

Slutrapport av projekt 0233028

Indelning av fält i mineraliseringszoner för styrning av N-tillförsel

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 and 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 den praktiska användningen av varierad kvävegödsling.

Mull- och lerhalt är markparametrar som påverkar kvävemineraliseringen (Delin and 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 önskvärt 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 and Laird 2002; Fystro 2002) samt markttextur (Broge et al. 2004; Chang et al. 2001; 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 bland annat i ett tidigare SLF-finansierat projekt 9833039, N-mineralisering och fältmätning med NIR (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.

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 stråsåd 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 4). 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 växtnäringlära, 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. Jordenproven 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 i två till tre dagar och maldes (< 2 mm) där efter före mullhalts och texturanalys samt mätning med NIR-spektroskopi. Mineralkvävemängderna räknades om till kg N ha⁻¹ med korrigerade volymvikter från cylinderprovtagning på fältet. Platsvisa kalibreringsmodeller för volymvikt beräknades med textur och mullhalt. Nettomineraliseringen beräknades som mineralkväve 0-90 cm vid skörd + kväveupptag i grödan – mineralkväve 0-90 cm tidig vår.

Mullhalten bestämdes genom glödförlust och korrigerades för strukturellt bundet vatten i lermineralen. Texturindelningen var ler (>0.002 mm) mjåla 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 Lantmännen Analytens jordlaboratorium i Kristianstad. Mullhalt och textur analyserades alla år på Ribbingsberg. På Nybble gjordes ingen mullhalts- eller texturanalys på alvskikten 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 kopplad 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. Våglängder mellan 350 och 2500 nm registrerades med 1 nm intervall och våglängderna i NIR-området 780-2500 användes i vidare beräkningar.

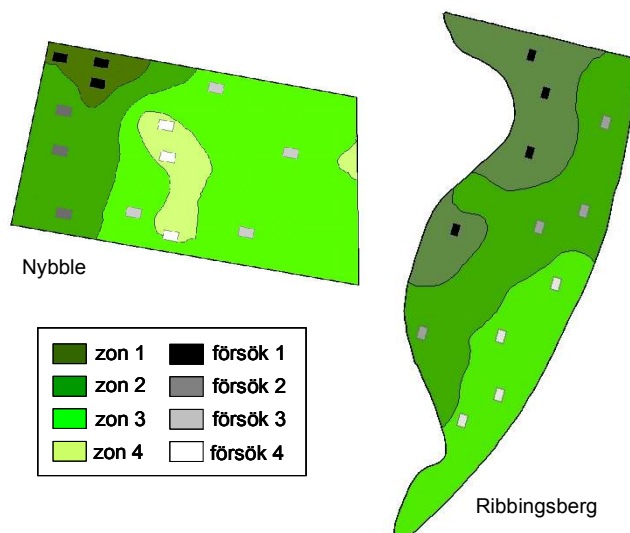
Dataanalyser

NIR-spektrumen från mätningarna på jordproven uttrycktes som absorbans ($\log(1/\text{reflektans})$) och varje spektrum transformerades med förstaderivat vilket förstärker svagare signaler. För att reducera mängden brus som också förstärks filterades spektrumen också med en fem punkters interpoleringsteknik (Savitzky and 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 and 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-värdetr. 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 Ribbingsberg och fyra på Nybble. För att validera zonerna lades ett försök med kvävestegar ut i varje zon under växtsäsongen 2005 (figur 1 och tabell 1). 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 trettiotal 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 1. 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 (med ett undantag) och fyra på Ribbingsberg).



Figur 2. 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 1. 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

Fältskanningar

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 registrerades. 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 tredjegradspolynom till rutskördarna. Kväveupptaget på Nybble och Ribbingsberg interpolerades med ordinary kriging (Burrough and McDonnell 1998) från 2003 och 2004 års nollrutor och delades in i fyra respektive tre klasser utifrån förväntad kväveleverans. N-sensordata 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 and Eggertsson Karlström 2001) i tabell 2. 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 2. Månadsvis (april-augusti) nederbörd i mm från försöksåren samt referensnormaler (1961-1990) (Alexandersson and 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 3. 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 4). 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

Tabell 3. 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 = standardavvikelsen

		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 4. 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

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.

Det gick lika bra att använda NIR i kalibreringsmodellerna för att bestämma kväveupptag som att använda mull- och lerhalt (tabell 5). 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 r²-värden under 0,2 och RPD-värden strax över 1 det vill säga inte bättre än slumpen. Kalibreringsmodeller med mull- och lerhalt 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 r²-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 resultatet något sämre med medelvärden på r² 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 r²-värden på 0 och i medeltal RPD värden under 1, vilket inte är bättre än en gissning.

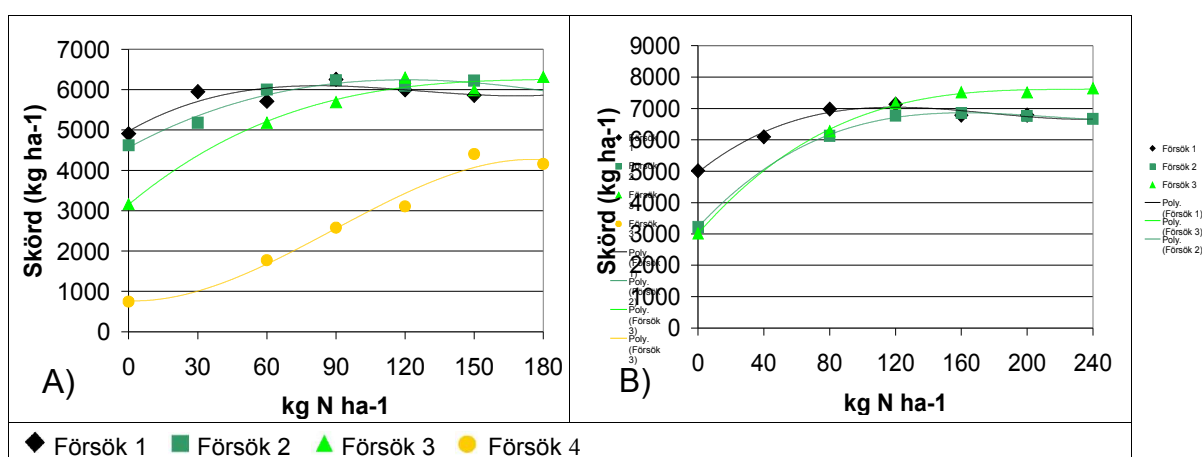
Tabell 5. Korsvaliderade kalibreringsmodeller för bestämning av N-upptag, med NIR eller mull- och lerhalt i matjorden (0-30 cm). Med NIR användes en PLS-modell och med mull och lerhalt en MLR-modell (multipel linjär regression) eftersom det bara rör sig om två variabler. n = antal prov, nr PC = antalet 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	-	-	-

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.

Zonindelning

Zonindelningen enligt 2003 och 2004 års kväveupptag i nollrutorna resulterade i tre zoner på Ribbingsberg och fyra på Nybble (figur 1). Kväveresponskurvor för försöken i de olika zonerna visas i figur 2 och ekonomiskt optimal kvävegiva samt skörd vid optimal kvävegiva i tabell 6. 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 inget optimum att räkna ut. Signifikant 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 3a). Skillnaden i medeltal i optimal kvävegiva blev då 67 kg N ha⁻¹. Medelvärdet för kväveupptaget i zonerna blev 81 respektive 38 kg N ha⁻¹, med brytpunkten satt till 60 kg.



Figur 2. 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).

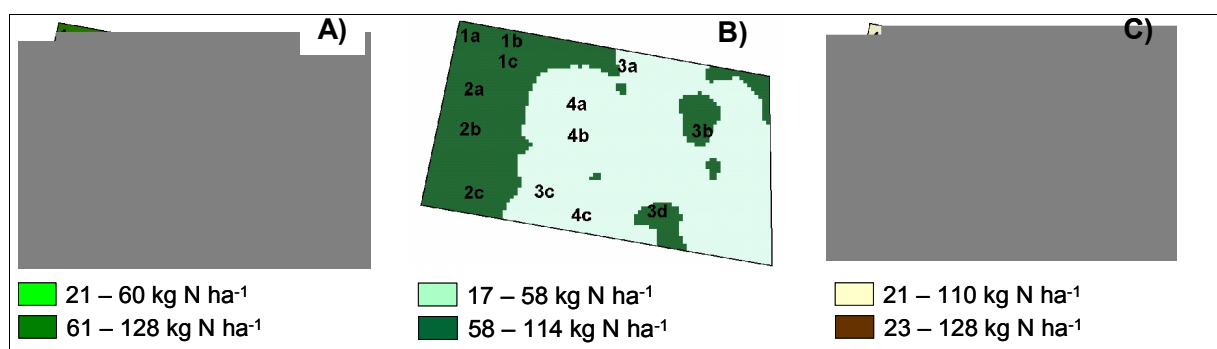
Tabell 6. Ekonomiskt optimal N-giva (priskvot 10) i medeltal för försöken, skörd i medeltal vid optimal N-giva och R²-värdet för tredjegrads-polynomet som anpassats

till alla blocken i försöket. n = antal block. Samma bokstav (a-b) innebär att inga signifikanta skillnader kunde se mellan försöken.

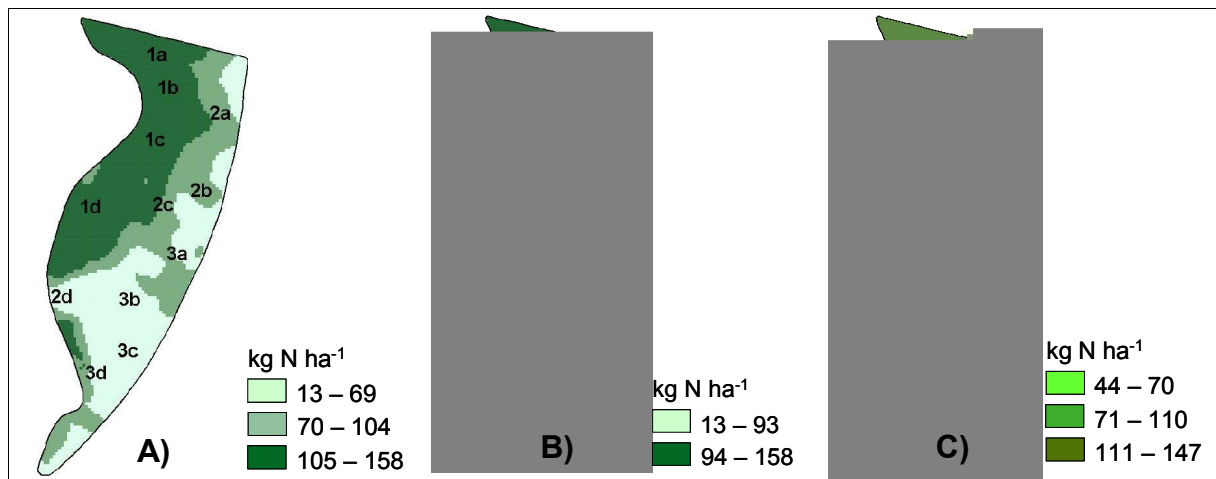
		R ²	n	Optimal N-giva		Skörd vid optimal N-giva	
				Medel	StDav	Medel	StDav
Nybble	Försök 1	0,28	3	65 a	41	6373	46
	Försök 2	0,98	3	73 ab	13	6041	192
	Försök 3	0,63	3	118 ab	40	6253	628
	Försök 4	0,97	2	165 b	17	4279	33
Ribblingsberg	Försök 1	0,62	4	77 a	9	6853	342
	Försök 2	0,73	4	111 b	12	6642	618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

Medelvärde 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 att anpassa ett andragsgradens polynom ($r^2 = 0,81$). Biomassan omräknat till kväveupptag kunde delas in i två signifikant skilda zoner sett till försöken genom metoden natural brakes (ESRI®ArcMap™ 9.0 Jenks natural breaks). I zonerna ingick då hela försök 1 och 2 samt block 3b och d i en zon och block 3a och c tillsammans med hela försök 4 ingick i en andra (figur 3c). Kväveupptaget i zonerna blev i medeltal 81 kg N ha⁻¹ för zon 1 och 35 kg för zon 2 med en brytpunkt vid 58 kg ha⁻¹.

Sensorskanningarna på Ribblingsberg 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 Ribblingsberg var linjärt och biomassan räknades om genom att använda en PLS-kalibrering 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 4). 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 Ribblingsberg 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.



Figur 3 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 4. Zonindelning på Ribbings-berg med hjälp av omräknade biommassaindex från skanningar med Yara N-sensor under växtsäsongen 2003 och 2004. A) tre zoner och B) 2 zoner. C) zonindelningen från kväveupptag i nollrutorna 2003-2004.

På Nybble visade EM38-mätningen liknande mönster som kväveupptaget uträknat från N-sensorkörningarna (figur 3c). 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.

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 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 Ribbingsbergsfältet (bortsett från Ribbingsberg 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 kvävemineraliseringszoner med signifikanta skillnader i optimal kvävegiva. Oavsett om zonindelningen byggde på NIR eller N-sensorkänningar verkar det 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 variationer i beståndet orsakade av annat än kvävetillgång 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 stråskjutningen, vilket kan förklaras av att en stor del av både mineralisering och upptag 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 förväntade kvävemineralisering baserad på tidigare års skanningsresultat. Med en sådan minnesfunktion, N-memory ®, baserad på tidigare N-sensor skanningar, nollrutor och en lokal beräkningsmodell kunde kvävegivan anpassa 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

Resultatförmedling

Publikationer:

- Wetterlind, J. Stenberg, B., Jonsson, A. Comparing near infrared reflectance spectroscopy with soil organic matter and clay content to predict nitrogen uptake in cereals. *Preliminär titel på pågående artikel till internationell tidskrift. (Kommer att ingå i doktorsavhandling.)*
- Ytterligare en artikel som är tänkt att behandla zonindelningen och försöken är påbörjad och kommer även den att ingå i avhandlingen.
- Wetterlind, J., Jonsson, A., Stenberg, B. 2007. Indelning av fält med hög mullhaltsvariation i mineraliseringszoner för förbättrad kvävestyrning. *Establishment of mineralisation zones for improved nitrogen application*. Skara, Avdelningen för precisionsodling. Rapport 10. <http://po-mv.slu.se/>

Internationella konferenser:

- Wetterlind, J., Stenberg, B., Jonsson, A. 2005. Predicting variation in plant N-uptake at three different fields using soil organic matter, texture and Near Infrared Reflectance (NIR) spectroscopy. In: *Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture*, eds. Stafford, J.V. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. pp 337-344. *Muntligt föredrag*

- Wetterlind, J. och Delin, S. 2004. GIS as a tool for establishing management zones in precision agriculture. Nordisk GIS-konferens. 18-20 oktober, Göteborg. *Muntligt föredrag på nordisk konferens där delar av studien presenterades.*

Nationella konferenser och seminarier:

- POS NIR-seminarium 4 september 2006. Heldagsseminarium för intresserade forskare, rådgivare och representanter från företag. *Muntligt föredrag*
- POS kväve-workshop 7 mars 2005. En heldags workshop med forskare, rådgivare och representanter från företag. *Muntligt föredrag*

Utöver detta har delar av resultaten redovisats vid undervisning av agronomstudenter på precisionsodlingskursen hösten 2004 och 2005 samt under precisionsodlingsmomentet i agronomernas växtnäringskurs hösten 2006.

Litteratur

- Alexandersson H and Eggertsson Karlström C L-M, S. 2001 Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-1990. Referensnormaler - utgåva 2. pp 71. SMHI, Norrköping.
- Börjesson T, Stenberg B, Linden B and Jonsson A 1999 NIR spectroscopy, mineral nitrogen analysis and soil incubations for the prediction of crop uptake of nitrogen during the growing season. *Plant and Soil* 214, 75-83.
- Broge N H, Thomsen A G and Greve M H 2004 Prediction of topsoil organic matter and clay content from measurements of spectral reflectance and electrical conductivity. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* 54, 232-240.
- Burrough P A and McDonnell R A 1998 Principles of Geographical Information Systems. Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford University Press, New York. 333 p.
- Chang C W and Laird D A 2002 Near-infrared reflectance spectroscopic analysis of soil C and N. *Soil Science* 167, 110-116.
- Chang C W, Laird D A, Mausbach M J and Hurburgh C R 2001 Near-infrared reflectance spectroscopy-principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 65, 480-490.
- Delin S and Lindén B 2002 Relations between net nitrogen mineralization and soil characteristics within an arable field. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* 52, 78-85.
- Dunn B, Beecher G, Batten G and Blakeney A 2000 Estimation of the uptake of nitrogen by rice crops using near infrared reflectance analysis of soil. *In Near Infrared Spectroscopy: Proceedings of the 9th International Conference, Verona, Italy, 2000.* Ed R Giangiacomo. 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 and Soil* 246, 139-149.
- Martens H and Naes T 1989 Multivariate calibration. John Wiley & Sons, Chichester, UK. 419 p.
- Mouazen A M, De Baerdemaeker J and Ramon H 2005 Towards development of on-line soil moisture content sensor using a fibre-type NIR spectrophotometer. *Soil & Tillage Research* 80, 171-183.
- Savitzky A and Golay M 1964 Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. *Analytical chemistry* 36, 1627-1639.
- Stenberg B, Jonsson A and Börjesson T 2005 Use of near infrared reflectance spectroscopy to predict nitrogen uptake by winter wheat within fields with high variability in organic matter. *Plant and Soil* 269, 251-258