

Indelning av fält i mineraliseringszoner för varierad kvävegödning

Establishment of mineralization zones for variable rate nitrogen application



Johanna Wetterlind, Anders Jonsson och Bo Stenberg

Avdelningen för precisionsodling

*Division of precision agriculture
Swedish University of Agricultural Sciences*

**Rapport 10
Skara 2007**

Report 10

ISSN 1652-2788
ISBN 978-91-576-7202-5

Förord

Denna rapport ingår som del i slutrapporteringen av ett projekt finansierat av Stiftelsen Lantbruksforskning (SLF). Projektet genomfördes åren 2003-2005 på tre gårdar i södra Sverige för att studera möjligheten att dela in fält i zoner baserade på markens kväve-mineraliseringsförmåga. Gårdarna var Ribbingsberg utanför Vårgårda, Nybble utanför Örebro och Hacksta söder om Enköping. Försöksskötseln och delar av provtagningen gjordes av försökspatrullen på SLU:s försöksstation Lanna samt hushållningssällskapets försökspatrull i Örebro. Analyserna utfördes på Avdelningen för Växtnäringslära, SLU, Uppsala, samt på AnalyCens jordlaboratorium i Kristianstad.

Delvis genom ytterligare finansiering från Precisionsodling Sverige (POS) samordnades projektet under 2003-2004 med ett relaterat SLF finansierat projekt där möjligheterna att använda mekanistiska modeller för att beskriva kvävemineraliseringsprocessernas inomfältvariation studerades. Samordningen innebar några extra provtagningar av jord och gröda samt gemensam planering och utförande av fältarbete. I det anslutande projektet arbetade Thord Karlsson och Thomas Kätterer vid Avdelningen för Växtnäringslära, SLU, Uppsala.

Författarna tackar Sören Nyman, Mikael Franzén och Jarl Ryberg som upplåtit mark för försöken under de tre år projektet pågått och för visat intresse och hänsyn vid skötseln av fälten.

Skara december 2006

Johanna Wetterlind, Anders Jonsson och Bo Stenberg

SLU, Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för Precisionsodling
Box 234, 532 23 Skara
Tel. 0511-67000, Fax. 0511-67134
E-post:

Johanna.Wetterlind@mv.slu.se, Anders.Jonsson@lantmannen.com, Bo.Stenberg@mv.slu.se

Innehållsförteckning

FÖRORD	3
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	5
SAMMANFATTNING	7
SUMMARY IN ENGLISH	9
BAKGRUND	11
MATERIAL OCH METODER	11
FÖRSÖKSPLATSER	11
NOLLRUTOR	11
<i>Provtagning och analys av gröda och jord</i>	12
<i>Dataanalyser</i>	13
ZONINDELNING	13
<i>Fältmätningar</i>	14
<i>Dataanalyser</i>	14
NEDERBÖRD.....	15
RESULTAT	15
BERÄKNING AV KVÄVEUPPTAG MED NIR-SPEKTROSKOPI ELLER MULL- OCH LERHALT	15
ZONINDELNING	17
DISKUSSION	19
LITTERATUR	20

Sammanfattning

Ett centralt problem i växtnäringsförsörjningen är anpassningen av kvävegivan till ett skifte och dess olika delar. Stora mängder kväve kan mineraliseras under växtsäsongen och variationen inom fält kan vara betydande inte minst på fält med stora mullhaltsvariationer. Genom att anpassa kvävegödselgivan efter denna variation kan både kostnader och förluster av kväve till omgivande miljö minskas. Eftersom vädret påverkar både variationen i växttillgängligt kväve i marken och grödans tillväxt kan det vara svårt att förutsäga absoluta mängder mineraliserat kväve varje säsong. Att istället dela in fält i zoner med relativt stabila mineraliseringspotentialer skulle kunna vara en möjlighet.

Möjligheten att dela in fält i zoner baserade på kvävemineraliseringsförmåga studerades på tre fält i södra Sverige åren 2003-2005. Två av fälten, ett utanför Vårgårda och ett utanför Örebro, valdes på grund av stora variationer i mullhalt med upp till 20 % mull i matjorden, medan ett tredje fält söder om Enköping hade en mer representativ mullhalt för svensk åkermark med 2-5,5 % mull i matjorden. Som mått på mineraliseringsförmågan användes kväveupptaget i icke kvävegödslade rutor (nollrutor) fördelade över fälten för att täcka in så mycket av variationen i textur, topografi och mullhalt som möjligt. Inför sista året gjordes en zonindelning utifrån kväveupptaget i nollrutorna och försök med kvävestegar lades ut för att testa hur väl zonindelningen lyckats. Traditionella mull- och lerhaltsanalyser, mätningar med nära infraröd reflektans (NIR) på jord och biomasseindex från skanningar av grödan med Yara N-sensor användes för att förutsäga kväveupptaget och för att i förlängningen kunna ligga till grund för en zonindelning.

Det var stora skillnader mellan högsta och lägsta kväveupptag i nollrutorna inom samma fält och år. Även på fältet med lägst variation i mullhalt var skillnaden ca 70 kg N ha⁻¹ och på fältet med störst skillnader var den som mest 126 kg N ha⁻¹. Det fungerade bra att beräkna kväveupptaget med NIR-mätningarna inom fält med stor mullhaltsvariation och inga egentliga skillnader kunde ses jämfört med att använda mull- och lerhalter. Båda metoderna kunde förutsäga kväveupptaget med ±15 kg N ha⁻¹ på fältet utanför Örebro. På fältet utanför Vårgårda blev felet något större. Fördelen med NIR-mätningar framför traditionella analyser är att det går snabbt och bara krävs liten provberedning vilket gör det billigare. Potentialen finns dessutom för utveckling av direkt mätning i fält. Tyvärr tycks NIR-mätningarna inte fungera för beräkning av kväveupptag på fält där något annat än variationen i mull- och lerhalt bestämde variationen i kväveupptag, vilket var fallet på fältet med liten mullhaltsvariation. Det gick inte att använda samma beräkningsmodell för både fältet utanför Örebro och det utanför Vårgårda vilket tyder på svårigheter att göra beräkningsmodeller som fungerar över stora geografiska områden, till exempel en modell för hela Sverige.

Fältet utanför Vårgårda kunde delas in i tre zoner sett till försöken. Ekonomiskt optimal kvävegiva med en priskvot på 10 var 77, 111 och 136 kg N ha⁻¹ i respektive zon. Skördarna vid optimal kvävegiva var för de olika zonerna 6850, 6640 och 7310 kg ha⁻¹ med störst variation i mellanzonen. Kväveupptaget i zonerna var i medeltal 125 kg N ha⁻¹ i zonen med lägst kväveoptimum och skillnaden ner till de övriga zonerna var 40 kg N ha⁻¹ samt 70 kg N ha⁻¹. Fältet utanför Örebro kunde delas in i två zoner med i medeltal 38 respektive 81 kg N ha⁻¹ i kväveupptag. Optimal kvävegiva i de båda zonerna var i medeltal 153 kg N ha⁻¹ respektive 69 kg N ha⁻¹. Båda fälten kunde delas in i zoner med hjälp av biomasseindex från Yara N-sensor omräknat till kväveupptag. Inte heller här var dock omräkningarna likadana för de båda fälten utan det krävdes en omräkningsmodell för varje fält.

Oavsett om zonindelningen byggde på NIR- eller N-sesormätningar verkar det vara nödvändigt med nollrutor i fält för beräkning av kväveupptag. Däremot tycks det inte vara nödvändigt med omfattande jordprovtagning. Jord från matjorden till en eventuell NIR-kalibrering ser ut att räcka. Fördelen med N-sensorn är den höga provtätheten vilket leder till säkrare interpoleringar och därmed en större säkerhet vid gränsdragningen mellan zonerna. Nackdelen med N-sensorn är att stora variationer i beståndet till exempel på grund av skador eller dålig etablering av grödan får stort inflytande. Flera skanningar vid olika tidpunkter och framförallt olika år är ett sätt att komma runt detta. Skanningstidpunkten verkade i den här studien heller inte spela så stor roll.

Möjligheten att prognostisera N-leveransen utifrån tidigare års N-sensor skanningar gör det möjligt att på ett billigt och effektivt sätt förbättra N-hushållningen på skiften med inomfältvariation i N-mineralisering beroende på ler – och mullhaltsvariation. Innan detta är möjligt behöver det dock testas på fler fält bland annat för att kunna studera hur sambanden mellan skanningarna och kväveleveransen (nollrutorna) ser ut på olika fälten.

SUMMARY IN ENGLISH

During the growing season, the potential exists for considerable amounts of nitrogen to be mineralized and the variation between and within fields can be significant. Adjusting fertilizer applications with respect to this variation can reduce costs and decrease nutrient losses to the environment. This is a complicated task, since within-field variations in plant-available soil nitrogen are affected by differences in both soil characteristics and weather. However, dividing fields into zones with more or less stable rates of mineralization would be of interest in implementing variable rate applications of nitrogen.

The possibility to divide fields into zones based on the soils potential to mineralize nitrogen were studied in field trials on three farms in the south of Sweden during the growing seasons 2003 to 2005. Two of the fields were selected because of there larg variation in soil organic matter (SOM) contant with up to 20 % SOM in the top soil (0-30 cm). The third field hade a more representative SOM content for Swedish arable land with SOM content between 2 and 5.5 % in the 0-30 cm soil layer. Nitrogen uptake in non nitrogen fertilised plots distributed over the fields to cover as much of the variation in texture, topography and SOM content were used as measurement for nitrogen mineralisation. Before the last year the fields were divided into zones based on the nitrogen uptake in the non fertilised plots. To validate the zons field trails with different levels of nitrogen fertilisation were distributed within and between them. Conventional analyses for SOM and clay content as well as measurements with near infrared reflectance (NIR) spectroscopy on the soil and vegetation indexes from measurements of the crop with Yara N-sensor were used to predict nitrogen uptake and for dividing the fields into zones.

There were large differences between the highest and the lowest nitrogen uptake in the non fertilised plots within the same field and year. Even in the field with the smallest variation in SOM, the difference was about 70 kg N ha⁻¹ and in the field with the largest variation in SOM the difference was up to 126 kg N ha⁻¹. NIR-measurements could predict nitrogen uptake with only small errors within fields with large variation in SOM. Using SOM and clay content resulted in neither better nor worse predictions. Both methods predicted nitrogen uptake ± 15 kg N ha⁻¹ at the field outside Örebro. At the field outside Vårgårda the errors were a little larger. The advantages with NIR-technique compared to conventional soil analyses is that it is fast and requires only a minimum sample preparation which makes it les expensive. There is also potential for development of in-field measurements. However, NIR measurements could not predict nitrogen uptake when the variation in nitrogen uptake was caused by something other than SOM and clay content. This was the case on the field with the small variation in SOM content. It was not possible to use the same model for predicting nitrogen uptake on the fields outside Örebro and Vårgårda which suggests that models for large geographical areas, for example one model for the whole of Sweden, is non achievable.

According to the field trails the field outside Vårgårda could be divided into three mineralisation zones. Economically optimal nitrogen fertiliser amount with a price ratio of grain to fertiliser of 10:1 was 77, 111 and 136 kg N ha⁻¹ in the three zones respectively. The yields for the optimum fertilisation rates were 6850, 6640 and 7310 kg ha⁻¹ with the largest variation in the middle zone. Nitrogen uptake was in average 125 kg N ha⁻¹ in the zone with the lowest nitrogen fertiliser optimum. The other zones hade average nitrogen uptake of 40 kg N ha⁻¹ and 70 kg N ha⁻¹ lower. The field outside Örebro could be divided into two zones with nitrogen uptake of in average 38 and 81 kg N ha⁻¹ respectively. Economically optimal nitrogen fertilisation amount were for the two zones 153 kg N ha⁻¹ and 69 kg N ha⁻¹

respectively. Both fields could be divided into zones using vegetation indexes from measurements of the crop with Yara N-sensor recalculated as nitrogen uptake. But again the calculations were different for the two fields and no general model could be made.

Regardless of method for dividing the fields into mineralisation zones, whether it is using NIR or N-sensor measurements, non fertilised plots seems to be inescapable. However, intense soil samplings to large depth dose not appear to be necessary. Top soil for NIR measurements (if that is the chosen method) seems to be sufficient. The advantage of using the N-sensor is the high sampling resolution which leads to interpolations with higher certainty and thereby more reliable boundaries between the zones. The disadvantage is that large variation in the crop for example caused by injuries or poor establishment of the crop have large influence. Measurements from several occasions and particularly from different years are one way of solving that. The vegetation stage during the measurements did not appear to matter in this study.

The possibility to use measurements with Yara N-sensor from earlier years for prediction of nitrogen delivery during the growing season makes it possible to improve the nitrogen efficiency with low costs on fields with large variation in nitrogen mineralisation due to variations in clay and SOM content. However, before this could be feasible more fields need to be included in the study.

Bakgrund

Ett av de centrala problemen i växtnäringsförsörjningen är anpassningen av kvävegivan till ett skifte och dess olika delar. Stora mängder kväve kan mineraliseras under växtsäsongen och variationen inom fält kan vara betydande (Börjesson et al., 1999, Delin & Lindén, 2002). Detta gäller inte minst fält med stor mullhaltsvariation. Genom att anpassa kvävegödselgivan efter denna variation kan både kostnader och förluster av kväve till omgivande miljö minskas. Att förutsäga absoluta mängder mineraliserat kväve varje säsong kan dock vara svårt då variationen i växttillgängligt kväve i marken och grödans tillväxt påverkas av både markparametrar och väder. Att istället dela in fält i zoner med relativt stabila mineraliseringspotentialer skulle kunna underlätta implementeringen av varierad kvävegödsling.

Mull- och lerhalt är markparametrar som påverkar kvävemineraliseringen (Delin & Lindén, 2002), men de kan bara delvis förklara variationen och är både tidsödande och dyra att mäta. Detta blir speciellt tydligt vid de täta provtagningar som ofta är önskvärdt för plats-specifika åtgärder. NIR- (Nära Infraröd Reflektans) teknik har fördelen att kräva endast liten provberedning och potentialen finns för utveckling av direkt mätning i fält (Mouazen et al., 2005). NIR-spektrum har tidigare relaterats till både mullhalt och mullhaltskvalitet (Chang & Laird, 2002, Fystro, 2002) samt markttextur (Chang et al., 2001, Broge et al., 2004, Stenberg et al., 2005). Lovande resultat har även visats i studier där NIR har använts för att prediktera kväveupptag hos grödor inom och mellan fält (Börjesson et al., 1999, Dunn et al., 2000, Stenberg et al., 2005). I dag finns även andra mättekniker tillgängliga som ger möjlighet till relativt billig mätning över hela fältet med hög provtäthet. Det kan till exempel vara grödans kvävestatus, och biomassa med Yaras N-sensor eller jordartsfördelningen genom en mätning av markens ledningsförmåga med ett EM 38-instrument.

Syftet med projektet var att undersöka möjligheterna att dela in fält med hög mullhaltsvariation i stabila mineraliseringszoner med hjälp av NIR-teknik, mull- och lerhaltsanalyser samt skanningar med Yara N-sensor och EM38-data.

Material och metoder

Försöksplatser

Försöken lades ut på tre gårdar i södra Sverige under åren 2003-2005, Ribbingsberg (58°06' N, 12°50' E) norr om Vårgårda, Nybble (59°13' N, 15°0' E) norr om Örebro och Hacksta (59°33' N, 17°02' E) söder om Enköping. Ett 15 ha stort fält på Ribbingsberg och ett 11 ha stort fält på Nybble valdes ut på grund av stora variationer i mullhalt med upp till 20 % mull i matjorden, medan det 25 ha stora fältet som valdes på Hacksta hade en för svensk åkermark mer representativ mullhalt på 2-5,5 % mull i matjorden. Under försöksperioden och föregående år var grödan stråsäd på alla platser. Ingen stallgödsel användes på Nybble eller Hacksta. På Ribbingsberg spreds svinggödsel hösten 2002 men inget spreds under åren 2003-2005. Kemisk bekämpning på fälten gjordes enligt lokala rekommendationer och normalt bruk på gården.

Nollrutor

Under växtsäsongerna 2003-2004 anlades 13-20 icke kvävegödslade rutor, fortsättningsvis kallade nollrutor, på varje fält (tabell 5). Dessa nollrutorna var mellan 24 och 32 m² och fördelades över fälten utifrån tillgängliga markkartor för att fånga in variationen i topografi, textur och mullhalt.

Provtagning och analys av gröda och jord

Grödan i nollrutorna provtogs vid mognad (DC 91) genom att klippa och lägga ihop ovanjordiska växtdelar från fyra slumpvis utlagda 0,25 m² stora kvadrater i varje ruta. Grödan torkades i 60°C i 24 timmar, maldes och kärna och halm analyserades var för sig på totalt kol och kväve med en LECO[®] CNS-2000 analyser (LECO Corporation, St. Joseph, MI, USA, www.leco.com) vid avdelningen för växtnäringslära, SLU, Uppsala. Detta kväve benämns fortsättningsvis som kväveupptag.

Jordprovtagning gjordes i varje nollruta tidig vår och vid skörd ner till 90 cm i tre skikt, 10 stick 0-30 cm och 8 stick 30-60 och 60-90 cm. Delsticken slogs ihop till ett jordprov per djup och nollruta. Jorden proven lagrades, maldes och homogeniserades frusna för att sedan analyseras med avseende på mineralkväveinnehåll (NH₄⁺ och NO₃⁻). Vid vårprovtagningen delades proven upp i två delar efter homogeniseringen. En del analyserades på mineralkväve och den andra delen torkades i 35°C två till tre dagar och maldes (< 2 mm) där efter före mullhalts och texturanalys samt mätning med NIR-spektroskopi. Cylindrar togs ut på djupen 7-12 cm, 40-45 cm och 70-75 cm för beräkning av volymvikt på ett fåtal platser på fälten (figur 1 och tabell 1.). För att få information om volymvikterna i alla nollrutor gjordes kalibreringsmodeller för beräkning av volymvikter utifrån textur och mullhalter för varje fält. Mineralkvävemängderna räknades om till kg N ha⁻¹ med de beräknade volymvikterna. Nettomineraliseringen beräknades som mineralkväve 0-90 cm vid skörd + kväveupptag i grödan – mineralkväve 0-90 cm tidig vår.



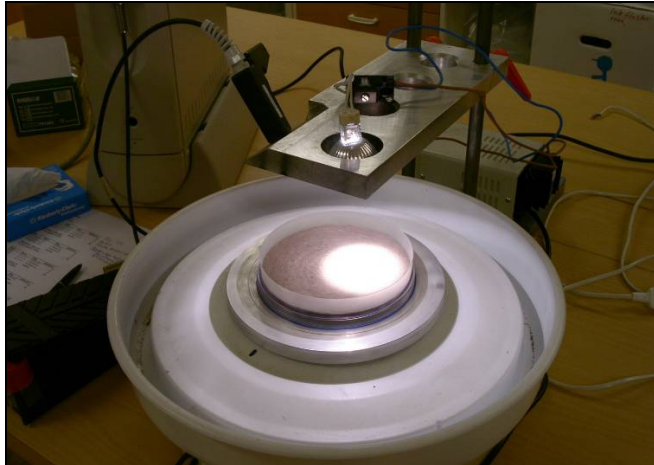
Cylinderprovtagning på djupet 40-45 cm.

Tabell 1 Antal cylindrar för volymviktsberäkning på de tre fälten. Alla djup = 7-12 cm, 40-45 cm och 70-75 cm.

	antal cylindrar	
	alla djup	endast 7-12
Nybble	4	4
Ribbingsberg	5	8
Hacksta	3	6

Figur 1.

Mullhalten bestämdes genom glödförlust och korrigerades för strukturellt bundet vatten i lermineralen. Texturindelningen var ler (>0.002 mm) mjäla plus finmo (0.002-0.063 mm) och grovmo plus sand (0.063-2 mm). Lerhalten bestämdes genom sedimentation och det två grövre fraktionerna bestämdes genom sällning. Textur- och mullhaltsanalyser gjordes vid AnalyCens jordlaboratorie i Kristianstad. Mullhalt och textur analyserades alla år på Ribbingeberg. På Nybble gjordes ingen mullhalts eller texturanalys på alvsiktigt 2003 och på Hacksta analyserades enbart 2004 års prov på mullhalt och textur. Till NIR-mätningarna användes ett FieldSpec Pro FR instrument (Analytical Spectral Devices Inc., Boulder, CO, USA, www.asdi.com) utrustat med en mätprob kopplat till instrumentet via en fiberoptisk kabel. Proven placerades på 7 cm avstånd från mätproben och för varje jordprov togs spektrum från två delprov. Varje spektrum bestod av ett medeltal av 50 spektra från en roterande provyta på ca 75 cm² (figur 2). Våglängder mellan 350 och 2500 nm registrerades med 1 nm intervall och våglängderna i NIR-området 780-2500 användes i vidare beräkningar.



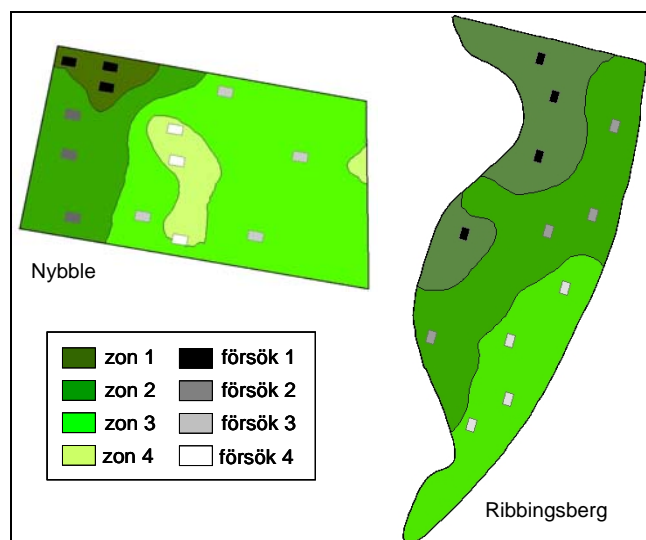
Figur 2. Uppsättning för NIR-mätning. Ett av två delprov ligger på en roterande skiva. Mätprob och belysning sitter ca 7 cm över provet. Mätproben är kopplad till NIR-instrumentet via en fiberoptisk kabel.

Dataanalyser

NIR-spektrumen från mätningarna på jordproven uttrycktes som absorbans ($\log(1/\text{reflektans})$) och varje spektrum transformerades med förstaderivatan vilket förstärker svagare signaler. För att reducera mängden brus som också förstärks filterades spektrumen också med fem punkters interpoleringsteknik (Savitzky & Golay, 1964) före analyserna. Analyser och statistik kopplat till NIR-mätningarna gjordes i Unscrambler® 9.0 (CAMO PROCESS AS, Oslo, Norway). Genom att använda den multivariata kalibreringstekniken PLS (Partial Least Squares) gjordes kalibreringsmodeller innehållande NIR och/eller mull- och lerhalt för bestämning av kväveupptag. Modellerna validerades genom fullständig korsvalidering (Martens & Naes, 1989). Kalibreringsmodellerna för kväveupptag gjordes platsvis för varje år samt genom att använda alla tre åren i samma modell. De olika modellerna användes sedan för att prediktera kväveupptag mellan år inom samma fält samt mellan fält inom eller mellan år. Kalibreringsmodellerna värderades genom r^2 -värdet mellan beräknad och uppmät kväveupptag, med feltermerna RMSECV och RMSEP (root mean squared error of cross-validation respektive prediction) RMSECV och RMSEP har samma enhet som den beroende variabeln (d v s kväveupptag). Standardavvikelsen för kväveupptaget dividerat med RMSECV eller RMSEP ger RPD-värdet. För statistiska skillnader i RPD-värden användes ANOVA ($p < 0,05$) i MINITAB 14.

Zonindelning

Inför växtsäsongen 2005 gjordes en zonindelning av fälten på Ribbingsberg och Nybble utifrån 2003 och 2004 års kväveupptag i nollrutorna. Zonindelningen resulterade i tre zoner på Ribbingeberg och fyra på Nybble. För att validera zonerna lades ett försök med kvävestegar ut i varje zon under växtsäsongen 2005 (figur 3,4 och tabell 2). Blocken i försöken (fyra på Ribbingsberg och tre plus ett extra i zon tre på Nybble) spreds ut i varje zon för att testa hur väl zonindelningen hade lyckats. Kärnskördarna i försöken 2005 bestämdes genom rutvis tröskning och analys med avseende på renhet, vattenhalt och proteininnehåll vid Hushållningssällskapet i Skara. Proteinhaltsbestämningen gjordes på ett Infratec 1241 NIT-instrument (FOSS i Skandinavien, Höganäs) med kalibreringar via Agronet. Agronet är ett kalibreringssamarbete mellan Lantmännen Analycen, FOSS och ett trettioårigt spannmålshandlare. Rutorna i ledet utan kvävegödsling var dubbelt så stora som rutorna i de övriga leden för att göra det möjligt att tröska hälften som övriga rutor i försöken och behandla hälften som tidigare års nollrutor. Resultatet blev 12 nollrutor på Ribbingsberg och 13 på Nybble. Då det inte gick att skapa zoner utifrån kväveupptaget i nollrutorna 2003-2004 på Hacksta, ströks den platsen under 2005 och resurserna koncentrerades istället till de två kvarvarande fälten.



Figur 3. 2005 års indelning av fälten på Nybble och Ribbingsberg i fyra respektive tre zoner utifrån N-upptaget i nollrutorna 2003-2004. Placeringen av försöken (fyra på Nybble och tre på Ribbingsberg) och blocken (tre på Nybble (med ett undantag) och fyra på Ribbingsberg).



Figur 4. Principskiss över ett block. Ena halvan av rutan i led A tröskades och den andra klipptes som i tidigare års nollrutor. Blocken innehöll antingen led B eller G.

Tabell 2. Mängden N i kg ha⁻¹ i försöksleden (A-G).

	A	B	C	D	E	F	G
Nybble							
Försök 1 och 2	0	30	60	90	120	150	-
Försök 3 och 4	0	-	60	90	120	150	180
Ribbingsberg							
Försök 1	0	40	80	120	160	200	-
Försök 2 och 3	0	-	80	120	160	200	240

Fältmätningar

Skanningar över hela fälten med Yaras N-sensor gjordes på alla tre fälten år 2003-2004 vid sen stråskjutning (DC37-39) och efter avslutad blomning (DC 69). På Nybble och Ribbingsberg gjordes dessutom en skanning i begynnande axgång (DC 47-53) år 2003. 2005 skannades Nybble och Ribbingsberg vid begynnande och sen stråskjutning. Vid de första skanningarna 2003 registrerades 5 våglängder mellan 550 och 810 nm. Vid de senare körningarna det året registrerades enbart Yaras biomasseindex. Vid skanningarna 2004 och 2005 registrerades 20 våglängder mellan 460 och 810 nm vid alla körningarna undantaget den första skanningen på Nybble där enbart de 5 första våglängderna kom med. Våren 2004 mättes markens elektriska konduktivitet över hela fälten med EM38 (Geonics Ltd.) på Hacksta och Ribbingsberg. På Nybble användes en EM38-mätning från november 2001.

Dataanalyser

Ekonomiskt optimal kvävegiva per block beräknades utifrån en priskvot på 10 (förhållandet mellan priset per kg mineralgödselkväve och priset per kg kärna) och en avkastningskurva beräknad genom att anpassa ett tredjegrads polynom till rutskördarna. Kväveupptaget på Nybble och Ribbingsberg interpolerades med ordinary kriging (Burrough & McDonnell, 1998) från 2003 och 2004 års nollrutor och delades in i fyra respektive tre klasser utifrån förväntad kväveleverans. N-sesordata räknades om till biomasseindex (BI) enligt $BI = NIR/grönt$ där NIR representerades av 810 nm och grönt av 550 nm. Vid de tillfällen då inga specifika våglängder registrerades användes Yaras biomasseindex. Kartor från de enskilda skanningar och medelvärden för flera skanningar tillsammans jämfördes sedan tillsammans med EM38-kartor med kartorna över kväveupptaget och 2005 års zonindelning. Geografiska analyser och statistik gjordes i ESRI®ArcMap™ 9.0 (www.esri.com). För statistiska skillnader användes Envägs ANOVA ($p < 0,05$) i MINITAB 14.

Nederbörd

Nederbörden för växtsäsongerna 2003-2005 redovisas månadsvis tillsammans med referensnormaler (1961-1990) (Alexandersson & Eggertsson Karlström, 2001) i tabell 3. Nederbördsdata från fälten kommer från interpolerad väderdata från SMHI. Referensnormalerna kommer från SMHIs väderstationer på Uplo i närheten av Ribbingsberg samt en station i Örebro och en på Hacksta.

Tabell 3. Månadsvis (april-augusti) nederbörd i mm från försöksåren samt referensnormaler (1961-1990) (Alexandersson & Eggertsson Karlström, 2001).

	Nybble				Ribbingsberg				Hacksta		
	2003	2004	2005	61-90	2003	2004	2005	61-90	2003	2004	61-90
april	44	20	17	34	72	18	27	42	31	17	32
maj	73	35	63	37	78	29	55	48	59	32	35
juni	120	110	53	48	85	70	86	65	62	78	47
juli	73	64	102	64	108	135	98	77	35	65	68
augusti	80	86	61	63	41	73	80	75	50	60	63

Resultat

Beräkning av kväveupptag med NIR-spektroskopi eller mull- och lerhalt

Mullhalter och texturfördelningen i de tre djupen redovisas i tabell 4. Jordarten på Hacksta och Nybble var lerjordar med i medeltal mellan 40-50 % ler. Ribbingsberg hade en lägre lerhalt på ca 20 % och framförallt en högre andel sand. Både Ribbingsberg och Nybble hade stor variation i mullhalt i matjorden men variationen var störst på Ribbingsberg som även hade stor variation nere i alven. På Hacksta var variationen framförallt i mullhalt relativt liten.

Skillnaden i nollrutorna mellan lägsta och högsta kväveupptag inom varje år och fält var mellan 70 och 126 kg N ha⁻¹ med minst skillnad på Hacksta och högst på Ribbingsberg (tabell 5 och figur 5). På Nybble var N-upptaget i medeltal ca 50 kg N ha⁻¹ alla tre åren och medianen låg mellan 40 och 55kg N ha⁻¹. Kväveupptaget på Ribbingsberg under 2003 och 2004 var i det närmaste lika stort, med ett medelupptag på 90 kg N ha⁻¹. 2005 var kväveupptaget något lägre med medelupptag på ca 70 kg N ha⁻¹. Hacksta hade höga kväveupptag år 2003 med i medeltal 110 kg N ha⁻¹ och ett lägsta upptag på 70 kg N ha⁻¹. 2004 var kväveupptaget något lägre med i medeltal ca 70 kg N ha⁻¹.

Tabell 4. Mullhalten och texturfördelningen i % på tre djup, ler (>0.002 mm) silt (0.002-0.063 mm) och sand+grovm (Sand) (0.063-2 mm). Antalet prov var på Ribbingsberg 45 och på Hacksta 20 st på alla djup. På Nybble var det 53 prov i matjorden, 31 på djupet 30-60 cm och 32 på djupet 60-90 cm. StDav = standard-avvikelsen

		0-30 cm				30-60 cm				60-90 cm			
		Mull	Ler	Silt	Sand	Mull	Ler	Silt	Sand	Mull	Ler	Silt	Sand
Nybble	medel	8,0	35	60	5	2,7	44	53	2	1,3	46	51	3
	min-max	3,2-19,1	12-62	36-82	2-9	<0,1-14,6	20-62	37-77	1-6	<0,1-6,2	28-67	32-69	1-16
	StDav	3,5	11	11	1	3,6	12	12	1	1,6	11	10	3
Ribbingsberg	medel	7,9	22	46	32	7,9	21	45	34	7,1	22	44	35
	min-max	1,7-20,3	8-37	27-68	6-63	<0,1-34,0	5-42	14-75	5-80	<0,1-47,5	4-47	14-82	7-82
	StDav	5,5	7	10	15	10	10	17	25	14,6	12	17	24
Hacksta	medel	3,6	40	44	15	0,70	50	41	10	0,20	54	38	8
	min-max	2,0-5,6	23-52	35-54	5-38	<0,1-3,3	25-63	32-57	2-29	<0,1-2,2	22-77	21-54	1-26
	StDav	1,1	8	5	8	0,8	10	6	9	0,5	16	8	9

Tabell 5. Kväve (kg ha⁻¹) i ovanjordiska växtdelar i nollrutorna vid skörd (N-upptag). n = antal nollrutor, StDav = standardavvikelse.

		n	Medel	StDav	Min	Median	Max	Gröda
Nybble	2003	20	53	30	20	45	134	Havre
	2004	20	51	29	21	39	106	Havre
	2005	12	53	31	18	55	111	Korn
Ribbingsberg	2003	20	91	41	41	73	167	H-vete
	2004	13	94	37	37	95	150	Havre
	2005	12	68	26	32	64	122	H-vete
Hacksta	2003	23	110	23	74	110	170	H-vete
	2004	21	67	19	33	70	105	H-vete

**Figur 5.** Nollrutor på fältet på Nybble vid stadie DC 37. Den vänstra rutan är från en del av fältet med hög kväve mineralisering och den högra från en del med låg mineralisering.

Det gick lika bra att använda NIR i kalibreringsmodellerna för att bestämma kväveupptag som att använda mull- och lerhalt (tabell 6). Det var inga signifikanta skillnader mellan metoderna sett till RPD-värdena. Ett RPD värde på 2 har i markstudier (Chang et al. 2001) föreslagits som riktvärde, en miniminivå, för när kalibreringar kan ge tillfredsställande prediktioner. Det tillförde heller inget att använda både NIR och mull- och lerhalt i samma kalibreringsmodell och modellerna blev inte signifikant bättre om hela profilen ner till 90 cm togs med än om enbart matjorden ingick. På Ribbingsberg fanns dock tendenser till bättre värden om hela profilen användes. Sett till RPD-värden fanns inga signifikanta skillnader mellan hur bra modellerna fungerade på Nybble jämfört med Ribbingsberg även om det var jämnare kvalitet på modellerna för Nybble. På Hacksta resulterade kalibreringsmodellerna med NIR i r^2 -värden under 0,2 och RPD-värden strax över 1 det vill säga inte bättre än slumpen. Kalibreringsmodeller med mull- och lerhalter gick inte att göra för Hacksta.

Att använda kalibreringsmodellerna till att prediktera kväveupptaget mellan år inom samma fält gav på Nybble jämförbara resultat med de korsvaliderade kalibreringarna inom fält och år. I medeltal blev r^2 -värdet 0,8, RMSEP på ca 15 kg N ha⁻¹ och RPD 1,9 både för NIR-modellerna och för de med mull och lerhalt. På Ribbingsberg blev resultaten något sämre med medelvärdena på r^2 0,5-0,65, RMSEP ca 30 kg N ha⁻¹ och RPD 1,2-1,4 för NIR- respektive mull- och lerhalts-modellerna. Att använda kalibreringsmodellerna till att prediktera kväveupptaget mellan fält gick inte lika bra Utan resulterade i en del fall i r^2 -värden på 0 och i medeltal RPD värden under 1.

Stora mängder mineralkväve i marken vid provtagningarna tidig vår i rutorna med störst kväveleverans under växtsäsongen på Nybble och Ribbingsberg resulterade i mycket liten eller negativ nettomineralisering. Resultaten på Hacksta förbättrades heller inte av att använda nettomineraliseringen istället för kväveupptag varför nettomineralisering ströks som metod och enbart kväveupptag i gröda användes.

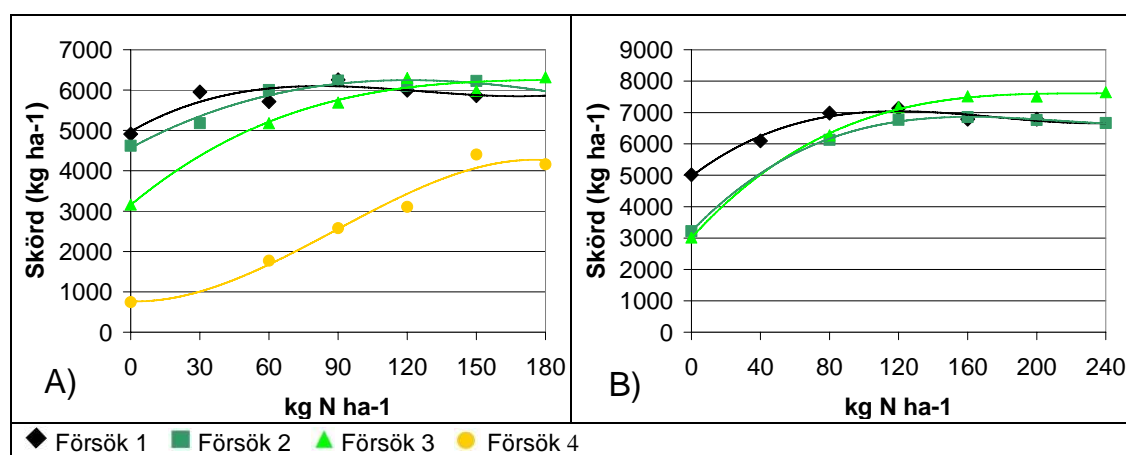
Tabell 6. Korsvaliderade kalibreringsmodeller för bestämning av N-upptag, med NIR eller mull- och lerhalt i matjorden (0-30 cm). Med NIR användes en PLS-modell och med mull och lerhalt en MLR-modell (multipel linjär regression) eftersom det bara rör sig om två variabler. n = antal prov, nr PC = antalet PLS-komponenter som ingår i modellen.

		n	NIR				Mull+ler		
			nr PC	r ²	RMSECV	RPD	r ²	RMSECV	RPD
Nybble	2003	20	3	0,85	11	2,6	0,69	16	1,8
	2004	20	3	0,75	14	2,1	0,81	12	2,3
	2005	12	2	0,83	12	2,4	0,79	14	2,3
	2003-2005	52	1	0,79	13	2,2	0,77	14	2,1
Ribbingsberg	2003	20	2	0,26	36	1,1	0,36	33	1,3
	204	13	2	0,81	16	2,4	0,77	17	2,2
	2005	12	6	0,79	12	2,3	0,54	18	1,5
	2003-2005	45	1	0,44	28	1,3	0,52	26	1,5
Hacksta	2004	20	6	0,16	17	1,1	-	-	-

Zonindelning

Zonindelningen enligt 2003 och 2004 års kväveupptag i nollrutorna resulterade i tre zoner på Ribbingsberg och fyra på Nybble (figur 3). Kväveresponskurvor för kväveförsöken i de olika zonerna visas i figur 6 och ekonomiskt optimal kvävegiva samt skörd vid optimal kvävegiva i tabell 7. De tre försöken på Ribbingsberg skilde sig signifikant åt i optimal kvävegiva. Skillnaden var i medeltal 34 kg N ha⁻¹ mellan försök 1 och 2 och 25 kg N ha⁻¹ mellan försök 2 och 3. På Nybble var det endast signifikanta skillnader mellan försök 1 och 4 (100 kg N ha⁻¹) och i två av blocken (ett i försök 3 och ett i försök 4) gick det inte att räkna ut något optimum eller så hamnade det utanför gödslingsstegen. Signifikanta skilda zoner på Nybble blev det först med två zoner där försök 1 och 2 slogs ihop till en zon och försök 3 och 4 till en annan (figur 7a). Skillnaden i medeltal i optimal kvävegiva blev då 67 kg N ha⁻¹. Medelvärdet för kväveupptaget i zonerna blev då 81 respektive 38 kg N ha⁻¹, med brytpunkten satt till 60 kg.

Medelvärdet över alla skanningarna på Nybble med Yara N-sensor visade på ett tydligt samband med kväveupptaget. Sambandet var dock inte linjärt varför en omräkning först var nödvändig. Biomassan räknades om till kväveupptag genom anpassningen av ett andragsgradens polynom till datan ($r^2 = 0,81$). Biomassan omräknat till kväveupptag kunde delas in i två signifikant skilda zoner sett till försöken genom metoden natural brakes (Jenks natural breaks i ESRI@ArcMapTM 9.0). I zonerna ingick då hela försök 1 och 2 samt block 3b



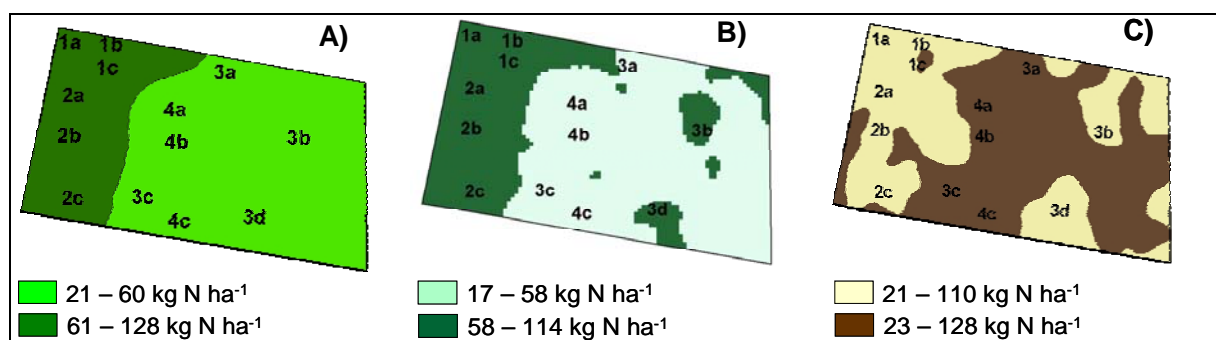
Figur 6. Kväveresponskurvor för försöken på A) Nybble och B) Ribbingsberg. Kurvorna är tredjegrads-polynom anpassade till medeltalen för de olika N-leden i försöken (på Nybble ett medeltal av 3 block (endast 2 i försök 4) och på Ribbingsberg ett medeltal av 4 block).

Tabell 7. Ekonomiskt optimal N-giva (priskvot 10) i medeltal för försöken, skörd i medeltal vid optimal N-giva och R^2 -värdet för tredjegradspolynomet som anpassats till alla blocken i försöket. n = antal block. Samma bokstav (a-b) innebär att inga signifikanta skillnader kunde se mellan försöken.

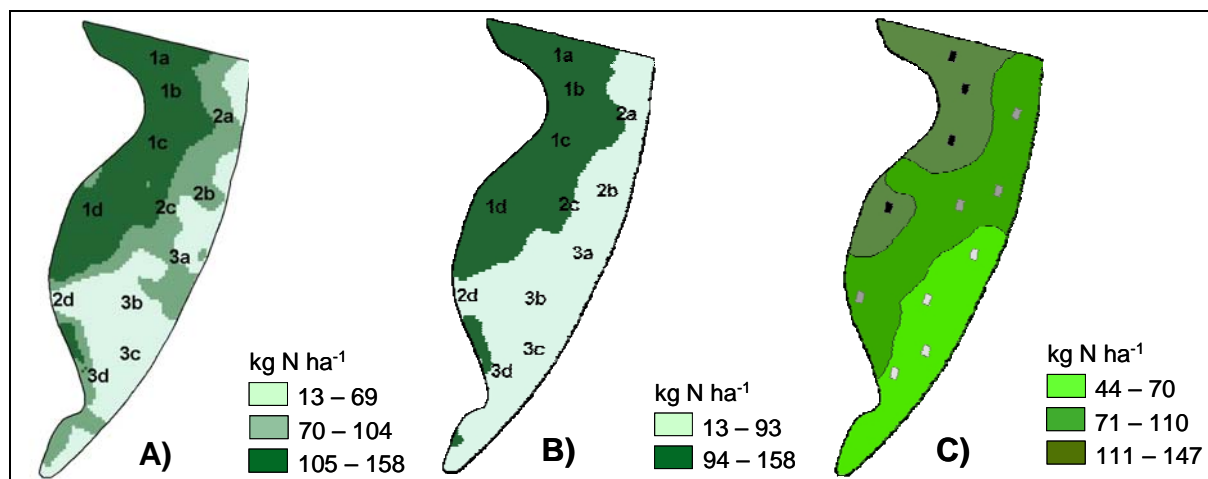
		R^2	n	Optimal N-giva		Skörd vid optimal N-giva	
				Medel	StDav	Medel	StDav
Nybble	Försök 1	0,28	3	65 a	41	6373	46
	Försök 2	0,98	3	73 ab	13	6041	192
	Försök 3	0,63	3	118 ab	40	6253	628
	Försök 4	0,97	2	165 b	17	4279	33
Ribbingsberg	Försök 1	0,62	4	77 a	9	6853	342
	Försök 2	0,73	4	111 b	12	6642	618
	Försök 3	0,98	4	136 c	14	7313	188

och d i en zon och block 3a och c tillsammans med hela försök 4 ingick i en andra (figur 7b). Kväveupptaget i zonerna blev i medeltal 81 kg N ha⁻¹ för zon 1 och 35 kg för zon 2 med en brytpunkt mellan zonerna vid 58 kg ha⁻¹. Sensorskanningarna på Ribbingsberg visade även de ett tydligt samband med kväveupptaget i nollrutorna. Körningarna 2005 togs bort ur beräkningarna då ett relativt stort område på fältet legat under vatten och is en längre tid vilket kraftigt försämrade höstvetets övervintring. Sambandet på Ribbingsberg var linjärt och biomassan räknades om genom att använda en PLS-kalibreringsmodell där alla skanningarna från 2003 och 2004 ingick. En indelning i tre klasser med natural brakes resulterade i tre signifikant skilda zoner sett till försöken, där den stora skillnaden jämfört med zonindelningen gjord enbart på kväveupptag från nollrutorna var att zon 2 blev mindre och att block 2d hamnade i zon 3 (figur 8). Kväveupptaget blev i medeltal för zonerna; 125, 84 respektive 55 kg N ha⁻¹, vilket kan jämföras med 125, 93 och 60 kg N ha⁻¹ som var medelvärdena för kväveupptaget i de tre zoner som skapades från nollrutorna. En indelning av fältet på Ribbingsberg i två zoner från omräknade N-sensordata resulterade i medelvärden för zonerna på 122 respektive 64 kg N ha⁻¹ och en brytpunkt vid 93 kg.

På Nybble visade EM38-mätningen liknande mönster som kväveupptaget uträknat från N-sensorkörningarna (figur 7c). Sett till försöken blev zonindelningen också den samma men sett till kväveupptag i zonerna uträknat från de interpolerade kväveupptaget i nollrutorna 2003 och 2004 blev indelningen inte lika tydlig. Medelvärdena för zonerna blev 62 respektive 40 kg N ha⁻¹ och spridningen inom zonerna var större än i de andra zonindelningarna. Det gick inte att göra någon bra omräkning till kväveupptag från EM38-data och det förbättrade inte heller resultatet att använda både N-sensor- och EM38-mätningar. Det samma gällde för Ribbingsberg.



Figur 7 Tre sätt att dela in fältet på Nybble i två signifikant skilda zoner sett till kväveförsöken. A) Försök 1 och 2 utgör en zon och försök 3 och 4 en annan. B) Zonerna skapas utifrån EM38 data, hela försök 1 och 2 samt block 3b och 3d i en zon och block 3a och 3c samt hela försök 4 i den andra. C) Två zoner utifrån omräknade N-sensordata med samma indelning av block i de båda zonerna som i B.



Figur 8. Zonindelning på Ribbings-berg med hjälp av omräknade biomasseindex från skanningar med Yara N-sensor under växtsäsongen 2003 och 2004. A) tre zoner och B) 2 zoner. C) zonindelningen från kväveupptag i nollrutor 2003-2004.

Diskussion

Det fungerade bra att beräkna kväveupptaget med den billigare NIR-metoden inom fält med stor mullhaltsvariation (2-20 %) men inga egentliga skillnader kunde ses jämfört med att använda mull- och lerhalt. Kalibreringsmodellerna förbättrades inte av att både NIR och mull- och lerhalt användes vilket tyder på att båda metoderna skattar samma egenskaper hos jorden. Att det är framförallt mull- och textur som syns i NIR styrks också av att inga tillfredställande NIR-kalibreringar kunde göras på Hacksta där variationen i kväveupptag var likvärdig men inte kunde förklaras av variationen i mull- och lerhalt. Hur stor variation i mullhalt som behövs för säker zonindelning efter mull- och lerhalt återstår att ta studera.

Varken NIR eller mull- och lerhaltskalibreringarna kunde beräkna kväveupptaget särskilt väl 2003 på Ribbingsberg, trots det större antalet nollrutor det året. En trolig förklaring till detta kan vara spridningen av svingödsel samma höst som höstvetet såddes. Den innebar att även nollrutorna fick gödsel på hösten och att även platser med annars låg kväve mineraliseringsförmåga antagligen levererade mer kväve än normalt under växtsäsongen 2003. Det dåliga resultatet 2003 slår igenom när alla åren användes i samma modell och även vid prediktionerna mellan åren inom samma fält.

Resultaten från Nybble och Ribbingsbergsfälten (bortsett från Ribbingsbeg 2003) stämmer väl överens med tidigare resultat från Ribbingsbergsfältet (Stenberg et al., 2005). RPD-värden på drygt 2 vid platsvisa kalibreringar för de enskilda åren och strax under 2 vid kalibreringar mellan år men inom samma fält. De något lägre siffrorna för Ribbingsberg beror troligen på att den dåliga kalibreringen 2003 slår igenom. Stenberg et al (2005) fick även goda resultat för prediktioner mellan fält, något som inte lyckades i den här presenterade studien. En förklaring kan vara att Stenberg et al. (2005) i sin studie tittade på två relativt närliggande fält, där jordart och klimatförhållanden i stort kan antas vara mer likartade än mellan de två fält som jämfördes här. Att det gick dåligt att prediktera kväveupptaget mellan fälten visar att modellerna var allt för olika något som även kunde ses vid en jämförelse av modellernas olika koefficienter. Detta tyder på att generella kalibreringsmodeller tänkta att fungera över stora geografiska områden troligen inte är möjliga, men att kalibreringar på fält eller för större områden med enhetliga jordarts och klimatförutsättningar kan vara en framkomlig väg.

Både NIR-mätningar och biomasseindex från Yara N-sensorkörningar fungerade som underlag för en indelning av fälten i kväve mineraliseringszoner med signifikanta skillnader i optimal kvävegiva. Oavsett om zonindelningen byggde på NIR eller N-sensorkörningar verkar det dock vara nödvändigt med lokala kalibreringsmodeller med egna nollrutor i fält. Däremot tycks det inte vara nödvändigt med omfattande jordprovtagning på 0-90 cm. Matjord räcker för en NIR-kalibrering. Fördelen med N-sensorn är den höga provtätheten. Den ger säkrare interpoleringar och därmed en större säkerhet vid gränsdragningen mellan zoner. Nackdelen med N-sensorn är att stora variationer i beståndet orsakade av annat än kvävetillång till exempel dålig etablering av grödan, får stort inflytande. Detta var tydligt på Ribbingsberg 2005. Flera skanningar vid olika tidpunkter och framförallt olika år är ett sätt att lösa problemet. Skanningstidpunkten verkade i den här studien inte spela så stor roll. Möjligen med undantag för skanningarna på Ribbingsberg i tidig stråskjutning, vilket kan förklaras av att en stor del av upptaget av kväve ännu återstår.

Ett framtida scenario skulle kunna vara att man vid gödsling med Yara N-sensor även skulle kunna ta hänsyn till inomfältsvariation i förväntad kväve mineralisering baserad på tidigare års skanningsresultat. Med en sådan minnesfunktion, N-memory®, baserad på tidigare N-sensorkörningar, nollrutor och en lokal beräkningsmodell kunde kvävegivan anpassas i realtid. På så sätt skulle man redan vid en tidig gödselgiva kunna förbättra precisionen i kvävegödslingen genom att på fältdelar med låg mineralisering säkerställa en god beståndsutveckling och på delar med hög mineralisering minska mängden outnyttjat kväve som annars riskeras att förloras till omgivande miljö i form av utlakning.

Litteratur

Alexandersson, H., Eggertsson Karlström, C. L.-M., S., 2001. Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-1990. Referensnormaler - utgåva 2. Meteorologi no. 99. SMHI, Norrköping. 71

Börjesson, T., Stenberg, B., Linden, B., Jonsson, A., 1999. NIR spectroscopy, mineral nitrogen analysis and soil incubations for the prediction of crop uptake of nitrogen during the growing season. *Plant Soil* 214, 75-83.

Broge, N. H., Thomsen, A. G., Greve, M. H., 2004. Prediction of topsoil organic matter and clay content from measurements of spectral reflectance and electrical conductivity. *Acta Agric. Scand. Sect. B-Soil Plant Sci.* 54, 232-240.

Burrough, P. A., McDonnell, R. A., 1998. *Principles of Geographical Information Systems. Spatial Information Systems and Geostatistics.* Oxford University Press, New York, 333 pp.

Chang, C. W., Laird, D. A., 2002. Near-infrared reflectance spectroscopic analysis of soil C and N. *Soil Sci.* 167, 110-116.

Chang, C. W., Laird, D. A., Mausbach, M. J., Hurburgh, C. R., 2001. Near-infrared reflectance spectroscopy-principal components regression analyses of soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 480-490.

Delin, S., Lindén, B., 2002. Relations between net nitrogen mineralization and soil characteristics within an arable field. *Acta Agric. Scand. Sect. B-Soil Plant Sci.* 52, 78-85.

Dunn, B., Beecher, G., Batten, G., Blakeney, A., 2000. Estimating the uptake of nitrogen by rice crops using near infrared reflectance analysis of soil. In: Davies, A. M. C., Giangiaco, R. (Eds.) Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 9th International Conference. NIR Publications, Chichester, UK, Verona, Italy, pp. 565-568.

Fystro, G., 2002. The prediction of C and N content and their potential mineralisation in heterogeneous soil samples using Vis-NIR spectroscopy and comparative methods. *Plant Soil* 246, 139-149.

Martens, H., Naes, T., 1989. *Multivariate calibration*. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 419 pp.

Mouazen, A. M., De Baerdemaeker, J., Ramon, H., 2005. Towards development of on-line soil moisture content sensor using a fibre-type NIR spectrophotometer. *Soil Tillage Res.* 80, 171-183.

Savitzky, A., Golay, M., 1964. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Analytical chemistry* 36, 1627-1639.

Stenberg, B., Jonsson, A., Borjesson, T., 2005. Use of near infrared reflectance spectroscopy to predict nitrogen uptake by winter wheat within fields with high variability in organic matter. *Plant Soil* 269, 251-258.

Förteckning över utgivna rapporter i serie B Mark och växter:

1. Lindén, B. 1997. Humanurin som kvävegödselmedel tillfört i växande gröda vid ekologisk odling av höstvetete och havre. *Human urine as a nitrogen fertilizer applied during crop growth to winter wheat and oats in organic farming*. Rapport 1.
2. Lindén, B., Roland, J., Carlgren, K., Engström, L. och Tunared, R. 1997. Jämförelser mellan olika odlingssystem med konventionell och minimerad jordbearbetning, med och utan fånggrödor: växtproduktion, kväveförlustrisker och synpunkter på ekonomi. Resultat från undersökningar vid Östads säteri i Västergötland 1985-95. Rapport 2.
3. Engström, L. och Gruvaeus, I. 1998. Ekonomiskt optimal kvävegödsling till höstvetete, analys av 160 försök från 1980 till 1987. Rapport 3.
4. Engström, L. 2000. Axanlagsstudier i höstvetete 1999. Skillnader i utvecklingstakt mellan tidiga höstvetesorter och Kosack. *A study of apex development in winter wheat varieties 1999*. Rapport 4.
5. Lindén, B., Roland, J. och Tunared, R. 2000. Höstsäds kväveupptag under hösten. *Nitrogen uptake of winter cereals during autumn*. Rapport 5.
6. Nyberg, A. och Lindén, B. 2000. Dokumentation av ekologiska växtodlingsgårdar i västra Sverige 1996-98. Rapport 6.
7. Engström, L., Lindén, B. och Roland, J. 2000. Höstraps i Mellansverige - Inverkan av såtid och ogräsbekämpning på övervintring, skörd och kvävehushållning. *Winter oilseed rape in central Sweden – effects of sowing and herbicide use on winter survival, yield and nitrogen efficiency*. Rapport 7.
8. Lundström, C. och Lindén, B. 2001. Kväveeffekter av humanurin, Biofer och Binadan som gödselmedel till höstvetete, vårvete och vårkorn i ekologisk odling. *Nitrogen effects of human urine, meat bone meal (Biofer) and chicken manure (Binadan) as fertilisers applied to winter wheat, spring wheat and spring barley in organic farming*. Rapport 8.
9. Nyberg, A., och Lindén, B. 2002. Inomfältvariationer i avkastning och grovfoderkvalitet på ett vallskifte 1999-2001. *Within-field variations in forage yield and quality of a grass-dominated ley in southwest Sweden 1999-2001*. Rapport 9.
10. Lindén, B., Engström, L. och Ericson, L. 2003. Nitrifikation av ammonium i nötflytgödsel efter tillförsel till jord tidigt och sent på hösten. *Nitrification of ammonium in dairy slurry applied to soil in early and late autumn – implications for the risk of nitrate leaching*. Rapport 10.
11. Engström, L. och Lindén, B. 2003. Skillnader i utvecklingstakt och kväveupptag i tidigt och sent höstvetete – växtodlingssäsongerna 2000-2002. *Differences in development and nitrogen uptake in early and late winter wheat varieties during 2000-2002*. Rapport 11

Förteckning över utgivna rapporter på Avdelningen för Precisionsodling:

1. Lundström, C., Roland, J., Tunared, R. och Lindén, B. 2004. Jämförelser mellan jordbearbetningssystem på lätt och styv lera – produktion, ekonomi och risk för kväveförluster i två försök med sexåriga växtföljder. Resultat från undersökningar vid Östads säteri i Västergötland 1996 – 2003. Rapport 1.
2. Stenberg, M., Delin, K., Roland, B., Söderström, M., Stenberg, B., Wetterlind, J. och Helander, C.A. 2005. *Utveckling av hållbara och produktiva odlingsystem – karakterisering av lerjord. Developing sustainable and productive cropping systems – characterisation of a clay soil.* Rapport 2.
3. Stenberg, M., Myrbäck, Å., Lindén, B., Rydberg, T. 2005. Inverkan av tidig och sen jordbearbetning under hösten på kväve mineraliseringen under vinterhalvåret och på utlakningsrisken på en lerjord. Rapport 3.
4. Lindén, B. och Engström, L: 2006. Höstraps, havre och ärter som förfrukter till höstvete – inverkan på kvävedynamiken i marken och på vetets avkastning. *Winter oilseed rape, oats and field peas as crops preceding winter wheat – effect on nitrogen dynamics in the soil and on wheat yields.* Rapport 4.
5. Lindén, B., Lerenius, C., Nyberg, A., Delin, S., Ferm, M., Torstensson, G., Hedene, K-A., Gruvaeus, I., Tunared, R. och Roland, J. 2006. Kan växtskyddsåtgärder minska kväveförlusterna vid odling av höstvete? Rapport 5.
6. Wetterlind, J., Stenberg, B., Stenberg, M. och Lindén B. 2006. Tidig höstplöjning på lerjordar – riskbedömning av kväveutlakning. *Mouldboard ploughing in early autumn on clay soils - risk assessment of nitrogen leaching.* Rapport 6.
7. Lundström, C (red.). 2006. Precisionsodling 2005 - verksamhet vid Avdelningen för precisionsodling. Rapport 7.
8. Lindgren, J., Stenberg, M och Lindén, B. 2007 Teknik för maximerat kväveutnyttjande och minimerad kväveutlakning i potatisodling. Rapport 8.
9. Larsson, S., Stenberg, M., Gruvaeus, I. och Engström, M. Odlingssystem för grovfoderproduktion med förbättrad avkastning och produktionsekonomi. Rapport 9.
10. Wetterlind, J., Jonsson, A och Stenberg, B. 2007. Indelning av fält i mineraliseringszoner för varierad kvävegödsling. *Establishment of mineralization zones for variable rate nitrogen application.* Rapport 10.

Avdelningen för precisionsodling, Institutionen för markvetenskap, SLU, Skara, (tidigare Institutionen för jordbruksvetenskap Skara) 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. Lanna försöksstation är en viktig resurs för avdelningen, övriga institutioner vid SLU samt andra samarbetspartners.

I serien **Rapporter** redovisas forsknings- och försöksresultat från Avdelningen för precisionsodling, SLU, Skara.

Rapporterna finns tillgängliga på nedanstående Internetadress. Rapporter kan även beställas från avdelningen, se nedan.

Reports with research results from the Division of precision agriculture (Department of Soil sciences, Swedish University of Agricultural Sciences). The reports are available at the internet address given below and can be ordered from the address below.

Distribution:

Avdelningen för precisionsodling
Institutionen för markvetenskap
Sveriges lantbruksuniversitet
Box 234
532 23 Skara

Tel. 0511-670 00, fax 0511-67134
Internet: <http://po-mv.slu.se>