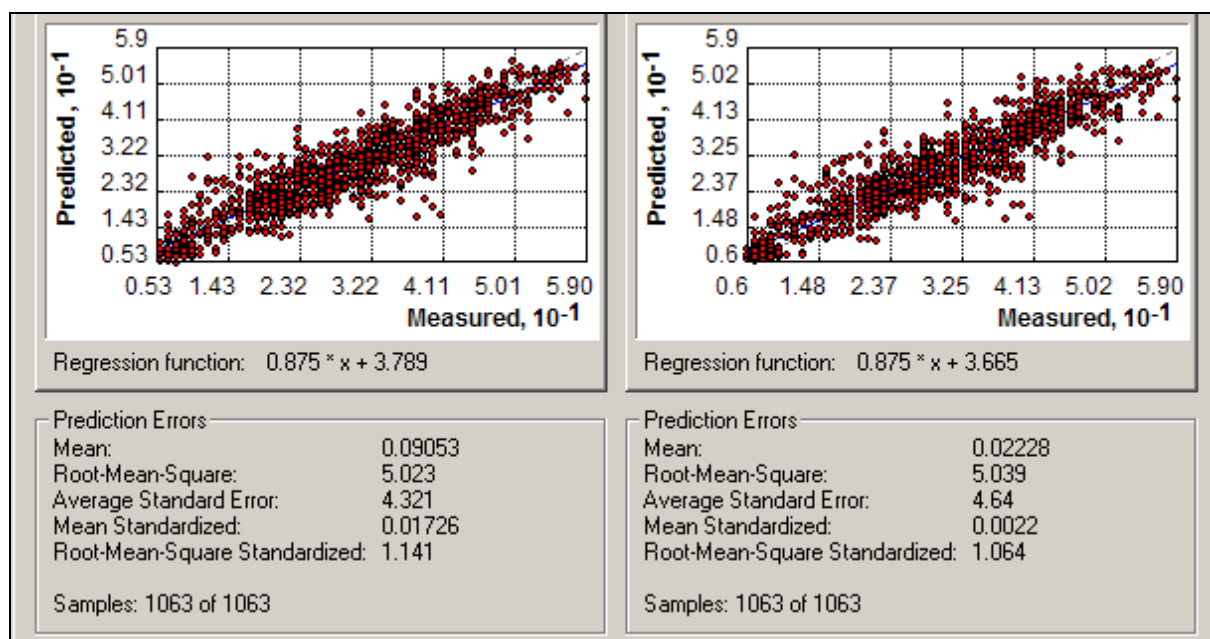


Figur 10: Kryds-covarians mellem ler%(KHC1-est) og ler%(TM-est). Bemærk: ($\cdot 10^{-2}$) og (10^{-3}) er lig med (10^2) og (10^3).

Det ses af figur 9, at semivariansen mellem punktpar stiger med stigende afstand mellem punktpar og af figur 10, at covariansen mellem punktpar falder med stigende afstand mellem punktpar. Punkter, der ligger tæt, er således mere ens end punkter, der ligger længere fra hinanden og der er tale om spatiel auto-correlation mellem datapunkter.

Interpolationen blev baseret på nord-syd orienteret kvadrant søgning, da alle datasæt var samlet i et tilnærmet regulært grid med sydvestlig-nordøstlig orientering. Antallet af naboer, der blev inkluderet i interpolationen, blev valgt på baggrund af range for semivariogrammet, således at antallet af punkter, der tilsammen anvendes til interpolationen svarer til antallet af punkter indenfor en cirkel med diameter lig med range. På denne måde normaliseres range med samplingafstanden (Webster & Oliver, 2001). I tilfælde af co-kriging blev antallet af naboer bestemt på baggrund af det samme princip anvendt på det tætte datasæt (ler%(TM-est)).

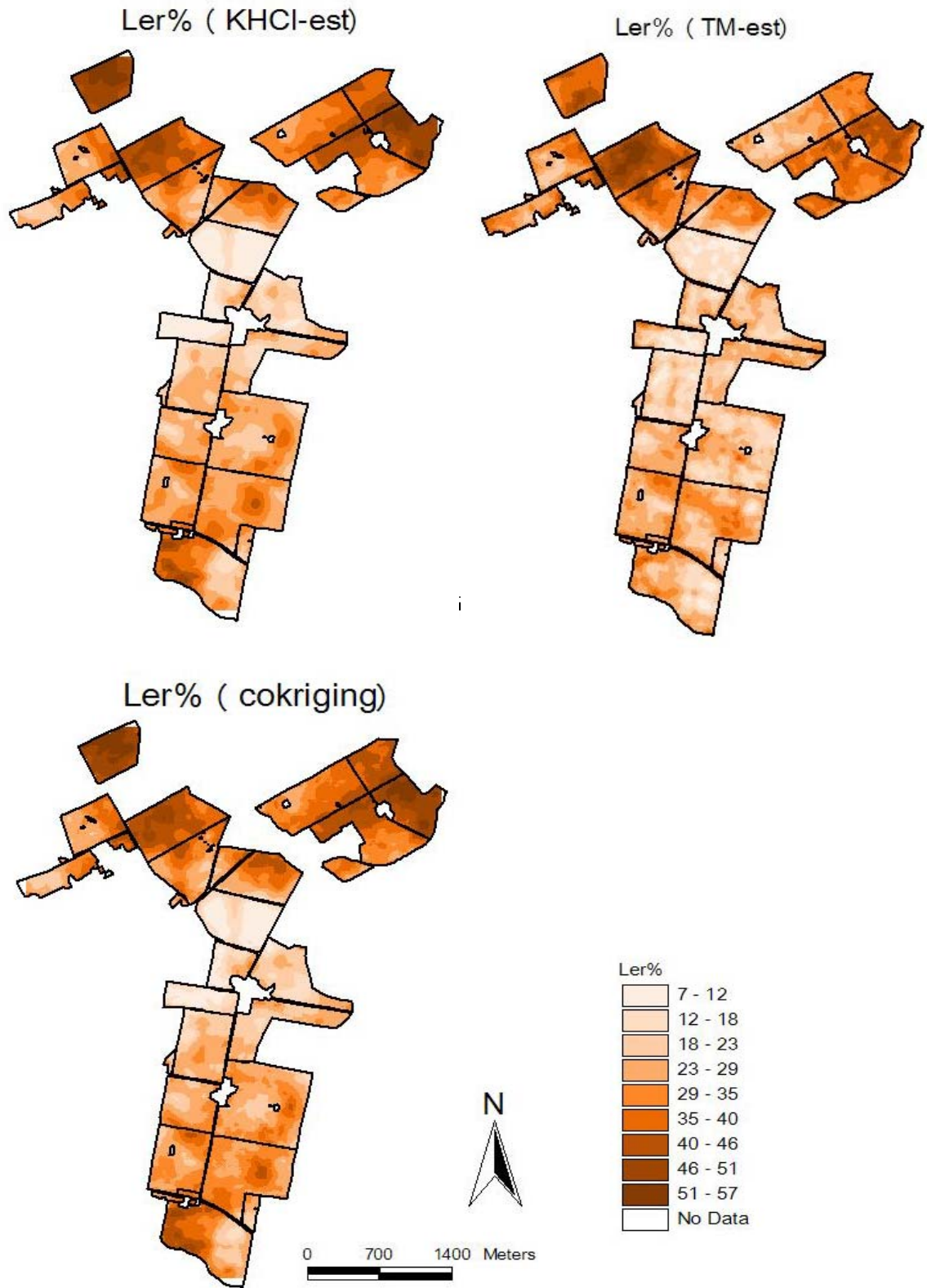
Krydsvalidering af kriging af lerindhold på baggrund af feltdata (ler%(KHC1-est) og af co-kriging af lerindhold på baggrund af feltadata og Landsat ETM+ data (ler%(cokrg) er vist i figur 11.



Figur 11: Sammenligning af krydsvalidering. Krydsvalidering af ler%(cokrg) er vist i venstre diagram og krydsvalidering af ler%(KHC1-est) er vist i højre diagram. Bemærk: Predicted og measured er lig med (* 10) og ikke (* 10⁻¹).

Figur 11 viser, at den gennemsnitlige absolutte afvigelse mellem målt og estimeret værdi (Mean) er tæt på nul, hvilket stemmer overens med, at kriging er en unbiased interpolator og det viser, at der ikke optræder systematiske fejl i modellen. Den gennemsnitlige standardfejl (Average Standard Error, ASE) er en smule bedre for ler%(cokrg) end for ler%(KHC1) svarende til 4,3% mod 4,6%. Det gælder for begge interpolationer, at ASE er mindre end kvadratroden af den gennemsnitlige kvadrerede afvigelse mellem observeret og estimeret værdi (Root-Mean-Square), hvilket betyder, at variabiliteten underestimeres en smule for de estimerede værdier.

De interpolerede kort for alle tre interpolationsmetoder er vist i figur 12. Figur 12 viser, at der er overordnet sammenfald mellem datafangst- og interpolationsmetoder. Ler%(TM-est) giver et mere detaljeret mønster end ler%(KHC1-est) på grund af afstanden mellem datapunkter. Det co-krigede estimat kombinerer tydeligt informationen fra de to datafangsmetoder. Mark 10 (se figur 2 og 3 for placering) understreger, at den anvendte sammenhæng mellem ler% og spektrale data angivet i ligning 2, beskriver variationen i ler%(TM-est) dårligt for denne mark. Ler%(cokrg), viser, at cokriging-teknikken kompenserer for denne problematik.



Figur 12: Kortlægning af ler% under anvendelse af forskellige datafangst- og interpolationsmetoder.

Konklusion

Delprojekt 1 har vist, at indholdet af kalium bestemt ved HCl-metoden, er signifikant korreleret til lerindholdet med en regressionskoefficient r^2 på 0,88. Ukalibrerede Landsat-7 ETM+ data er signifikant korreleret til lerindholdet med en korrelationskoefficient r^2 på 0,75. Fladekort fremstillet på baggrund af kriging af lerindhold bestemt ved KHC1-metoden (ler%(KHC1-est)) sammenlignet med fladekort fremstillet på baggrund af kriging af Landsat-7 ETM+ data (ler%(TM-est)) viser rimelig stor visuel overensstemmelse. Det er dog påkrævet med en absolut opgørelse over lerindholdet før en endelig vurdering kan fastholdes.

De allerede etablerede svenske jordbundsdata med målinger af KHC1 i et 100 m grid ser ud til at være tilstrækkelig informationsgivende til fremstilling af fladekort, der kan anvendes til stedbestedt afgrødebehandling. Remote sensing data med 25m gridstørrelse bidrager tilsynladende ikke med megen ekstra information, man bør dock då ha i åtanke att förutsättningarna vad gäller grödor m m på alla fält som tagits med i beräkningarna inte var de samma. Regression til omsætning fra KHC1 til ler% må antages af være områdespecifik og at skulle beregnes på baggrund af jordprøver af lerindholdet for det aktuelle område, der skal kortlægges. Stratificeret prøvesampling kan dog ligesåvel planlægges på baggrund af KHC1 data som på baggrund af remote sensing data. Det er sandsynligt, at co-kriging af ler% med ler%(KHC1-est) vil give et bedre estimat end kriging af ler%(KHC1-est) alene.

Remote sensing data vil være ressourcebesparende til kortlægning af ler% på marker, hvor der ikke allerede eksisterer et jordbundsdatasæt over KHC1. Kvaliteten af kortlægningen vil være afhængig af regression mellem ler% og spektrale data. Dette datasæt viser, at en korrelation på markniveau vil kunne forbedre prædiktion af lerindholdet. Co-kriging teknikken ser dog ud til at kompensere herfor ved at fastholde og overføre den spatielle variation fra de ressourcekrævende jordbundsdata til de mindre ressourcekrævende spektrale data.

De spektrale data vil kunne anvendes til stratificeret prøvesampling med henblik på en regression af spektrale data på ler%. Det vil være nødvendigt at overveje om regressionen kan anvendes indenfor et større område eller om der skal foretages en regression på markniveau. De etablerede jordbundsdata over KHC1 vil kunne anvendes til at undersøge om regressionen mellem KHC1 og spektrale data ændrer sig på markniveau og indenfor det sydsvenske område som helhed. Yderligere geodata i form af geologiske og geomorfologiske kort vil være et godt udgangspunkt for stratificering af udgangsmaterialets egenskaber.

Geostatistik og remote sensing data til kortlægning af jordbundsressourcer har vist sig at være brugbare interpolations- og datafangstmetoder. Der er udgangspunkt for at gå videre med at undersøge mulighederne for at foretage omkostningseffektiv stratificeret prøvesampling ved hjælp af remote sensing data med det formål at kortlægge information om jordbundsressourcer til fremme af stedbestedt afgrødebehandling.

Litteratur

- Agbu, P.A, D.J. Fehrenbacher & I.J. Jansen, 1990: Soil property relationships with SPOT satellite digital data in East Central Illinois. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54: 807-812.
- Baumgardner, M.F., L.F. Silva, L.L. Biehl & E.R. Stoner, 1985: Reflectance properties of soils. *Advances in Agronomy*, 38: 1-44.
- Bell, J.C., C.A. Butler & J.A. Thomsen, 1995: Soil terrain modeling for site-specific agricultural management. In *Proc. Site-Specific mgmt for Agric. Cys*, 27-30 March 1994, Minneapolis, MN, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI: 209-227.
- Bhatti, A.U., D.J. Mulla & B.E. Frazier, 1991: Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and Thematic Mapper Images. *Remote Sens. Environ*, 37: 181:191.
- Brouder, S. & Morgan, M. 2000: Soil Sampling and Analysis. In: Lowenberg-DeBoer, J. *Precision Farming Profitability. Agricultural Research Programs*, Purdue University, West Lafayette, IN, USA, 75-81.
- Burrough, P.A. & R.A. McDonnell, 1998: *Principles of Geographic Information Systems*. ISBN 0-19-823365-5.
- Chen, F., D.E. Kissel, L.T. West & W. Adkins, 2000: Field-scale mapping of surface soil organic carbon using remotely sensed imagery. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 746-753.
- Coleman, T.L, P.A. Agbu & O.L. Montgomery, 1993: Spectral Differentiation of Surface Soils and Soil Properties: Is it Possible from Space Platforms ? *Soil Science*, 155: 283-293
- Eriksen, T.H., L. Krogh & A. Jacobsen, 2003: Revising the invention of Danish soil resources - a GIS and geostatistical analysis of soil data, EM-38 data and airborne multispectral digital images compared with the existing Danish soil classification. Master Thesis, Master of Technology Management in Geo Informatics. University of Aalborg, Denmark. Unpublished. In Danish.
- ESRI, 2001: *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*.
- Irons, J.R., R.A. Weismiller, G.W. Petersen, 1989: Soil Reflectance. In: *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. Ed: Asrar. Wiley. N.Y.
- Ishida, T. & H. Ando, 1999: Use of disjunctive co-kriging to estimate soil organic matter from Landsat Thematic Mapper image. *Int. J. Remote Sensing*, 20: 1549-1565.
- Jacobsen, A. & M. Söderström (2001): Analyse af samspillet mellem multispektrale satellitbilleder, jordbundsdata og N-sensor data. Delprojekt 2. Projekt 00980: Information i IR-data og SPOT XS-data. Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. for Landskabsøkologi, Danmark. Upubliceret projektrapport for VL-stiftelsen, Svenska Lantmännen, Lidköping.

Longley, P.A., M.F. Goodchild, D.J. Maguire & D.W. Rhind, 2001: Geographic Information Systems and Science. John Wiley & Son's Ltd, England. ISBN: 0-471-89275-0.

Moran, M.S., Y. Inoue & E.M. Barnes, 1997: Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. *Remote Sens. Environ.* 61: 319-346.

Moore, I.D., P.E. Gessler, G.A. Nielsen & G.A. Peterson, 1993: Terrain analysis for soil specific crop management. In: *Soil Specific Crop Management* (Eds.: P.C. Robert et al.), SSSA, Madison, WI: 27-56.

NCSS, 2000: Software for statistical analysis, www.ncss.com.

Palacios-Orueta, A. & S.L. Ustin, 1998: Remote sensing of soil properties in the Santa Monica Mountains I. Spectral Analysis. *Remote Sens. Environ.*, 65: 170-183.

Sommer, W., M. Wehrman, M. Zipprich, U. Weller, W. zu Castell, S. Erich, B. Tandler, T. Selige, 1998: Hierarchical data fusion for mapping soil units at field scale. *Geoderme*, 112: 179-196.

Varvel, G.E., M.R. Schlemmer & J.S. Schepers, 1999: Relationship between spectral data from an aerial image and soil organic matter and phosphorus levels. *Precision Agriculture*, 1: 291-300.

Webster, R. & Oliver, M.A., 2001: *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley & Sons, Chichester.

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.(red.), 2005. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige (POS) 2003-2004.
4. Delin, S.(red.), 2006. Verksamhetsberättelse för Precisionsodling Sverige, POS, 2005.
5. Delin, S.(red.), 2006. Dokumentation från seminariet ”Precisionsodling - avstämning av verksamhet och vision hos olika aktörer”, Skara den 19 april 2006
6. Söderström, M., 2006. PrecisionWizard – gör styrfiler till FarmSiteMate och Yara N-Sensor.
7. Söderström, M., och Nissen, K., 2006. Insamling av GIS-data och navigering med GPS
8. Engström, L., Börjesson, T och Lindén, B. 2007. Beståndstäthet tidigt på våren i höstvetete – samband med skörd, topografi, förrådskalium och biomassa (Yara N-sensor- och NIR-mätningar)
9. Delin, S.(red.), 2007. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2006.
10. Söderström, M., Wijkmark, L., Martinsson, J. och Nissen, K., 2008. Avstånd mellan körspår – en jämförelse mellan traditionell spårmarkör och autostyrning med GPS.
11. Söderström, M., Gruvaeus, I. och Wijkmark, L., 2008. Gammastrålningsmätning för detaljerad kartering av jordarter inom fält
12. Söderström, M., 2008. PrecisionWizard 3 – hantera precisionsodlingsdata och gör egna styrfiler till Farm Site Mate och Yara N-Sensor .
13. Börjesson, T., Lorén, N., Larsolle, A., Söderström, M., Nilsson, J. och Nissen, K. 2008. Bildanalys som redskap för platspecifikt ogräsbekämpning .
14. Lundström, C. (red); 2008. Verksamhet i AGROVÄST-projektet Precisionsodling Sverige, POS, 2007 .
15. Söderström, M. 2008. Den traditionella markkarteringens användbarhet för precisionsodling.

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 och Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI).

Distribution:

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för mark och miljö
Precisionsodling och pedometri
Box 234, 532 23 SKARA

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