

Mineralkvävevariationer inom fält

Effekt på avkastning och produktkvalitet

*Variations in soil mineral nitrogen within fields
Effects on crop yield and quality*

Per-Anders Algerbo
Lars Thylén
Lennart Mattsson

© **JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik 2000**

Enligt lagen om upphovsrätt är det förbjudet
att utan skriftligt tillstånd från copyrightinnehavaren
helt eller delvis mångfaldiga detta arbete.

Innehåll

Förord.....	5
Sammanfattning	7
Syfte	8
Bakgrund.....	8
Kväveeffektivitet.....	8
Växtplatsanpassad odling.....	9
Datainsamling.....	10
Bearbetning och analys av data	10
Beslut	11
Åtgärd.....	12
Material och metoder	12
Fältförsök	12
Grödor och gödselgivor	13
Klorofyllmätning i gröda	13
Jordprovtagning	13
Skörd.....	13
Databearbetning	14
Beräkning av kväveeffektivitet.....	14
Avkastnings- och markvariationer.....	14
Rumsliga variationer och behövlig provtagningsintensitet	14
Resultat	14
Variationer i klorofyllinnehåll, avkastning och proteininnehåll	14
Temporala variationer i avkastning, klorofyll- och proteininnehåll.....	15
Variationer i halmskörd och dess N-innehåll.....	16
Mineralkvävemängdens variation	16
Temporala variationer i mineralkväve.....	17
Samband mellan avkastnings- och markvariationer.....	18
Kvävebalans	20
Rumsliga variationer	22
Traditionella markanalyser	22
Mineralkväveanalyser.....	24
Grödans variation	24
Diskussion.....	25
Referenslista.....	26

Förord

Föreliggande undersökning har utförts av JTI i samarbete med Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), institutionen för markvetenskap. Projektet pågick under perioden 1997 till 1999 och är finansierat av Jordbruksverket. För projektets genomförande har arbetet vid JTI i huvudsak utförts av Lars Thylén och Per-Anders Algerbo medan arbetet vid SLU utförts av Lennart Mattsson.

Med de resultat som erhöles säsongen 1997 genomförde Karl Eriksson och Martin Niklasson ett examensarbete inom agronomprogrammet med inriktning på kväveeffektivitet. Arne Gustafson vid institutionen för markvetenskap, avdelningen för vattenvårdslära, var examinator. Examensarbetet är presenterat i JTI:s rapportserie Lantbruk & Industri nr 245.

Till alla som bidragit till projektets genomförande framför JTI ett varmt tack.

Ultuna, Uppsala i juni 2000

Lennart Nelson

Chef för JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Sammanfattning

Växtnäringsförluster från jordbruksmark innebär dels en ekonomisk förlust för lantbrukaren, dels en miljöbelastning på vattendrag, sjöar och hav. Förlusterna av växtnäring är som störst på hösten och tidigt på våren innan grödorna etablerat sig och då det finns ett överskott på vatten i markprofilen. Att med odlingsåtgärder minska mängden kväve som kan lakas ut har studerats under ett antal år. Exempel på åtgärder är bland annat minskad och senarelagd jordbearbetning på hösten samt insådd av fånggrödor.

Andra viktiga faktorer som påverkar utlakningen av exempelvis kväve är mängden restkväve som finns i jorden efter skörden, samt den följande grödans förmåga att ta upp kväve. Att minska mängden restkväve i marken kan studeras dels över hela fält, dels genom att studera mindre delar inom fält.

Inom precisionsjordbruket studerar man olika faktorer variation över en yta och utifrån denna kunskap försöker man optimera tillförseln av insatsmedel och odlingsåtgärder. Målen med att optimera tillförseln av insatsmedel är ofta odlings-ekonomiska, men även produktkvaliteten är en viktig faktor. Dessa mål står inte i motsatsförhållande till att reducera förluster av växtnäringsämnen inom fält.

Projektets syfte var att studera samband mellan kväveeffektivitet och skördevariationer inom fält. Även samband mellan jordart, markkemiska parametrar och variationer i kväveeffektivitet samt skörd studerades. I projektet studerades också de olika parametrarnas rumsliga variation för att ta reda på vilken provtagnings-täthet som behövs för att kartera olika parametrar.

På ett försöksfält utanför Uppsala fastlades 79 parceller (ca 8 parceller/ha) under projektets tre år. Avståndet mellan parcellerna var 36 meter. Grödorna som odlades under projektets gång var höstvet (1997), vårkorn (1998) och vårvete (1999). Under projektets tre år påverkades försöket på olika sätt. 1997 var ett avkastningsmässigt bra år, 1998 var extremt blött vilket medförde stora svampangrepp och mycket liggsäd, 1999 var mycket torrt. Parcellerna fick samma kvävegiva och den kemiska bekämpningen som gjordes var den samma som för resten av fältet.

Mineralkväveprover togs på våren direkt före spridning av kvävegödsel och på hösten direkt efter skörd. 1997 togs också traditionella jordprover som analyserades med avseende på pH-värde, P-AL, K-AL samt ler- och mullhalt. Under odlingsåsongen mättes grödans klorofyllhalt med Hydro Agris kalksalpetermätare. Försöksytorna skördades med en parcellskördetröska och i samband med skörd vägdes ett spannmålsprov in för analys. I samband med skörd registrerades också halmskörden.

Avkastningen de tre försöksåren varierade mycket. 1997 var ett bra år medan avkastningen både 1998 och 1999 var under medel. 1998 var dessutom ett mycket blött år med kraftig liggsäd som följd. Då man studerar variationer i mineralkväve ser man att mängden mineralkväve minskar från vårprovtagningen till höstprovtagningen. Det fanns dock inget tydligt samband mellan mängden upptaget kväve och mängden mineralkväve i jorden.

Faktorer som inom fältet verkar ha inverkat på mängden upptaget kväve inom fältet var bland föregående års skörd, markens lerhalt och pH-värde samt mineralkvävemängden på våren. Av dessa faktorer var återkommande föregående års

skörd den viktigaste förklaringsfaktorn. Sambandet mellan mängden mineralkväve i marken på våren och kväveupptaget var genomgående negativt, vilket kan tyckas underligt. Observera att detta samband registreras då vi studerar variationer inom fält och inte variationer mellan olika fält.

Både då det gäller mineralkvävevariationer och mängden upptaget kväve uppvisades stora variationer inom fältet. Variationerna var inte normalfördelade utan det fanns mätvärden som avvek ganska mycket. På vissa platser fanns mycket mineralkväve samtidigt som kväveupptaget var mycket dåligt.

Vid studier av de rumsliga variationerna fann vi att för flertalet parametrar är den behövliga provtagningstätheten varierade mellan 5-15 prov per hektar. Parametrar som var lätta att kartera var bland annat pH-värde och mullhalt medan mineralkväveproverna var helt oberoende av varandra med 36 meters provtagningsavstånd. Detta innebär att om man skall kartera mineralkvävevariationen över en yta kommer det att krävas en mycket intensiv provtagning.

Studien visar på mycket stora variationer avseende mineralkvävetillgång och kväveeffektivitet inom fält. Det fanns ett statistiskt säkerställt och återkommande negativt samband mellan mineralkväve på våren och mängden kväve som återfanns i kärnan. Om det vore möjligt att mäta mängden mineralkväve på våren online så skulle denna information innebära att kvävegivan skall sänkas på områden med mycket mineralkväve.

Syfte

Projektets syfte var att studera samband mellan kväveeffektivitet och skördevariationer inom fält. Även samband mellan jordart, markkemiska parametrar och variationer i kväveeffektivitet samt skörd studerades. Samband här emellan kan ligga till grund för att exempelvis styra kvävegiva eller planera träd inom fält och därmed förbättra kväveeffektiviteten.

Bakgrund

Kväveeffektivitet

Näringsförluster i form av bland annat kväveläckage från åkermark leder till problem med övergödning av sjöar och hav. Det kan även ge problem med grundvattnet. En del av denna övergödning är jordbruket ansvarig för och det är därför av intresse att i odlingen minimera riskerna för växtnäringsutlakning.

Kvävetillförseln på fältet kommer huvudsakligen från den giva som ges vid gödslingstillfället, markens organiska skikt samt nedfall via luften. I genomsnitt överensstämmer dock tillfört kväve via gödslingen med bortfört kväve via kärnskorde på ett fält och medför inte några större risker för kväveläckage. Urlakningen av kväve ökar däremot betydligt då gödselgivan passerat grödans behov för maximal avkastning (Jordbruksverket, 1998).

Ett resultat från utvecklingen av den så kallade växtplatsanpassade odlingen är att man konstaterat att skörden varierar mer eller mindre inom de flesta fälten (Stafford, 1997). Effekterna av dessa skördevariationer vid gödsling med konstant giva på hela fältet är att vissa delar gödslas över optimalt medan andra delar

gödsas mindre än vad grödan tar upp (Algerbo & Thylén, 1998a). Därmed kan man anta att de delar av fält med låg avkastning läcker mer än högavkastande delar. För att minska riskerna för kväveläckage är det viktigt att uppnå så hög kväveeffektivitet som omständigheterna och förutsättningarna medger.

För att anpassa kvävegivan till behovet bör hänsyn tas till markens kväveleverande förmåga på våren, helst i samband med gödslingen. Tillgängligt kväve varierar både mellan odlingsåren och inom fält. Sambanden mellan variationer inom fält med avseende på tillgängligt kväve, avkastningsvariationer och markkemiska parametrar är inte fastställda. Intressant är också om restkvävemängden på hösten följer avkastningsvariationerna, det vill säga låga nivåer kväve efter högavkastande fältytor respektive höga kväve nivåer efter lågavkastande delytor.

Det finns ett antal olika metodiker att beräkna kväveeffektivitet. Den enklaste metoden är att bestämma kvoten (kväve i kärna) / (tillfört kväve). I examensarbetet utfört av Eriksson och Niklasson (1998) redovisas ett antal varianter för beräkning av kväveeffektivitet.

Växtplatsanpassad odling

Att anpassa odlingen till växtplatsen har i praktiken gjorts under långa tider. Även idag odlar alla lantbrukare platsspecifikt på något sätt, exempelvis harvas en del av ett fält en gång extra eller så bekämpas en härd med kvickrot lokalt. I dessa fall kan tiden från datainsamling till utförande av åtgärd mycket kort. I andra fall kan fördröjningen mellan datainsamling och åtgärd sträcka sig över flera år.

På universitet och forskningsinstitut har forskningen kring växtplatsanpassad odling tagit rejäl fart under tidigt 90-tal. En stor orsak till all forskning inom ämnesområdet kan härföras till utvecklingen av GPS och en förbättrad informationsteknik. Tidigare under 1900-talet genomfördes också en del forskning inom den växtplatsanpassade odlingen, exempelvis föreslog Linsley & Bauer (1929) att man borde anpassa kalkgivan efter behovet på platsen och Haines & Keen (1925) studerade samband mellan markvariationer och dragkraftsbehov vid plöjning. Forskningen som utförs idag handlar förutom om teknik och biologi om geostatistik dvs statistisk bearbetning av hur en parameter varierar över en yta.

Målen med växtplatsanpassad odling kan variera men ofta nämnda är bland annat; bättre effektivitet av insatsmedel, förbättrad odlingsekonomi samt en minskad risk för växtnäringsförluster. System och tekniker för styrning av insatsmedel beskrivs bland annat av Algerbo & Thylén (1998b). Förutom att styra tillförseln av växtnäringsämnen används rumslig data för trädplanering samt för att detektera fel och brister. Under senare år har även en del av forskningen inriktat sig på att studera möjligheter att sortera den odlade produkten i olika kvaliteter beroende på användningsområde.

Växtplatsanpassad odling eller precisionsjordbruk brukar delas upp i fyra delar:

- insamling av data
- bearbetning och analys
- beslut
- utförande av åtgärd.

Datainsamling

För plats-specifik insamling av data behövs ett system för bestämning av position. Idag används nästan uteslutande GPS för positionsbestämning inom lantbruket. För att kunna kartera hur en faktor varierar över en yta behövs även ett mätvärde, exempelvis genom att positionsbestämma markkarteringen. Andra mätningar som kan bestämmas plats-specifikt är bland annat avkastning, topografi och reflektans-data. System för datainsamling beskriva bland annat av Algerbo & Thylén (1998b).

Bearbetning och analys av data

Insamlad data bearbetas, presenteras, analyseras och lagras i ett GIS (Geografiskt Informations System), ofta kallade kartprogram. Lantbrukare använder ofta ett enklare kartprogram där man i huvudsak presenterar och lagrar insamlad data. Fördelen med denna typ av programvara är att de ofta är enkla att lära sig. Med ett "riktigt" GIS finns helt andra möjligheter att göra statistiska analyser. Dessa mjukvaror kräver sannolikt för mycket utbildning för att kunna användas på gårdsnivå.

I ett GIS presenteras informationen i olika lager, exempelvis finns fältgränser i ett lager, vägar i ett andra lager, grödval i ett tredje lager etc. Flera lager kan visas samtidigt vilket kan ge en bättre överblick, men också möjlighet att direkt visuellt göra jämförelser. Man kan jämföra de olika lagren statistiskt och göra beräkningar "genom" ett flertal lager. På gårdsnivå är det emellertid troligt att en stor andel av analyserna görs genom visuell bedömning av olika lager.

Vid kartering av exempelvis en markparameter utgår man från ett stickprov. Stickproven kan redovisas som punkter, vilket är det vanliga vid exempelvis markkartering. Utifrån de provtagna punkterna beräknar man den sökta parametern på icke provtagna platser. Dock krävs att den sökta parametern har ett rumsligt samband och provtagningen är genomförd med en viss täthet.

För att beräkna den uppmätta variabeln på platser där man inte har tagit ett jordprov, skördevärde etc. används geostatistiska beräkningar. Vid vanlig statistisk bearbetning antas proverna vara oberoende av varandra, men intuitivt är det rimligt att skillnaden mellan två jordprover ökar med provtagningsavståndet. Det är för att hantera denna problematik som de geostatistiska metoderna utvecklats. Här följer en kortfattad redogörelse för några geostatistiska metoder och samband. För en mera utförlig introduktion i geostatistik hänvisas till Webster & Oliver (1990).

Efter att ha beräknat semivariansen skapas ett variogram (semivariogram), vilket är ett diagram med semivariansen (γ) ritat mot avståndet (h) enligt bild 1. Till mätvärdena i diagrammet skall en funktion anpassas. De vanligaste funktionerna för anpassning till mätdata är bland annat linjär och sfärisk. Störst vikt vid anpassningen av en modell till semivarianserna bör läggas då x-axelns värden är låga.

Nyttan av att skapa ett semivariogram uppstår då man kriginginterpolerar fram ett mätvärde för alla nodpunkter. I samband med interpoleringen viktas de verkliga mätvärdena med hänsyn till semivariansen på avståndet mellan den interpolerade punkten och de uppmätta värdena. I samband med kriginginterpolationen kan man också beräkna variansen för en interpolerad punkt eller yta.

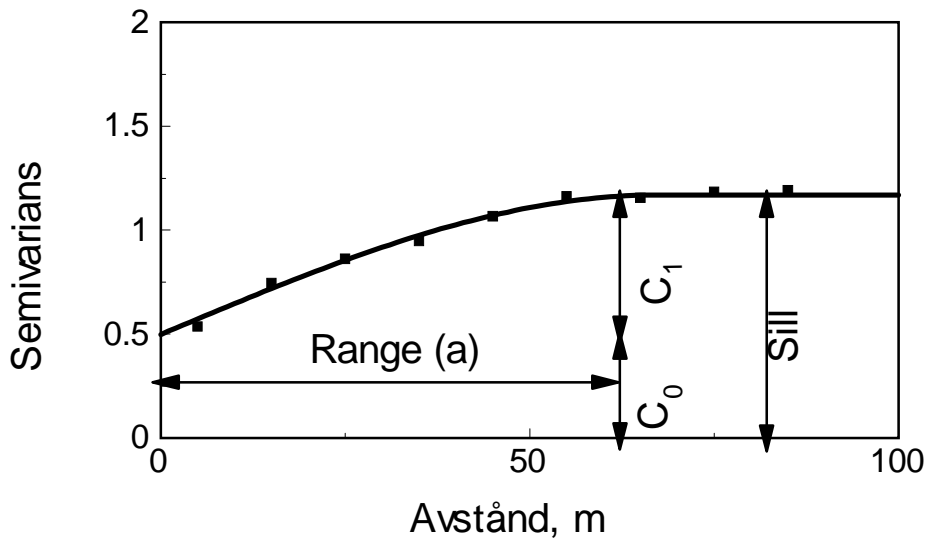


Bild 1. Ett exempel visande ett variogram med en sfärisk anpassad modell. Det finns ett antal tumregler för hur man anpassar modeller till ett semivariogram. Man skall dock komma ihåg att det inte finns någon metod som är "absolut korrekt".

Det finns speciella tillfällen då man inte registrerar något rumsligt samband. Detta brukar kallas för "pure nugget". Det finns olika orsaker till att en parameters mätvärde varierar helt slumpmässigt över en yta. Bland annat inverkar provtagnings-tekniken, analysernas noggrannhet, provtagningsavstånd men även parameterens naturliga variabilitet. Då en parameter inte uppvisar något rumsligt samband så bör man låta bli att göra en karta av insamlad data.

Att utföra geostatistiska analyser av rumsliga variationer låter sig knappast göras av lantbrukare eller rådgivare. Idag sammanställs därför undersökningar där man anger behövlig provtagningsstäthet för att erhålla en karta med rimlig noggrannhet. Vissa undersökningar anger bara en generell rekommendation exempelvis provtagningsavstånd 20-30 meter, medan andra ger olika rekommendationer för olika parametrar (McBratney & Pringle, 1999). Den senare är en sammanställning av ett stort antal internationella studier, där man visar att pH-värdet är kanske den markparameter som är lättast att kartera.

Beslut

Vissa beslut om åtgärder behöver endast ske vid ett tillfälle och som därefter blir gällande för många år framöver, så kallade strategiska beslut. Dessa beslut kan gälla felsökning och korrigering av fel, exempelvis dräneringsproblem, kalktillförsel eller avsättning av mark till fastliggande träda.

Beslut som måste tas årligen, såsom att bestämma giva vid växtnäingsstyrning, dos av pesticider eller roterande trädplanering kallas för taktiska beslut.

Åtgärd

Beslut om åtgärd baserad på kartor grundas på flera års data insamling. Tre års datainsamling eller mer bör ligga bakom beslutet. Detta för att säkert kunna fastställa kontinuitet i fältvariationer mellan åren. Tidpunkt för beslut blir tämligen utdragen och kan göras under perioder med låg intensitet på gårdsverksamheten. Motsatsen till kartbaserade beslut är så kallade on-line-system. Tiden mellan insamlingen av data till beslut om åtgärd är endast någon eller några sekunder. Exempel på on-line-baserat system är Hydro Agris N-sensor som bestämmer grödans kvävebehov och styr gödselgivan i en och samma överfart.

Material och metoder

Fältförsök

Fältförsöket genomfördes på Kvarnbo utanför Uppsala. Inom försöksytan (11,8 ha) fastlades 79 parceller i fältets kärna (bild 2). Dessutom placerades 8 parceller på vändtegen varav en ströks eftersom det fanns grunt liggande telefonkablar. I all databearbetning där inget annat anges har data från vändtegen ej använts.

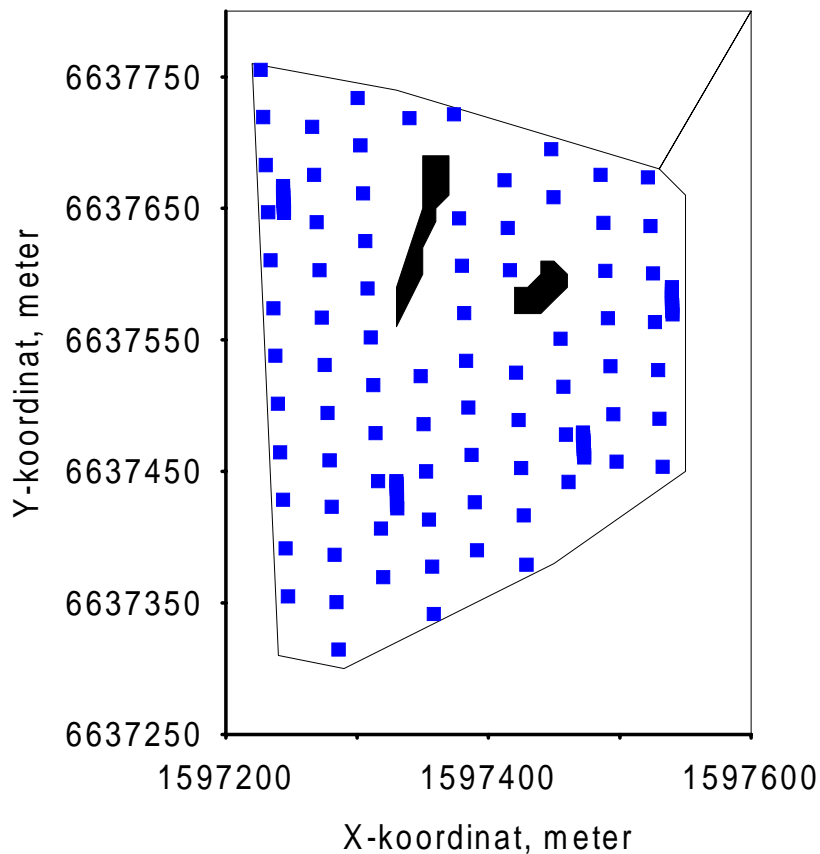


Bild 2. Inom fältet fastlades 79 parceller. Avståndet mellan parcellerna var ca 36 meter. Parcellerna var placerade tre meter sidan om sprutspåren.

Grödor och gödselgivor

Lantbrukarens växtföljd har bestämt vilka grödor som odlats. Grödorna och sorter som odlats 1997-1999 redovisas i tabell 1.

Tabell 1. På försöksfältet har grödorna erhållit följande kvävegivor.

År	Gröda	Sort	N-giva (kg/ha)
1997	Höstvete	Kosack	150
1998	Vårkorn	Baronesse	108
1999	Vårvete	Dragon	108

Klorofyllmätning i gröda

Under odlingssäsongerna genomfördes klorofyllmätning med Hydro Agris kalksalpetermätare. Mätningarna genomfördes enligt rekommendation från Hydro Agri. Kalksalpetermätaren är handburen och beräknar kvävebehovet genom att genomlysas bladet med ljus för att därigenom bestämma ett värde för klorofyllinnehållet. Detta värde korreleras till ett kvävebehov som beror på vilket tillväxtstadium grödan befinner sig i.

Jordprovtagning

Jordprov för bestämning av nitrat- och ammoniumkväve togs både vår och höst under de tre försöksåren. Samlingsprover togs på nivåerna 0-30 cm och 30-60 cm. Odlingssäsongen 1997 togs även prover på nivån 60-90 cm. Varje samlingsprov bestod av sju delprover. Efter provtagningen lagrades jordproverna i frys. Beroende på väderleksförhållandena tog provtagningen olika lång tid.

För kväveprofilerna bestämdes NH_4^- och NO_3^- . Dessa värden omräknades till kg/ha med antagandet att volymvikten i 0-30 skiktet är 1333 kg/m^3 och 1500 kg/m^3 i skiktet 30-60 cm. Förutom mineralkväveanalyserna bestämdes även mullhalt, jordart, P-AL, K-AL och pH i provpunkterna. Dessa analyser gjordes på jordprover tagna hösten 1997.

Skörd

Provpunkterna skördades med en parcelltröska. Mängden spannmål i parcellen vägdes in och ett delprov med massan 1000 gram togs ut för torkning och analys. Första året klipptes halmskörden för hand 5 cm ovanför markytan. De följande åren samlades halm och agnar in med hjälp av tröska vid skörd. På vändtegen försvann en provplats alla tre försöksåren då telekablar låg för grunt och omöjliggjorde markprovtagning. År två försvann ytterligare tre parceller då lantbrukaren av misstag tröskade av ena vändtegen.

Kärn- och halmproverna torkades varefter vattenhalt, proteinhalt samt mängden avfall bestämdes på laboratorium. Efter torkning vägdes kärnproverna in och vattenhalt, avrens och proteinhalt bestämdes. Även mängden kväve i halmen bestämdes.

Databearbetning

Beräkning av kväveeffektivitet

Kväveeffektivitet (N_e) eller kväveutnyttjande i varje punkt beräknades som kvoten mellan kväve i kärna (N_k) och tillförd mängd N i gödseln (N_g) uttryckt i procent.

$$N_e = 100 * N_k / N_g$$

Avkastnings- och markvariationer

Vår ansats var att söka förklaring till avkastningsvariationerna bland insamlade data för markparametrarna. Den i kärnan upptagna mängden kväve, N_k , användes som testvariabel och hur denna beror av de olika faktorerna, som undersöktes kan skrivas som

$$N_k = f(\text{mullhalt, lerhalt, pH, P-AL, min-N}_{0-30}, \text{min-N}_{30-60})$$

Ett kvantitativt mått på hur väl de olika parametrarna beskriver variationen i N_k erhålles ur förklaringsgraden, R^2 , för regressions sambandet med respektive parameter eller kombination av parametrar. Detta undersöktes med hjälp av statistikprogrammet SAS v 6.12 för samtliga kombinationer.

Rumsliga variationer och behövlig provtagningsintensitet

För insamlad data anpassades modeller till beräknade semivariogram. Anpassningen av modellerna till semivariogram gjordes med mjukvaran Variowin. Den interpolerade ytans noggrannhet i respektive punkt beräknades i samband med kriginginterpolationen.

Resultat

Variationer i klorofyllinnehåll, avkastning och proteininnehåll

Årligen genomfördes en klorofyllmätning med Hydro Agris kalksalpetermätare. Registrerade mätvärde var normalfördelade. Avkastningsdatan var normalfördelad 1998 medan de två andra åren uppvisade en skev fördelning till höger. Datan över proteinvariationer var normalfördelad 1997, hade en skev fördelning till höger 1998 och en skev fördelning till vänster 1999. En sammanställning av resultaten visas i tabell 2.

Korrelation mellan parametrarna redovisas i tabell 3. Den negativa korrelationen mellan avkastning och proteininnehåll är förväntad. Samband mellan klorofyllmätningarna (Hydro) och både avkastning och protein var de förväntade 1997 och 1999. Däremot var sambanden inte de förväntade regnåret 1998.

Tabell 2. Summering av klorofyllmätningarna, avkastningen (kg/ha), proteininnehåll i kärna (%) samt mängden kväve i kärnan (kgN/ha).

	Medel	Min	Max	Stdav	Skew
Hydro -97	624	570	702	28	1,39
Hydro -98	558	489	622	28	-0,33
Hydro -99	614	565	667	22	0,03
Skörd -97	7945	4298	9608	888	-3,44
Skörd -98	3630	2333	5000	569	0,31
Skörd -99	3736	937	5711	1133	-2,63
Protein -97	12,0	11,1	12,9	0,40	-0,97
Protein -98	12,1	9,8	13,3	0,72	-2,25
Protein -99	13,7	12,6	16,5	0,75	5,09
N-kärna -97	142	82	172	15	-2,94
N-kärna -98	65	40	86	10	-0,17
N-kärna -99	76	20	116	21	-2,99

Tabell 3. Korrelation mellan olika faktorer de tre försöksåren.

	Årtal		
	1997	1998	1999
Hydro – Avkastning	-0,07	0,24	-0,31
Hydro – Protein	0,11	-0,24	0,17
Avkastning – Protein	-0,38	-0,32	-0,68

Temporala variationer i avkastning, klorofyll- och proteininnehåll

Variationer över tiden är intressanta för att kunna bedöma om det är möjligt att prognostisera resultat kommande år utifrån historisk data. I tabell 4-6 redovisas korrelationsdata mellan de olika åren för klorofylldata, avkastning och proteininnehåll. Avseende klorofyllmätningarna verkar den temporala variationen vara mycket svag. Avkastningsdatan har en korrelation på 0,48 mellan skördeåren -97 och -99, vilket är en korrelation liknande tidigare studier i området (Thylén & Mattsson, 1997). Korrelationsdatan för skörden 1998 och de två andra åren är betydligt svagare. Detsamma gäller även för proteindatan.

Bäst samband för de olika parametrarna verkar finnas för år -97 och -99. Resultaten från regnåret 1998 skiljer sig avsevärt från 1997 (normalt) och 1999 (torrt).

Tabell 4. Korrelationsmatris för genomförda klorofyllmätningar.

	Hydro -97	Hydro -98	Hydro -99
Hydro -97	1	0,00	0,18
Hydro -98		1	0,06
Hydro -99			1

Tabell 5. Korrelationsmatris för registrerad avkastningsdata.

	Avkastning -97	Avkastning -98	Avkastning -99
Avkastning -97	1	0,24	0,48
Avkastning -98		1	0,30
Avkastning -99			1

Tabell 6. Korrelationsmatris för uppmätt proteininnehåll.

	Protein -97	Protein -98	Protein -99
Protein -97	1	-0,09	0,31
Protein -98		1	-0,07
Protein -99			1

Variationer i halmskörd och dess N-innehåll

Som tidigare nämnts mättes halmskörden genom klippning 1997, medan halm-skörden mättes genom att samla ihop halmen från parcelltröskan de två följande åren. Att mäta halmskörden genom klippning gav mycket tveksamma resultat första året, och medförde att man för beräkningar av kväveeffektivitet istället antog ett samband mellan kärnskörd och halmskörd (Eriksson & Niklasson, 1998). 1998 då vi fick problem med liggsäd och en massa grönskott erhöles tveksamma värden på halmens kväveinnehåll. Detta har medfört att vi för beräkningar av halmskördens storlek och dess kväveinnehåll gjort samma antagande som (Eriksson & Niklasson, 1998).

Mineralkvävemängdens variation

I genomsnitt erhöles en ganska blygsam variation i mineralkväve mellan de tre försöksåren. Våren 1998 uppmättes 51 kg per ha mot 68 kg våren 1999 (tabell 7) räknat som summan av nitrat- och ammoniumkväve till 60 cm djup. Den variation som finns beror nästan helt på kväve i matjorden. För både matjord och alv var variationerna inom skiftet betydande med en faktor 3 eller 4 mellan det lägsta och högsta värdet.

Höstens värden är i medeltal mellan 5 och 10 kg per ha lägre än vårvärdena. Det var främst i det undre skiktet som minskningen inträffade. Det verkar alltså skenbart som om kvävet i första hand hämtats från detta skikt. Säkert har kväve också tagits upp från matjorden men mineraliseringen i detta skikt har kompen-serat minskningen.

Min- och maxvärdena säger en del om variation och fördelning. Därtill kan läggas att fördelningen av värden inom de olika åren genomgående visade en skevhet åt höger vilket innebär att det fanns ett fåtal avvikande höga värden, medan tyngd-punkten ligger omkring medeltalen.

Tabell 7. Sammanställning av mineralkvävemängdernas (kg/ha) variation inom försöksytan. Följande index används matjord (m), alv (a), matjord + alv (tot).

	Medel	Min	Max	Stdav	Skew
vår -97 m	34	20	51	7	1,59
vår -97 a	24	11	47	8	3,22
vår -97 tot	58	38	93	13	2,92
höst -97 m	26	15	42	5	1,50
höst -97 a	8	3	18	3	3,32
höst -97 tot	34	21	56	7	2,85
vår -98 m	28	16	53	8	3,45
vår -98 a	24	10	52	9	2,82
vår -98 tot	51	26	105	15	2,83
höst -98 m	34	11	91	15	3,70
höst -98 a	12	4	27	4	2,88
höst -98 tot	46	17	118	18	3,29
vår -99 m	41	22	93	13	4,52
vår -99 a	26	11	75	10	5,92
vår -99 tot	68	35	138	19	4,16
höst -99 m	47	15	120	21	3,10
höst -99 a	11	3	43	6	5,89
höst -99 tot	59	20	135	25	2,91

Temporala variationer i mineralkväve

I bild 3 visas medelvärde av mineralkvävemängden i försöksfältet. Som väntat minskar mängden mineralkväve under odlingssäsongen. 1997 gällde detta också för samtliga parceller. De två senare försöksåren fanns det ett antal parceller där mängden mineralkväve ökade under odlingssäsongen. I tabell 8 redovisas korre-lationen för parcellerna vid de olika provtagningstillfällena.

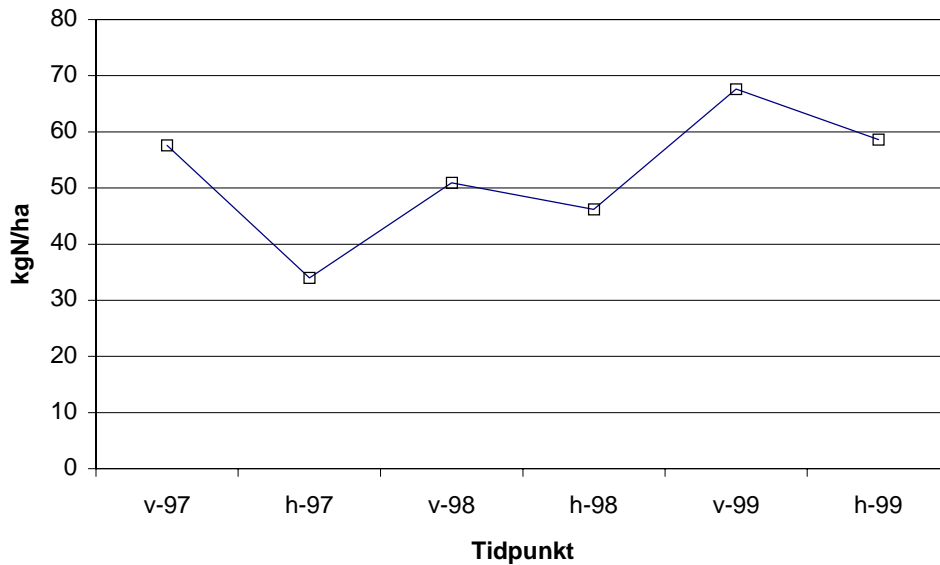


Bild 3. I medeltal minskade mängden mineralkväve under odlingssäsongen. Dock fanns stora avvikelser på ett antal försöksplatser.

Tabell 8. Korrelation för mineralkvävemängderna i parcellerna vid olika provtagnings-tillfällen. Värdena är beräknade utifrån mängden mineralkväve, ammonium- och nitratkväve, på djupet 0-60 cm.

	v -97	h -97	v -98	h -98	v -99	h -99
v -97	1	0,46	0,13	0,11	0,40	0,08
h -97		1	0,36	0,17	0,44	0,18
v -98			1	0,01	0,32	-0,06
h -98				1	0,27	0,10
v -99					1	0,10
h -99						1

Samband mellan avkastnings- och markvariationer

En inledande analys av olika markparametrars inflytande på den upptagna mängden N i kärnan, N_k , visade att mullhalt genomgående betydde lite. Lerhalt, däremot, hade större betydelse. Inte heller P-AL förklarade variationerna särskilt väl, men det gjorde däremot mineralkväve i skiktet 0-30 cm och pH-värdet i matjorden.

Det urval av parametrar som därmed erhöles blev alltså lerhalt, pH-värde och mineraliskt kväve i skiktet 0-30 cm på våren eller

$$N_k = f(\text{lerhalt}, \text{pH}, \text{min-N}_{0-30})$$

Skördenivåerna varierade kraftigt mellan åren. Eftersom en stor skörd å ena sidan tömmer näringsförråden i marken men å andra sidan lämnar mer skörderester än en liten kan ett inflytande på nästa års gröda antas. Alla undersökningar av markdata är hänförliga till 1997-1999 men skördedata för 1996 var också tillgängliga. Ytterligare en parameter nämligen föregående års skörd, sk_f , fördes därför in i modellen och vi erhöll

$$N_k = f(\text{lerhalt, pH, min-N}_{0-30}, sk_f)$$

vilket ger regressionsmodellen

$$N_k = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_4$$

där x_1 = lerhalt i matjorden, %

x_2 = pH i matjorden

x_3 = mineraliskt N i skiktet 0-30 på våren, kg/ha

x_4 = föregående års skörd, kg/ha

Regressionskonstanterna a, b, c, d och e skattades på sedvanligt sätt genom multipel regression i SAS v 6.12 (tabell 9).

Tabell 9. Regressionskonstanterna a, b, c, d och e i ekvationen $N_k = a + bx_1 + cx_2 + dx_3 + ex_4$ samt sannolikheterna för att de är lika med 0 och förklaringsgraden R^2 .

	Intercept	Lerhalt	pH	N-min	Föregående skörd	R^2
1997	139	0,62	-8,24	-0,23	0,008	0,38
	<0,01	<0,01	0,01	0,29	<0,01	
1998	23,2	-0,04	3,21	-0,26	0,004	0,13
	0,25	0,71	0,20	0,08	<0,01	
1999	35,6	1,11	-3,35	-0,37	0,008	0,39
	0,30	<0,01	0,44	0,04	0,02	

Kväveupptaget var positivt och statistiskt säkert beroende av föregående års skörd. För varje kg som skörden ökade året innan steg kväveupptaget med 0,004-0,008 kg året därpå eller enklare för varje 100-tal kg som skörden förändrades ökade eller minskade följande års N-upptag med 0,5-1 kg per ha.

På samma sätt var N-upptaget tydligt och positivt beroende av lerhalten under två av åren. Varje lerhaltsprocent betydde ungefär ett kg N i kärnan. För det nederbördsrika året 1998 kunde ett sådant samband inte påvisas. Mineralkväve på våren i skiktet 0-30 cm hade också relativt stor betydelse för kväveupptaget och dess verkan var av samma storleksordning varje år. Detta var väntat, men konstantens tecken är besvärande. Det negativa värdet innebär att en ökad mineralkvävetillgång minskar N-upptaget. Observera att detta gäller variationer inom fält och inte variationer mellan olika fält.

Kvävebalans

För varje provtagen och skördebestämd punkt kan kvävebalansen beräknas ur

$$N_{\text{bal}} = N_{\text{min}_{\text{vår}}} + N_{\text{g}} - N_{\text{k}} - N_{\text{min}_{\text{höst}}}$$

Det är en enkel form av balans, som bortser från N-tillskott genom atmosfäriskt nedfall, från läckage, från denitrifikation och från tillfälliga förändringar i den organiska kvävepoolen. Balansen säger något om storleken på dessa faktorer. På årsbasis kan genomsnittsläckage och nedfall antas ta ut varandra. Kvävemängden i halmen kan endast skattas och kan då grovt sättas till 25 % av kärnans kväveinnehåll och reducerar balansposten med 15 till 30 kg per ha.

Tabell 10. Mineraliskt N vår och höst, N-upptag i kärnskörd samt N-balans och N-effektivitet i %.

År	Min-N vår	N-upptag	Min-N höst	Balans	N-effektivitet
1997	58	142	34	30	95
min/max	38 – 93	83 – 172	21 – 56	-15 – 80	55 – 115
1998	51	65	46	47	43
min/max	26 – 105	40 – 86	17 – 118	-13 – 115	26 – 57
1999	68	76	59	42	50
min/max	35 – 138	20 – 116	20 – 135	-34 – 136	13 – 77

Upptagen mängd kväve i kärnan varierade väsentligt, såväl inom som mellan år. Det stora upptaget 1997 beror på den stora skörden detta år och inte på en hög N-halt i kärnan.

Den beräknade kvävebalansen omfattar både negativa och positiva värden. Det finns alltså för det första många platser inom skiftet där N-gödslingen och förändringarna i det mineraliska N-förrådet i marken inte motsvarade den mängd som bortfördes med grödan. För det andra finns det också många platser där det omvända är fallet. Det vill säga med grödan fördes inte tillgängligt kväve bort utan ett överskott uppstod.

På vissa delar av fältet var kväveeffektiviteten god eller mycket god med värden på 70 % eller mera, medan den på andra delar var mycket svag eller bara 25 % eller mindre. En jämnare fördelning vore önskvärd. Genom att variera gödslingen inom skiftet skulle man kunna få N-balansen att gå mot 0.

Tio kg lägre gödsling ger emellertid inte en förändring i balansen med 10 kg N. Eftersom både kärnskördens storlek och dess N-halt förändras är förhållandet något mer komplicerat och förändringarna är också olika i varje punkt på skiftet.

En tänkbar modell för att hantera detta kan vore att skatta en avkastningskurva för varje punkt på fältet. Punktens avkastningsnivå för aktuell kvävegiva är bestämd. Det som återstår är att kunna skatta kurvans form. En ansats är att låta den vara beroende av skördenivån (Mattsson, 1986). På basis av funktioner för tre olika skördenivåer bestämdes en gemensam regressionskvation som beskriver hur

kärnskörden påverkas av kvävegiva, skördenivå och samspelet mellan kväve och skördenivå enligt

$$y = a + bx + cx^2 + bz + czx$$

där y = kärnskörd, kg/ha

x = N-gödsling, kg/ha

z = skördenivågrupp (1, 2, 3)

Regressionsekvationen bestämdes till

$$y = 143 + 32.4x - 0.09x^2 + 1372z - 4.05zx$$

För varje punkt på det aktuella skiftet är skörden, y , känd liksom gödslingsnivån, x , som varje år var enhetlig över skiftet. Det medgav att z kunde bestämmas för varje punkt och med z bestämt erhålls så en skattad produktionsfunktion för varje punkt på skiftet. Produktionsfunktionens nivå och form bestäms av den aktuella uppmätta skörden.

Beräkningsmodellen tillämpades med syfte att minimera kvävebalansen och här redovisas skattningar av medelkvävegiva och medelskörd för skiftet med denna ansats (tabell 11).

Tabell 11. Observerade och skattade medelvärden för kärnskörd och kvävebalans, kg/ha

Observerade värden			Simulerade värden			
År	N-giva	Skörd	Balans	N-giva	Skörd	Balans
1997	150	7950	30	125	8160	-1
1998	108	3630	47	48	2650	2
1999	108	3740	42	55	3070	3

Det krävdes en sänkning av medelgivorna med 25-50 kg/ha för att få kvävebalansen att ligga nära noll. Då blev skördebortfallet 700-1000 kg per ha både 1998 och 1999. Värdet av skördebortfallet kan uppskattas till 1000 kr och skall jämföras med minskad gödselkostnad på 300 kr om kvävet kostar 6 kr per kg.

Den observerade skörden första året, 1997, var stor och beräkningarna indikerar att en sänkt kvävegiva kan ge ökad skörd. Beräkningsresultatet kan ifrågasättas men är inte helt orimligt eftersom man mycket väl kan tänka sig att den tillförda mängden på 150 kg var överoptimal med skördesänkning som följd.

Genomsnittliga beräknade ekonomiskt optimala N-givor för de tre åren blev 0, 115 respektive 110 kg per ha. Observera att detta är modellerade värden och beräkningarna 1997 är extrapolerade. Då antogs att kostnaden för ett kg N är lika med 7 kg kärna. För både 1998 och 1999 ligger alltså ekonomiskt optimum högre än den N-giva som motsvarar bortförseeln. Men i den senare ingår då inte halmens kväveupptag och i verkligheten kan man inte bortse ifrån detta. Halmen behövs

och halmen behöver kväve. Om vi i balansberäkningarna tar hänsyn till detta blir skillnaderna mindre.

Rumsliga variationer

Traditionella markanalyser

Modeller som anpassats till semivariogrammen redovisas i tabell 12

Tabell 12. Modeller som anpassats till beräknad semivariogramdata.

Parameter	Typ	C0	C1	Range
Mullhalt	sfärisk	0	0,39	120
Lerhalt	sfärisk	22	100	140
Finmo-mjåla	sfärisk	22	100	140
P-AL	gauss	5	150	170
K-AL	linjär	0	110	350
PH	sfärisk	0	0,23	110

De anpassade modellerna har använts för interpolation av datan till ett kvadratisk raster. I bild 4 visas mullhaltskartan.

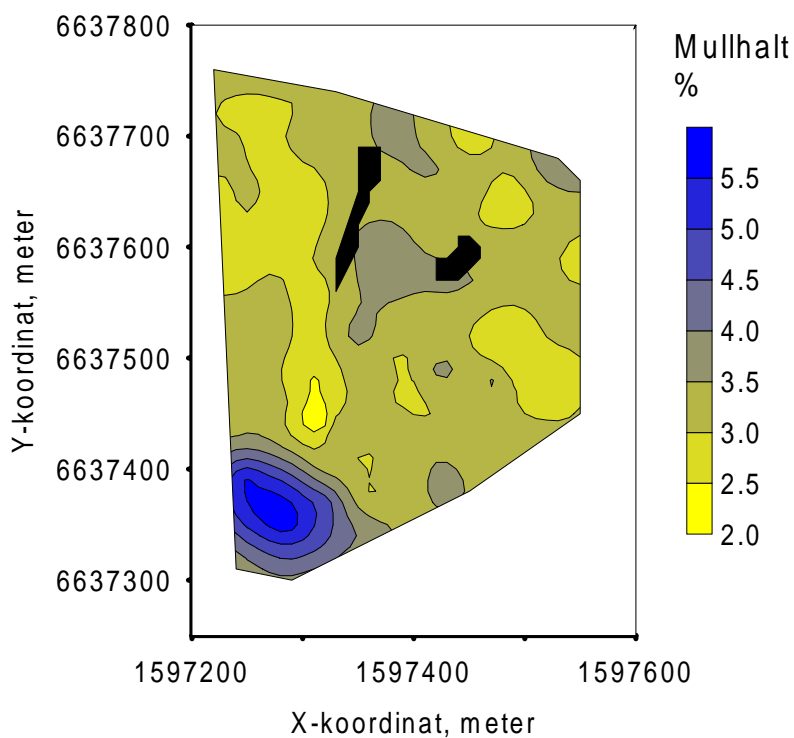


Bild 4. Mullhalten på försöksfältet varierade mellan 2 och 5,9%. I området med hög mullhalt var lerhalten mycket hög.

Trots att markparametrarna har ett relativt starkt rumsligt beroende så krävs en relativt hög provtagningstäthet för att kunna göra en karta som har låg varians i de beräknade punkterna. I bild 5 visas hur noggrannheten för den interpolerade ytan, i detta fall pH-värdet, påverkas av provtagningsintensiteten. Ett annat sätt att redovisa effekten av olika provtagningstäthet är att göra kartor baserade på olika många provtagningspunkter (bild 6).

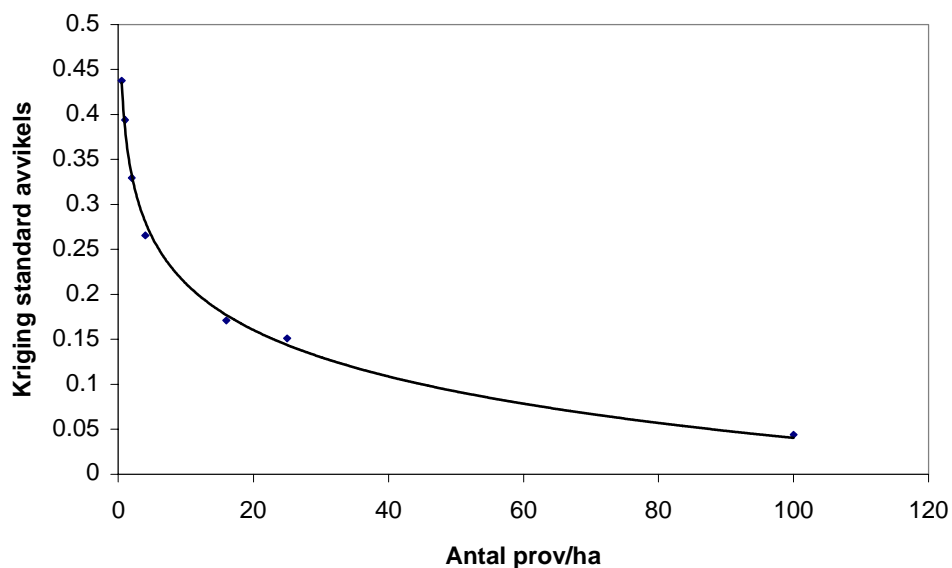


Bild 5. Standardavvikelsen för registrerade pH-värden var på försöksfältet 0,47. För att halvera standardavvikelsen krävs en provtagningsstäthet motsvarande 43 meter eller 5,5 prov/ha.

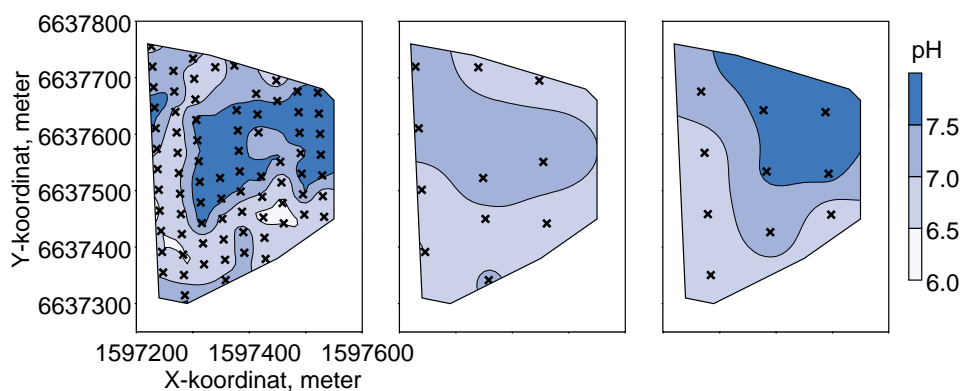


Bild 6. Beroende på provtagningsintensitet och provtagningspunkternas läge kommer den interpolerade kartan att se olika ut. På kartorna här är provtagningspunkterna markerade med kryss. Kartan till vänster är baserad på 8 provpunkter per hektar, medan de två andra kartorna är baserade på 1 prov per hektar.

Mineralkväveanalyser

Oavsett vilken analys av mineralkväve som studerades var det rumsliga beroendet mycket svagt. De allra flesta semivariogram var ”pure nugget” medan ett fåtal redovisade ett mycket svagt rumsligt beroende. Eftersom det rumsliga sambandet var mycket svagt redovisas inga kartor.

Grödans variation

Modeller anpassade till semivariogrammen redovisas i tabell 13. För mätningarna med kalksalpetermätarna är C0 stor i förhållande till C1, vilket innebär att det

finns en stor variation på korta avstånd eller att mätmetodiken inte är riktigt bra. För både avkastning och proteininnehåll var de rumsliga variationerna mycket svaga 1998, vilket troligtvis beror på att grödan låg platt på marken vid skörde-tillfället.

Tabell 13. Modeller anpassade till semivariogrammen för klorofyllmätningar (Hydro), avkastning och proteininnehåll.

Parameter	Typ	C0	C1	Range
Hydro -97	Sfär	350	425	150
Hydro -98	Sfär	300	475	140
Hydro -99	Sfär	300	200	120
Avkastning -97	Sfär	150000	750000	200
Avkastning -98	Pure Nugget			
Avkastning -99	Sfär	350000	900000	140
Protein -97	Sfär	0,06	0,12	150
Protein -98	Linjär	0,38	0,2	150
Protein -99	Sfär	0,05	0,55	100

Diskussion

De rumsliga variationerna för markparametrar som P-AL, K-AL, pH värde, lerhalt och mullhalt uppvisade en rumslig variation som var liknande andra undersökningar i Sverige och internationellt. Detta innebär att det behövs mellan 5 och 15 prov/ha för att väl beskriva hur en parameter varierar över en yta. Mineralkväveproverna uppvisade i regel inget rumsligt samband vid provtagningsavståndet 36 meter. Detta innebär att man troligtvis behöver mer än 50 prov/ha för att väl beskriva variationen i mineralkväve över en yta. I praktiken är det alltså ekonomiskt omöjligt att kartera markvariationer i fält med traditionell teknik. För att kartera markvariationer på ett ekonomiskt rimligt vis krävs en utveckling av sensorer för mätning on-line.

Avkastningsvariationerna inom försöksfältet var i storleksordningen ± 2000 kg/ha i förhållande till medelskörden. Denna avkastningsvariation är den förväntade. Avkastningsvariationerna på fältet följde tidigare mönster med undantag för regnåret 1998. Detta är en indikation på att vatten kanske är den mest begränsande faktorn.

Den markparameter som genomgående uppvisade starkast samband med skörd var lerhalten. Just leran har antagligen inverkat på skördevariationerna 1998, regnåret, som då avvek från normalårs- och torrårvariationer. Årsmånen i avseende på nederbörd är alltså väsentlig vid försök att förutspå skördevariationer inom fält.

Variationerna i proteininnehåll var olika stora under försöksåren, men generellt sett varierade proteininnehållet med ± 1 procentenhet kring medelvärdet. Mängden kväve i kärnan varierade inom mycket vida gränser, ± 50 procent kring medel-

värdet var den normala variationen. Detta är även en direkt indikation på att kväveeffektiviteten inom fält är mycket olika.

En vidareutveckling av beräkningsmodellen för kvävegödsling är tänkbar där det för varje punkt på fältet beräknas en ekonomiskt optimal kvävegiva. Gången kan då vara följande. Med hjälp av föregående års skörd, lerhalt, pH-värde och N_{min} i 0-30 cm på våren beräknas N-upptaget, som översätts till skördenivå, som i sin tur bestämmer en produktionsfunktion från vilken ekonomiskt optimal N-giva kan beräknas. Detta förutsätter åter igen att mineralkväve, liksom övriga parametrar, karteras med tillräcklig intensitet för att skapa karta över variationerna.

Referenslista

- Algerbo P-A. & Thylén L. 1998a. Variable nitrogen application: Effects on crop yield and quality. In: Robert P.C., Rust R.H. and Larson W.E. (eds). Precision Agriculture, ASA/CSSA/SSSA, Madison, Wisconsin, USA. 709-718.
- Algerbo P-A. & Thylén L. 1998b. Växtplatsanpassad odling – Tillämpningar inom dagens lantbruk. Teknik för Lantbruket nr 69, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Eriksson K. & Niklasson M. 1998. Högre kväveutnyttjande genom växtplatsanpassad gödsling. JTI-Rapport nr 245, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Haines, W.B., Keen, B.A. 1925. Studies in soil cultivation. II. A test of soil uniformity by means of dynamometer and plough. *Journal of Agricultural Science*. 15:387-394.
- Linsley, C.M. and Bauer, F.C. 1929. Test Your Soil for Acidity, Circular 345, University of Illinois, College of Agriculture and Agricultural Experiment Station.
- Mattsson, L. 1986. Årsmån, jordart, förfrukt etc. avgör kvävegödslingseffekten? Konsulentavdelningens rapporter/Allmänt 83, 14:1-12:9.
- McBratney, A.B. and Pringle M.J. 1999. Estimating average and proportional variograms of soilproperties and their potential use in precision agriculture. *Precision Agriculture*, 1, 125-152 (1999). Kluwer Academic Publishers.
- Stafford J.V. 1997. *Precision Agriculture '97*, J.V. Stafford (Ed), UK, BIOS Scientific Publishers.
- Thylén, L. and Mattsson L. 1997. Skördevariationers och den optimala kvävegivans kontinuitet inom enskilda fält. Rapport nr 233. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- Webster, R. and Oliver, M.A. 1990. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford University Press, Oxford, England. 316pp.