

Åkerbönor som förfrukt till vårsäd i ekologiskodling

*Faba beans as previous crop to spring cereals
in organic farming.*



Anna Nyberg och Börje Lindén

Avdelningen för precisionsodling

*Division of precision agriculture
Swedish University of Agricultural Sciences*

**Rapport 15
Skara 2008**

Report 15

ISSN 1652-2788
ISBN 978-91-85911-23-3

Förord

I ekologisk odling är det viktigt att på bästa sätt utnyttja förfruktseffekter av olika grödor, dels i form av ökad avkastningspotential hos den efterföljande grödan (bl.a. genom förfruktens sanerande verkan mot växtföljdssjukdomar) och dels genom kväveefterverkan. Förfruktseffekterna av åkerbönor har emellertid varit ofullständigt belysta här i Sverige.

Det är även i ekologiskt jordbruk viktigt att beskriva förfruktseffekter inte bara som skördeökningar hos en efterföljande stråsädesgröda utan även som renodlad kväveefterverkan. Uppgifter om rena kväveffekter (helst uttryckta i kg för växterna utnyttjbart kväve per ha) behövs i såväl konventionell som i ekologisk växtodling. Med sådana rådgivningsdata till hands kan man bättre bedöma behovet av kompletterande kväve genom gödsling i den ekologiska odlingen och bl.a. belysa, var egen stallgödsel eller inköpta ekologiska gödselmedel ger bäst utbyte på gården i fråga, t.ex. för att uppnå kravet på proteinhalt hos en brödsädesgröda.

I syfte att belysa dels skördeökningar vid odling av stråsäd efter åkerbönor och dels renodlad kväveefterverkan efter dessa genomfördes åtta treåriga fältförsök 2002-2006, belägna i Jönköpings län, Bohuslän, Skaraborg, Värmlands län och Örebro län. Sex av försöken utfördes av försökspatrullerna vid Hushållningssällskapen i nämnda län eller landsdelar, och två genomfördes på SLU:s försöksstation Lanna i Västergötland. Fältförsöken kompletterades med s.k. inkubationsstudier för undersökning av kvävemineraliseringsförloppet efter bl.a. åkerbönor.

Projektet finansierades genom anslag från Statens Jordbruksverk och från C. L. Behms Fond för baljväxtodling, SLU.

Skara i december 2007

Författarna

Författarna har följande adresser:

Anna Nyberg:
Avdelningen för precisionsodling
Institutionen för markvetenskap, SLU
Box 234
532 23 SKARA
Tel. 0511-672 42
E-post: anna.nyberg@mv.slu.se

Börje Lindén:
Agrostis Konsult
Ödegårdsvägen 7
532 73 Varnhem
Tel. 0511-128 10
E-post: linden.borje@telia.com

Innehåll

FÖRORD	1
INLEDNING	3
MATERIAL OCH METODER	5
FÄLTFÖRSÖK.....	5
<i>Skördebestämning samt provtagningar av grödor och jord</i>	6
INKUBATIONSSTUDIE	7
<i>Inkubation av jord och halm från valda försöksplatser</i>	7
<i>Inkubationsteknik</i>	8
<i>Provtagning och analys</i>	10
<i>Vattenhalt i jorden under inkubationen</i>	10
<i>Jordtemperaturmätning på inkubationsplatsen</i>	10
RESULTAT OCH DISKUSSION	11
FÖRFRUKTERNAS AVKASTNING OCH KVÄVEINNEHÅLL	11
MINERALKVÄVE I MARKEN EFTER DE OLIKA FÖRFRUKTERNA	13
SKÖRDAR AV VÅRKORN OCH HAVRE SAMT PROTEINHALTER I KÄRNAN	15
KVÄVEFÖRDELNINGEN I KÄRNA OCH HALM HOS VÅRKORN OCH HAVRE	16
KVÄVE I GRÖDAN VID FULLMOGNAD SAMT KVÄVEMINERALISERING UNDER VÄXTSÄSONGEN.....	18
INKUBATIONSUNDERSÖKNINGAR	20
<i>Jordarnas och växtresternas egenskaper</i>	20
<i>Inkubation av jord med och utan halmtillsats</i>	21
<i>Temperaturförhållanden under inkubationstiden</i>	24
<i>Jämförelser mellan inkubationsresultat och mineralkväve i fältförsöken</i>	25
SLUTSATSER	27
FÄLTFÖRSÖKEN.....	27
INKUBATIONSUNDERSÖKNINGARNA	29
SUMMARY	30
FABA BEANS AS PREVIOUS CROP TO SPRING CEREALS IN ORGANIC FARMING.	30
LITTERATUR	32
BILAGA 1	34
BILAGA 2	35
BILAGA 3	36
BILAGA 4	37
BILAGA 5	39

Inledning

I ekologiskt jordbruk är kvävefixering med hjälp av baljväxter såsom ärter, åkerbönor och baljväxtvallar nödvändig för efterföljande stråsädesgrödors kväveförsörjning. I det konventionella, ofta ensidiga jordbruket är det likaså angeläget att ta vara på baljväxtgrödornas fördelar, dels som omväxlingsgrödor genom sina växtpatologiskt sanerande effekter och dels genom deras kväveefterverkan (se bl.a. Teittinen, 1984; Wallgren, 1984; Lindén, 1984 och 1987; Svensson, 1988). Härtill kommer att mellanformer av växtodling (s.k. integrerad produktion, IP-odling) mellan det ekologiska och det konventionella växer fram. I den integrerade produktionen önskar man ta tillvara gynnsamma effekter från det ekologiska jordbruket, t.ex. de fördelar som baljväxter har.

Kväveefterverkan av ärter är ganska väl studerad i främst konventionell odling (se litteraturoversikt av Wetterlind et al., 2005). För åkerbönor är emellertid rådgivningsunderlaget i detta hänseende mycket svagt. Dessa blir allt viktigare i ekologisk odling, bl.a. på grund av tilltagande problem med ärter i växtföljden, särskilt på lerjord och under nederbördsrika somrar. Sjukdomar på ärter, främst ärtrotträta, gör att man inte kan odla ärter så ofta i växtföljden som man hittills har ansett. Särskilt i ekologisk odling innebär detta ett avbräck, eftersom inte bara ärtskörden utan även ärternas kväveefterverkan hotar att gå om intet, där ärtodlingen misslyckas på grund av ärtrotträtan.

Studier av efterverkan av ärter i jämförelse med stråsäd som förfrukt till stråsäd redovisas av bl.a. Svensson (1988), som rekommenderade att kvävegivan i konventionellt jordbruk till stråsäd efter ärter minskas med 30 kg kväve per ha jämfört med havre som förfrukt, med variationer beroende på vinterns kväveförluster. Kväveefterverkan av ärter varierar således. Wallgren (1990) konstaterade variationer i förfruktseffekten av ärter från 25 till 45 kg kväve per ha vid odling av höstvetete. Lindén (1987) fastställde i medeltal en kväveefterverkan motsvarande 25 kg N/ha med variationer från 0 till 78 kg efter ärter jämfört med havre. En av förklaringarna till variationerna synes vara, att kvävet efter ärter i hög grad mineraliseras redan på hösten (Lindén, 1984) och då kan gå förlorat under vintern. Lindén & Engström (2006) fann att ärter som förfrukt till höstvetete ökade tillgången på utnyttjbart jord- och förfruktskväve med i medeltal var 20 kg N/ha jämfört med havre som förfrukt. En del av detta kvävetillskott härrörde från mineralkväve i marken på hösten, genom större mineralkväveförråd under denna årstid efter ärter än efter havre. När det gäller åkerbönor tycks det inte vara känt, i vilken utsträckning kväve mineraliseringen efter denna gröda sker på liknande sätt eller inte, och i vilken mån de ger upphov till ökad kväve mineralisering under den efterföljande växtsäsongen jämfört med en stråsädesförfrukt.

Studierna av N-efterverkan av åkerbönor under svenska eller nordiska förhållanden är få. Endast *skördejämförelser* med stråsädesgrödor m.m. synes föreligga (se t.ex. Stabbetorp, 1984; Nyberg & Lindén, 2000; Eltun et al., 2001). I 10 konventionella försök redovisade av Wallgren (1986) blev kärnskördarna av korn efter åkerböna 400 kg per ha större än efter korn och vårvetete. Kornet under efterverkansåret hade här gödslats med 100 kg kväve per ha. Proteinhalten blev 13,3 % efter åkerböna jämfört med 12,7 % och 12,8 % efter korn respektive vårvetete. I norska försök med åkerböna gav denna gröda skördeökningar hos eftergrödorna havre och höstvetete på 10 % som medeltal för 6 försök (Stabbetorp, 1984). Med utgångspunkt från alla dittills genomförda, relevanta konventionella norska försök (fram till 1984) menade Stabbetorp (1984), att en rimlig skördeökning hos stråsäd efter åkerböna jämfört med ensidig stråsädesodling var 10 till 12 %.

I två ekologiska försök 1998-2001, det första i Bohuslän och det andra i Värmland, gav åkerbönor i det första försöket som förstaårsefterverkan en skördeminskning på 20 % i jämförelse med stråsäd som förfrukt (Olrog, 2001). Andraårseffekten var dock positiv med en ökning på cirka 4 %. I det efterföljande försöket gav åkerbönor i stället en skördeökning på drygt 80 % jämfört med stråsäd som förfrukt och en andraårseffekt på drygt 20 %. Årsmånsvariationen hade uppenbarligen stor betydelse, men skördarna av åkerböborna hade varit drygt 3000 kg per ha under båda åren. Skördeökningen (förstaårseffekten) efter nerplöjda, ej tröskade åkerbönor i jämförelse med skördade bönor blev i det första och andra försöket 17 % respektive 2 %. I ekologiska demonstrationsodlingar på Lanna i Västergötland gav åkerbönor som förfrukt enligt Engström et al. (2003) i två fall skördeökningar på 500 och 1100 kg spannmål per ha jämfört med stråsäd som förfrukt.

I jämförelse med dessa i allmänhet måttliga skördeeffekter av åkerböna framhåller Eltun et al. (2001) i Norge, att denna gröda med sin stora produktion av halm och rötter är en mycket god förfrukt till stråsäd, vilken i försök 1998-2000 i ekologisk odling gav en genomsnittlig merskörd på 1000 kg spannmål (korn och havre) per ha. I försök belägna på ekologiska växtodlingsgårdar i Norge (med få eller inga djur) blev merutbytet i jämförelse med förfrukt stråsäd i medeltal så mycket som 1200 kg per ha, medan merskörden i försök på gårdar med allsidig drift (med djur) ”bara” blev 600 kg per ha. Orsaken ansågs enligt Eltun et al. (2001) vara, att växtnäringstillståndet i jorden troligen var bättre på djurgårdarna, och att effekten av baljväxter som förgröda därmed blev mindre.

Baljväxternas N-effekter med avseende på efterföljande grödor beror av de mängder kväve som mineraliseras från baljväxternas växtrester m.m. och som kan utnyttjas av eftergrödorna. Som nämnts visade Lindén (1984), att det under hösten efter odling av ärter fanns mer kväve i mineralisk form i marken än efter stråsäd, vilket kunde tyda på att det kväve som bundits i ärtgrödan då börjat frigöras. Eftersom denna ökade N-mineralisering tycks ha redan vid ärtgrödans mognad och fortsätter under efterföljande hösten (Lindén, 1987; Lindén & Engström, 2006), finns risk för stigande N-förluster efter odling av ärter. Detta har också konstaterats i utlakningsstudier på Lanna försöksstation (Haak et al., 1994). Det saknas emellertid studier, där kvävemineraliseringsförloppet efter åkerbönor och dess inverkan på N-utlakningsrisken jämförs med stråsädens effekter i detta avseende.

För att beskriva 1) åkerböbornas inverkan på en efterföljande stråsädesgrödans avkastning, 2) deras renodlade kväveeffekt och 3) kväveutlakningsrisker efter odling av åkerbönor genomfördes åtta treåriga, ekologiska fältförsök 2002-2006, där effekterna av åkerbönor i dessa avseenden jämfördes med inverkan av havre. I försöken ingick även en jämförelse mellan effekterna dels efter tröskning (skörd) av böborna och dels efter utebliven skörd, med nedplöjning av hela den otröskade grödan på hösten (som fallet är där vädret hindrat skörd).

I två av försöken gjordes som jämförelse motsvarande studier även efter foderärter. För att närmare beskriva *när* kvävet i växtresterna efter åkerbönor och foderärter mineraliseras efter nedbrukning i marken, genomfördes dessutom inkubationsstudier med jord och växtrester från motsvarande led i tre av fältförsöken. Tidsförloppet för N-mineraliseringen efter dessa grödor undersöktes härvid i jämförelse med havre.

Material och metoder

Fältförsök

Sammanlagt genomfördes åtta treåriga fältförsök, i vilka följande tre led ingick år 1:

- A. Havre
- B. Åkerbönor, skördades
- C. Åkerbönor, skördades ej (bönskorde togs inte tillvara)

Dessa led fördelades på tre block enligt principerna för randomiserade blockförsök. Försöksplatserna och jordarnas egenskaper framgår av tabell 1. I två av försöken, belägna på Götala försöksgård i Västergötland, ingick även två led med foderärter: D, där ärterna skördades (i likhet med led B med åkerbönor), och E där de ej skördades (i likhet med led C). Leden med ärter utnyttjades främst för inkubationsstudier och redovisas enbart i samband med dessa (se nedan).

Havren (led A) tillfördes nötflytgödsel i samband med sådden i en mängd motsvarande i medeltal 72 kg ammoniumkväve per ha (bilaga 3). Åkerbönorna gödslades ej. Havren i led A och åkerbönorna i led B skördades, men i led C togs bönskorde som nämnts inte tillvara. Grödan fick där stå kvar otröskad till senare på hösten, då allt växtmaterial hackades före nedplöjning. Detsamma gäller det motsvarande oskördade ärtledet E i försöken på Götala. Efter skörden hackades halmen i led A, B samt motsvarande skördetröskat ärtled D på Götala och lämnades kvar på marken. Jorden sedan låg orörd till mitten av oktober, då alla led plöjdes.

Tabell 1. Försöksplatser samt jordarter (0-90 cm djup) och markkemiska egenskaper i matjorden (0-20 cm) på försöksplatserna.

Försöksår, försöksplatser och område*	Jordart och mullhalt			Markkemiska egenskaper			
	Djup (cm)			pH (H ₂ O)	mg/100 g lufttorr jord		
	0-30	30-60	60-90		P-AL	K-AL	Mg-AL
2002-2004							
Lanna 1, R	nmh SL	mf ML	mf SL	7,0	3,4	12,0	30,0
2003-2005							
Lanna 2, R	mmh SL	mf ML	mf SL	7,0	6,5	10,0	45,2
Dingle, O	mmh ML	mf SL	mf MSL	6,3	4,8	13,5	18,3
Götala 1, R	mmh sa LL	mf sa LL	mf ML	6,4	9,8	12,8	7,8
Riddersberg, F	nmh ML	mf ML	mf ML	6,3	2,9	17	8,2
2004-2006							
Götala 2, R	mmh mo LL	nmh mj LL	mf mj ML	6,2	12,4	11	9,3
Kvinnersta, T	nmh ML	mf SL	mf MSL	6,6	10,0	17,4	20,3
Lillerud, S	nmh mj ML	mf SL	mf SL	6,5	6,9	17	23,7

*) F = Jönköpings län, O = Bohuslän, R = Skaraborg, S = Värmlands län, T = Örebro län.

På våren år 2 såddes vårkorn över hela arealen i försöken. Denna gröda gödslades inte för att renodlat studera kväveefterverkan. År 3 såddes havre, som ej heller gödslades, men i vissa av försöken delades alla rutor i två delar, varav den ena tillfördes nötflytgödsel i mängder motsvarande i genomsnitt 72 kg ammoniumkväve per ha (bilaga 5). Den andra delrutan förblev ogödslad.

Uppgifter om nederbörds- och temperaturförhållandena under försöksåren har fått från SMHI och redovisas i bilaga 1 och 2. För försöket vid Dingle i Bohuslän inhämtades även väderdata från Naturbruksgymnasiet i Dingle.

Skördebestämning samt provtagningar av grödor och jord

Kärn-, bön- och ärtskördarna år 1 bestämdes genom rutvis skördetröskning med ett skörde- drag i varje ruta, varefter ledvisa prover togs ut av skördeprodukterna för analyser avseende vattenhalt, renhet och totalkväve. Kärnskördarna av vårkorn år 2 och havre år 3 fastställdes också genom rutvis skördetröskning (ett drag per ruta) och analyserades ledvis på samma sätt som år 1.

Grödorna år 1 provtogs vid skördemognad genom rutvis avklippning vid markytan inom tre ytor om 0,25 m². Efter torkning separerades halm (inkl. boss) från kärna, bönor eller ärter, varefter de olika delarna vägdes och innehållet av totalkväve bestämdes med en Leco CNS 2000 (Leco, St. Joseph, Michigan, USA) vid Avdelningen för växtnärlära, Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala. I halmen utfördes även bestämning av totalkolinnehållet med denna utrustning för beräkning av C/N-kvoten.

År 2 och 3 togs prov av korn- respektive havregrödan vid fullmognad (stadium DC 91-92) efter var och en av de olika förfrukterna genom avklippning av korngrödan vid markytan. Detta utfördes i övrigt på samma sätt som grödprovtagningen år 1. Stadium DC 91-92 kan anses motsvara en tidpunkt mycket kort efter avslutad kväveupptagning. Grödprovtagningen år 3 gjordes enbart i leden utan flytgödseltillförsel detta år. Efter torkning av proverna bestämdes totalkväveinnehållet i kärna och halm på samma vis som ovan. För beräkning av korn- och havregrödans totala kväveinnehåll antogs, att totalkvävemängden i rötterna utgjorde 25 % av innehållet i hela växten (jmf. Hansson et al., 1987). Den så erhållna kvävemängden i hela grödan kan sägas motsvara dess tillgång på utnyttjbart jordkväve under den gångna växtsäsongen (Lindén et al., 1992).

För bestämning av mängderna mineralkväve (NH₄-N och NO₃-N) i jorden vid olika tidpunkter provtogs marken till 90 cm djup ledvis med uppdelning i skikten 0-30 cm (24 borrstick), 30-60 cm (12 stick) och 60-90 cm (12 stick) i vart och ett av leden med de olika förfrukterna. Jordproverna förvarades djupfrysta, varefter de homogeniserades genom frysmalning. De extraherades med 2 M KCl i jord-vätskeförhållandet 1:2,5 (jmf. Bremner & Keeney, 1966), varefter ammonium- och nitratkväve bestämdes med en autoanalytator (TRAACS 800, metod ST9002-NH₄-D och ST9002-NO₃-D). Analysvärdena omräknades skiktvis till kilogram per ha med beaktande av aktuella vattenhalter och under antagande att volymvikten i matjorden (0-20 cm) var 1,25 kg/dm³ och 1,50 kg/dm³ i skikten därunder. Kväveprofilprovtagningarna utfördes vid följande tidpunkter:

- År 1: Vid fullmognad hos varje gröda.
Vid höstplöjningen (omkring mitten av oktober).
- År 2: Tidigt på våren (i mitten av april).
Vid fullmognad (DC 91-92).

År 3 utfördes inga kväveprofilprovtagningar. Mineralkvävebestämningarna på våren och vid fullmognad (DC 91-92) år 2 samt grödprovtagningen vid det senare tillfället utnyttjades bl.a. för beräkning av förfrukternas inverkan på kvävemineraliseringstillskotten (synbarlig netto-

mineralisering av kväve, engelska: apparent net nitrogen mineralisation) under växtsäsongen detta år enligt följande formel (Lindén et al., 1992):

$$N_{\text{net}} = N_{\text{växt}} + N_{\text{md}} - N_{\text{mv}}$$

där N_{net} = Beräknad nettomineralisering av kväve under växtperioden (tidig vår – fullmognad)

$N_{\text{växt}}$ = Kväve i grödan vid fullmognad (= utnyttjbart jord- och förfruktskväve under växtsäsongen)

N_{md} = Mineralkväve i marken (0-90 cm) vid fullmognad

N_{mv} = Mineralkväve i marken (0-90 cm) tidigt på våren

Inkubationsstudie

Inkubation av jord och halm från valda försöksplatser

För att studera förloppet för mineralisering och immobilisering av kväve efter de tre grödorna havre, åkerbönor (skördade) och foderärter (skördade) genomfördes inkubationsstudier 2003-2004 och 2004-2005 efter skörden av dessa grödor 2003 respektive 2004, med start i oktober och med följande behandlingar:

- 1) Enbart jord från leden med var och en av de tre förfrukterna.
- 2) Jord och halm från vart och ett av de tre förfruktsleden. Halmen blandades in i jorden.

Jord, med och utan halmtillsats, placerades i slutna plastburkar med en ventilationsanordning, vilka sattes ned i marken på ett fält (se nedan). Jord och halm togs för undersökningarna 2003-2004 från försöken Götala 1 och Lanna 2 (tabell 1). År 2004-2005 upprepades studien med jordprover från försöket Götala 2 (tabell 1). De använda jordarnas egenskaper framgår av tabell 1 och 2. Jordproverna togs ut rutvis i försöken (ca 30 liter per ruta) inom 0-20 cm djup i början av oktober försöksår 1 (6/10 2003 och 5/10 2004), varefter delproverna från ett och samma förfruktsled blandades till ett samlingsprov per försöksplats. Efter provtagningen förvarades proverna kallt (ca +4°C) till starten av inkubationsstudierna 4 dagar senare.

Tabell 2. Jordartssammansättning, mullhalter och markkemiska egenskaper i de ledvisa matjordsprover från fältförsöken på Lanna och Götala som användes för inkubationsstudier.

År	Plats	Gröda	Jordart och mullhalt	pH (H ₂ O)	P-AL*	K-AL*
2003	Götala 1	Havre	mr sa LL	6,4	10,7	14,0
		Ärt	nmh ML	6,3	10,8	12,2
		Åkerböna	nmh ML	6,3	10,5	11,4
2003	Lanna 2	Havre	nmh SL	7,2	6,9	11,6
		Åkerböna	nmh MSL	7,1	6,9	10,4
2004	Götala 2	Havre	mmh mo LL	-	-	-
		Ärt	mmh mo LL	-	-	-
		Åkerböna	mmh sa LL	-	-	-

*) mg per 100 g lufttorr jord.

Halm mängderna vid skörden av försöksgrödorna havre, åkerbönor och foderärter bestämdes i samband med skördetröskningen, och prov togs då ut av halm (inkl. havreagnar samt ärt- och bönbaljor). Proverna användes dels för bestämning av halmens egenskaper vid skörden och

dels för inblandning i jord vid starten av inkubationsstudierna. De senare delproverna stoppades genast i platta, grovmaskiga ”nätburar”, som lades ut i stubben på marken i respektive försöksled. Nätburarna fick ligga kvar i stubben till inkubationsstarten, då jord och halm skulle blandas och tillsättas i inkubationsflaskorna. Provtogs ur halmburarna den 6 oktober 2003 och 5 oktober 2004. Syftet med förvaringen i ”nätburarna” var att hålla reda på uttagna halmprover och kunna följa förändringarna av halmens egenskaper, där den låg kvar på marken från skörden till inkubationsstarten. Denna start sammankopplades tidsmässigt med nedbrukningen av växtresterna i försöken genom plöjning, som utfördes i mitten av oktober.

Användningen av ”nätburarna” byggde som antytts på antagandet, att halm på marken utsätts för viss nedbrytning från skörd till nedbrukning på hösten. I inkubationsundersökningen var syftet att använda halm som utsatts för sådan begynnande nedbrytning, och således ej färsk halm från skördetidpunkten. Halmprov för analys togs därför även ut vid hämtningen av halmen från nätburarna strax före starten av inkubationsundersökningarna. I halmen från båda provtagningstidpunkterna bestämdes totalkol och totalkväve på ovan nämnt sätt med en Leco CNS 2000 (Leco, St. Joseph, Michigan, USA), bl.a. för beräkning av C/N-kvoten. Den vid inkubationen använda halmmängden justerades med hänsyn till den skördade mängden och kvarlämnad stubb, som också provtagits och vägts. Halmen (förutom boss, agnar och baljor) klipptes till 3-5 cm långa bitar, innan dessa växtrester användes i inkubationsstudierna. Det färdiga halmmaterialets storleksfördelning och utseende framgår av figur 1.



Figur 1. Det homogeniserade halmmaterialets utseende inför starten av inkubationsstudierna, efter klippning till 3-5 cm långa bitar.

Inkubationsteknik

Den inkubationsteknik som tillämpades hade utvecklats av Lindén, Engström & Ericson (2003). Omedelbart före inkubationsstarten homogeniserades och sållades jordproverna med ett såll med maskvidden 5 mm. Vidare tillsattes avjoniserat vatten för att uppnå de vattenhalter i jorden som eftersträvades (se nedan). Jorden hölls hela tiden vid kylskåpstemperatur fram till invägning i inkubationsburkarna några timmar senare. Härvid vägdes 400 g av varje jord (med avseende på försöksplats och förfrukt) in i burkarna (figur 2), varefter dessa vägdes med sitt innehåll, förslöts med skruvlock och placerades i kylskåp. I hälften av alla inkubationsburkar tillsattes utöver jord även halm från förfrukten i fråga och blandades in i jorden. Mängden halm i relation till den invägda jorden motsvarade den biologiska halmskörden i varje enskilt försök, under antagande att halmen brukades in i ett 7 cm tjockt jordlager inom matjordsdjup och att volymvikten i matjorden (0-20 cm) i fält uppgick till 1,25 kg/dm³. Valet av detta begränsade jordskikt motiveras av att vid stubbearbetning under praktikförhållanden inarbetas halmen ofta bara i ett ytligare jordlager, som sedan plöjs ned utan att någon ytterligare, påtagligare omblandning sker. De olika leden för varje försöksplats i inkuberingsundersökningen framgår av tabell 3.

Tabell 3. Undersökningsled i de båda inkubationsstudierna med avseende på jord- och halmmaterial. Jord och halm hade hämtats på hösten i leden med de olika grödorna i fältförsöken Götala 1 och 2 samt Lanna 2 (enbart den första studien).

Led:	1.	Inkubation av enbart jord	
	2.	Inkubation av jord och halm	
	0.1	Götala	Åkerbönor
	0.2	Götala	Havre
	0.3	Götala	Ärt
	0.4	Lanna	Havre
	0.5	Lanna	Åkerbönor

Inkubationsburkar togs i varje led ut för provtagning och analys vid fem tidpunkter (tabell 4). Varje led (tabell 3) och varje provtagningstidpunkt hade tre upprepningar med uppdelning på block. Efter invägningen placerades inkubationsburkarna i matjorden, slumpmässigt fördelade på sådana block och med ca 50*50 cm avstånd inom en mindre yta på ett åkerfält vid Lanna försöksstation i Västergötland (figur 3), varefter inkubationsperioden började. Inkubationsburkarna sattes ned med botten på 20 cm djup. Huvuddelen av jordblandningen befann därmed sig på 15-20 cm djup. I samband med utplaceringen byttes locket ut mot ett lock försett med ett 33 cm långt ventilationsrör (figur 2). Därefter täcktes de omedelbart med ett ca 3 cm tjockt jordlager, ur vilket ventilationsröret stack upp ca 30 cm (figur 3). Det senare hade nedböjd pip, så att nederbördsvatten inte skulle tränga in och förändra vattenhalten. Rörets uppgift var främst att åstadkomma aeroba förhållanden vid inkubationen, så att de förekommande immobiliserings-, mineraliserings- och nitrifikationsprocesserna inte skulle hämmas av syrebrist eller övergå till denitrifikation.



Foto: Lena Engström

Figur 2. Inkubationsburk med lock och ventilationsrör.



Foto: Lena Engström

Figur 3. Principbild för placering av inkubationsburkar på fältytan, med burkarnas botten på 20 cm djup och med jordtäckning till 3 cm ovanför burklocket. Ventilationsrören stack upp ca 30 cm över markytan.

Provtagning och analys

Inkubationsburkarna sattes ned i jorden på Lanna den 10 oktober 2003 och 8 oktober 2004. I tabell 4 redovisas tidpunkterna för provtagning under de båda åren.

Tabell 4. Tidpunkter för upptagning av provburkarna i inkubationsundersökningarna.

Tidpunkt					
År	1	2	3	4	5
2003/2004	10 oktober	7 november	10 december	30 mars	29 april
2004/2005	8 oktober	8 november	8 december	30 mars	28 april

Vid provtagningstidpunkterna togs burkar ut slumpmässigt inom varje block för analys med bestämning av förändringarna av innehållet av ammonium- och nitratkväve. Provtagning skedde som framgått även vid starten, så att mängderna ammonium- och nitratkväve kunde bestämmas i utgångsläget. Vid provtagningen vägdes burkarna på nytt för att fastställa eventuella förändringar av vattenhalten. Det visade sig att denna höll sig mycket konstant från starten till den sista provtagningen. Efter vägningen tömdes jorden ut ur burkarna och djupfrysades omedelbart. Proverna frysförvarades fram till analys. De homogeniserades genom ”frysmalning” (utan upptining) såsom ovan redovisats för vanlig mineralkvävebestämning och extraherades med 2 M KCl i jord-vätskeförhållandet 1:2,5, varefter ammonium- och nitratkväve bestämdes med en TRAACS 800 (se ovan). För att göra analysvärdena mer jämförbara med praktikförhållanden räknades de om till kg N/ha inom ett 7 cm tjockt jordskikt med beaktande av vattenhalten och under antagande att volymvikten var 1,25 kg/dm³.

Vattenhalt i jorden under inkubationen

Som nämnts justerades vattenhalten i inkubationsjordarna så, att den skulle kunna motsvara vanliga förhållanden i matjorden på åkerjord under hösten. De enskilda jordarnas vattenhalt uttrycktes för detta i % av den maximala vattenhållande förmågan (*waterholding capacity*, WHC). Denna bestämdes enligt Jansson (1958). Härvid placerades naturfuktig jord i glasrattar med en glasullstuss som vattengenomsläpplig propp i hålet i övergången till utloppsröret, varefter 100 ml vatten tillsattes. Rörets nedre öppning hade dessförinnan förseglats. Efter vattentillsatsen täcktes ratten med en plastfolie som avdunstningsskydd. Efter ca 12 timmar togs förseglingen i röränden bort, så att överskottsvattnet kunde avdräneras. När inget ytterligare vatten rann bort, bestämdes vattenhalten genom torkning vid 105°C. WHC beräknades sedan som vattenhalten i % av jordens torrs substans.

Tidigare erfarenheter har visat, att 50-60 % av WHC motsvarar förhållanden som kan råda på hösten, men vid det högsta värdet kan jorden vara alltför kladdig för att i praktiken tillåta harvning och skulle under laboratorieförhållanden leda till att jorden vid hantering riskerar att klumpa ihop sig alltför mycket. Den lätta jorden på Götala justerades 2003 upp till 60 % av WHC. Lerjorden från Lanna visade sig vara alltför kladdig att hantera vid 60 % av WHC. Därför justerades Lanna-jorden till 54 % av WHC. Hösten 2004 var regnig, vilket medförde att Götalajorden vid intagningen hade en vattenhalt på 65 % av WHC. Inga vattenhaltsjusteringar gjordes därför.

Jordtemperaturmätning på inkubationsplatsen

Temperaturen i jorden på inkubationsplatsen vid Lanna registrerades kontinuerligt var femte timme med en datalogger, som placerades ut i en vattentät behållare på 20 cm djup, med mätning på 15-20 cm djup.

Resultat och diskussion

Förfrukternas avkastning och kväveinnehåll

Under förfruktsåret (år 1) varierade bönskördarna av åkerböna mellan 2030 och 3740 kg ts/ha (tabell 5 och bilaga 3). Medelskörden blev 2710 kg ts/ha. Havrens avkastning växlade mellan 2190 och 4060 kg, med ett medeltal på 3050 kg ts/ha. Havreskörden skall ses mot bakgrund av att denna gröda gödslades. Havrerutorna i alla försök, förutom på Dingle, tillfördes som nämnts nötflytgödsel före sådden, med ett innehåll av i medeltal 72 kg ammoniumkväve per ha. Mängderna varierade mellan 54 och 77 kg/ha. I försöket vid Dingle genomfördes inte gödslingen, då det var svårt att komma ut med stallgödselspridare på grund av mycket regn vid vårbruket.

Tabell 5. Skörd av förfrukterna havre och åkerbönor (kg ts/ha) samt kväveinnehåll (kg N/ha) i kärn- och bönskördarna samt i halmen (inkl. stubb). Kärn- och bönskördarna avser bestämmingar genom skördetröskning, medan uppgifterna om halmen och dess kväveinnehåll härrör från provtagning genom avklippning av grödan vid markytan vid mognad. För uppgifter i varje enskilt försök hänvisas till bilaga 3. Sd. = standardavvikelse.

Förfrukt		Kärn- eller bön- skörd, kg ts/ha (n = 8)	Total-N i kärna eller bönor, kg N/ha ($n_{\text{havre}} = 7$, $n_{\text{åkerböna}} = 8$)	Total-N i halm (inkl. stubb), kg N/ha ($n_{\text{havre}} = 7$, $n_{\text{åkerböna}} = 8$)	Summa N i gröda*, kg N/ha ($n_{\text{havre}} = 7$, $n_{\text{åkerböna}} = 8$)
Åkerböna	Medeltal	2710	142	38	180
	Min.	2030	110	23	134
	Max.	3740	197	61	259
	Sd.	570	31	13	43
Havre	Medeltal	3050	50	18	68
	Min.	2190	37	13	50
	Max.	4060	67	25	88
	Sd.	740	12	5	17

*) I de ovanjordiska växtdelarna.

Under grödprovtagningarna vid skördemognad under förfruktsåret klipptes plantorna av vid markytan. Den så provtagna åkerbönshalmen innehöll i medeltal 38 kg N/ha, inkl. bönbaljor och stubb, vilket var mer än i havrehalmen (tabell 5 och bilaga 3). Läggs denna kvävemängd till bönskördens N-innehåll, fås en total N-mängd i åkerbönsgrödans ovanjordiska växtdelar på genomsnittligt 180 kg N/ha. För havren uppgick det totala N-innehållet i kärna och halm till i genomsnitt 50 respektive 18 kg N/ha, sammanlagt 68 kg N/ha. Antas åkerbönnornas rötter innehålla 15 % av kvävemängden i hela växten (Høeg-Jensen et al., 1998) och havrens rötter på motsvarande vis 25 % (Hansson et al., 1987), skulle dessa grödor ha ett samlat kväveinnehåll på i medeltal 210 respektive 90 kg N/ha i ovan- och underjordiska växtdelar. Skillnaden kan sägas vara ett uttryck för åkerbönnornas symbiotiska kvävefixering.

I tabell 6 redovisas ett halmkväveindex, som anger mängden kväve i halm i procent av det samlade N-innehållet (kg N/ha) i åkerbönnornas och havrens ovanjordiska växtdelar vid skördemognad. Procentandelen kväve i åkerbönshalmen (i medeltal 21-22 %) blev mindre än för havrehalmen (26 %). Om halmen lämnas kvar på marken efter skörden, skulle det efter åker-

bönorna visserligen återbördas mer kväve till åkerjorden än efter havren (som nyss nämnts 38 respektive 18 kg N/ha), men detta utgjorde hos åkerbönorna således en mindre andel av grödans totala N-innehåll än hos havren. Omvänt kan åkerbönorna anses medge en större kväveeffektivitet i skördeutbytet, genom att man med bönskörden inte bara skördar en större N-mängd i form av protein utan även en större andel av grödans hela kväveinnehåll.

Tabell 6. Halmkväveindex avseende andelen kväve i halm (inkl. stubb) i procent av totalmängden kväve (kg N/ha) i grödans ovanjordiska delar vid mognad. Resultat avseende förfrukterna havre (n = 7) och åkerbönor (n = 8).

	Havre	Åkerbönor, skördade	Åkerbönor, ej skördade
Medeltal	26	21	22
Min.	23	17	16
Max.	33	28	37

När åkerbönorna hade skördats, återstod som framgått relativt sett bara en mindre kvävemängd i halm och andra ovanjordiska växtrester, som sedan återfördes till marken och vars N-innehåll kan ha bidragit till grödans kväveefterverkan. Om åkerbönorna i en praktisk odlings-situation däremot inte hade kunnat skördas utan hela grödan måst plöjas ned, skulle enligt resultaten i led C (med icke skördade åkerbönor) i medeltal 180 kg N/ha ha brukats ned med de ovanjordiska växtdelarna och därmed bl.a. påverkat grödans efterverkan. Inklusiv rotsystemets förmodade kväveinnehåll enligt ovan skulle då i storleksordningen 210 kg organiskt bundet kväve per hektar ha tillförts marksystemet.

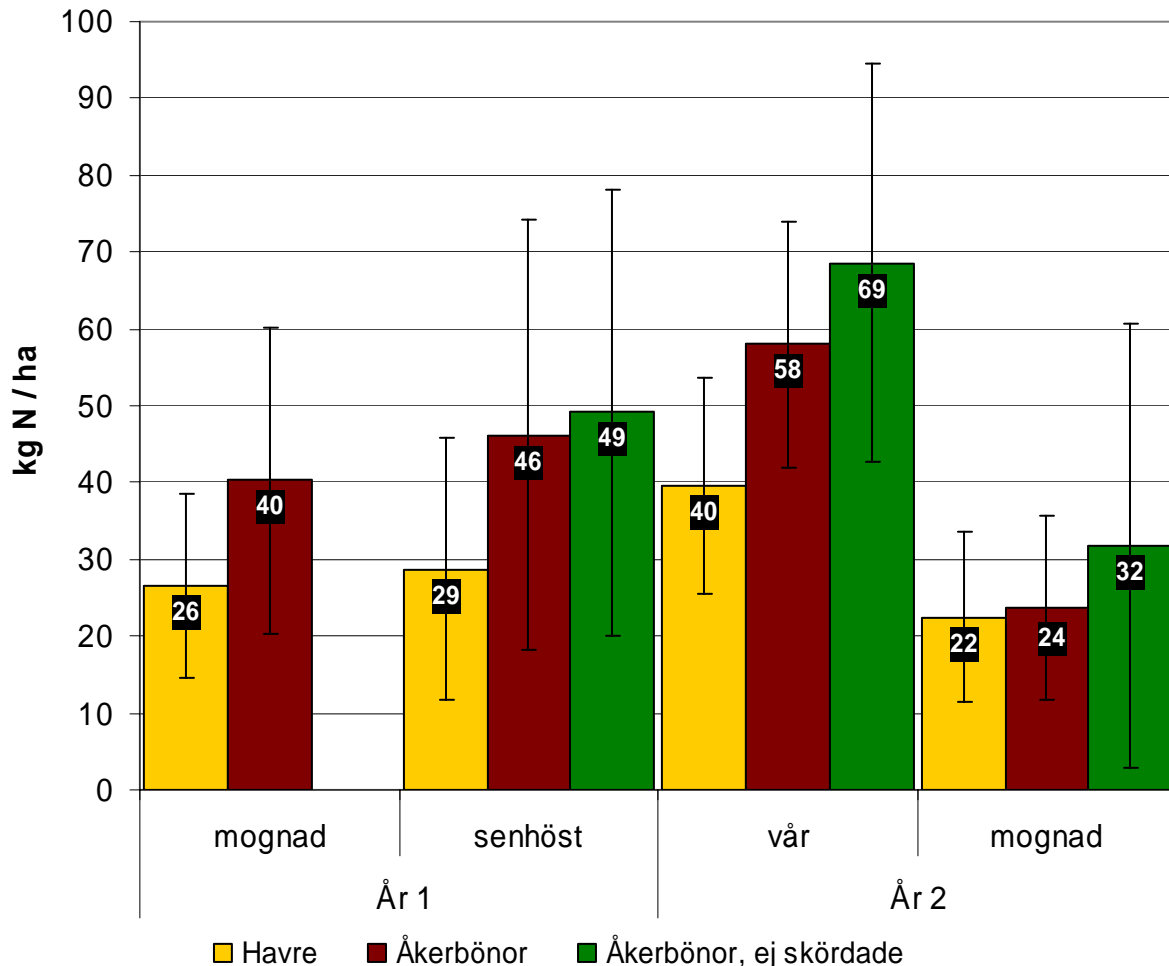
Havrehalmen hade i medeltal en totalkvävehalt på 0,59 % av ts och en C/N-kvot på 79 (tabell 7 och bilaga 3), vilket måste ha medfört kvävefastläggning vid halmens nedbrytning i marken (jmf. Persson, 2003). Åkerbönshalmen hade betydligt högre totalkvävehalt än havrehalmen (tabell 7). Trots detta blev C/N-kvoten i halmen efter åkerbönorna i medeltal så pass hög som 36. Eftersom C/N-kvoter över 20-25 anses medföra kväveimmobilisering vid nedbrytning av växtmaterialet (se t.ex. Persson, 2003), bör detta även ha varit fallet med åkerbönshalmen i försöken. De genomförda inkubationsstudierna bekräftar detta (se avsnittet "Inkubationsundersökningar" nedan).

Tabell 7. Totalkvävehalter i kärn-, bön- och halmskördarna av förfrukterna havre och åkerbönor samt kol-kvävekvoter i halmen efter dessa grödor. Sd. = standardavvikelse.

Förfrukt		Total-N i kärna eller bönor, % av ts	Total-N i halm (inkl. stubb), % av ts	C/N-kvot i halm
Havre (n = 7)	Medeltal	1,69	0,59	79
	Min.	1,56	0,49	47
	Max.	1,89	0,92	92
	Sd.	0,12	0,15	15
Åkerböna (n = 8)	Medeltal	5,24	1,29	36
	Min.	4,62	0,92	29
	Max.	5,54	1,61	49
	Sd.	0,29	0,20	6

Mineralkväve i marken efter de olika förfrukterna

Vid provtagningen vid skördemognad år 1 (början av september) innehöll marken (0-90 cm) i åkerbönsledet i medeltal 40 kg mineralkväve per ha, vilket var signifikant mer ($P = 0,0363$) än där havre odlades (26 kg N/ha), se figur 4 och bilaga 4. Fram till första hälften av oktober ökade mineralkväveförråden efter havre, skördade åkerbönor och ej skördade åkerbönor till 29, 46 respektive 49 kg N/ha. Det var då signifikant större mineralkvävemängder efter skördade åkerbönor ($P = 0,0330$) och åkerbönor som ej skördades ($P = 0,0018$) än efter havre.



Figur 4. Inverkan av grödorna havre, skördade åkerbönor och ej skördade åkerbönor på mängdena mineralkväve (kg/ha, 0-90 cm) vid olika tidpunkter: vid grödornas mognad (början av september) och på hösten (första hälften av oktober) år 1 samt på våren (mitten av april) och vid vårkornets fullmognad (slutet av augusti) år 2. Felstaplarna visar standardavvikelsen. Medeltal av data från samtliga åtta försök.

Från mitten av oktober och fram till nästa vår (mitten av april) uppkom också ökning, även om kväveförluster bör ha förekommit under vinterhalvåret. Detta innebär att kväve mineraliseringsstillskotten översteg förekommande förluster under denna tid. Mest tilltog mineralkväveförråden fram till våren i ledet med ej skördade åkerbönor, där i medeltal 69 kg N/ha återfanns. Efter de skördade åkerbönorna fastställdes på våren 58 kg/ha och efter havre 40 kg/ha. Skillnaderna var signifikanta mellan leden med havre och åkerbönor som skördats ($P = 0,0025$) samt mellan leden med havre och ej skördade åkerbönor ($P = 0,000$). Den måttliga skillnaden i mineralkväveförråd mellan leden med skördade och ej skördade åkerbönor (11 kg

N/ha) tyder på att nedbrytningen av den nedplöjda bönskörden inte hade medfört någon kraftigare ökning av kvävemineraliseringen fram till mitten av april, då kväveprofilprovtagningen på våren utfördes.

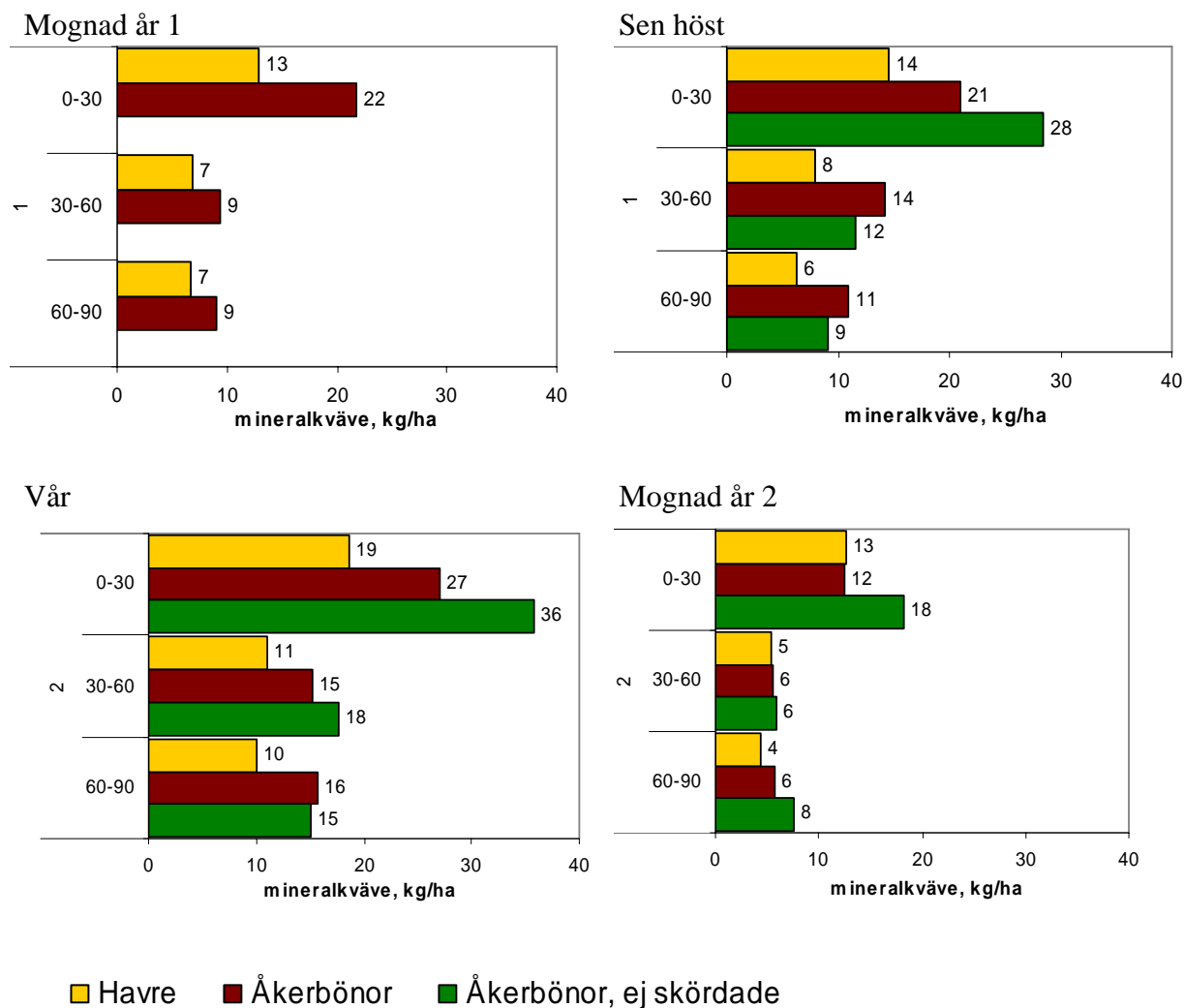
Under den efterföljande växtsäsongen minskade mineralkvävemängderna till 20-25 kg N/ha vid kornets fullmognad efter förfrukterna havre och skördade åkerbönor, medan i medeltal 32 kg N/ha återstod efter de åkerbönor som ej skördats (figur 4 och bilaga 4). Det fanns dock inga signifikanta skillnader mellan förfrukterna i markens mineralkväveinnehåll vid kornets mognad. Minskningarna tyder på att korngroddan tog upp mineralkväve från marken, förutom en mindre mängd som kan betraktas som en outnyttjbar rest, dvs. återstoden vid provtagningen vid mognad (Lindén, 1981). I konventionellt jordbruk återfinns vid avslutad kväveupptagning normalt outnyttjade mineralkväverester i storleksordningen 15-30 kg N/ha inom 90 cm djup (se t.ex. Lindén et al., 1993 och 1999). Antas att inga kväveförluster drabbade vårens mineralkväveförråd, tyder minskningarna på att kornet i medeltal utnyttjat 18 kg N/ha efter havren och 34 kg N/ha efter de skördade åkerbönona (figur 4 och bilaga 4). I ledet med de ej skördade åkerbönona tycks den utnyttjade mängden ha varit ytterligare några kg N/ha större. Utöver den utnyttjbara delen av mineralkväveförråden bidrog uppenbarligen även kvävemineraliseringen under den efterföljande växtsäsongen till kornets N-försörjning år 2 (se nedan).

Av figur 5 framgår hur mineralkväveförråden fördelade sig i marken vid de olika provtagningstidpunkterna. Vid tiden för skörden av förfrukterna år 1 fanns mer mineralkväve i det översta markskiktet (0-30 cm) än längre ned, och mest i ledet med åkerbönor. Detta visar att det redan vid mognad fanns större mängder lättroligt och därmed utlakningsbart kväve i marken efter åkerbönor än efter havre. Detta liknar förhållandet vid ärtgroddors mognad (Lindén, 1984; Lindén & Engström, 2006). Den större mängden i matjorden än djupare ned i marken tyder på kvävetillskott genom pågående mineralisering.

Fram till senhösten (mitten av oktober) ökade mineralkvävemängderna inte bara i matjorden utan även i alvskikten. Detta tyder på att frigt kväve börjat transporteras ned i marken till följd av höstnederbörden och antyder en begynnande risk för kväveutlakning, särskilt i de båda åkerbönsleden.

Från hösten till våren tilltog mineralkväveförråden som nämnts ytterligare i både matjord och alv. Mängderna på våren var i jämförelse med skördetidpunkten för förfrukterna ganska stora även i det understa skiktet (60-90 cm), och det är troligt att en del mineralkväve vaskats ned under provtagningsdjupet 90 cm under vinterhalvåret. Förändringarna från hösten till våren tyder på att utlakningsrisken var större i åkerbönsleden än i havreledet.

Fram till kornets mognad minskade mineralkväveförråden igen, vilket ovan tolkats som att grödan utnyttjat och tagit tillvara ganska stora N-mängder. Även i det understa skiktet var de outnyttjade mineralkväveresterna små, vilket tyder på att kornet tagit upp kväve till åtminstone 90 cm djup. Detta talar i sin tur för förhållandevis stort rotdjup på försöksplatserna och därmed troligtvis sprickbildningar i marken, som tillåtit rotnedträngning och kväveupptagning till detta djup (jmf. Lindén, 1981). Av tabell 1 framgår att alven på alla försöksplatser innehöll lerjord, som ju i allmänhet tillåter utveckling av djupt rotsystem. För bästa möjliga utnyttjande av mineraliserat baljväxtkväve, vilket såsom i åkerbönsleden vaskats ned i alven under vinterhalvåret, är uppenbarligen stort rotdjup viktigt.



Figur 5. Fördelning av mineralkvävet i jorden på olika markskikt (0-30, 30-60 och 60-90 cm djup) efter förfrukterna havre, skördade åkerbönor och ej skördade åkerbönor vid de olika provtagningstidpunkterna: vid förfrukternas mognad (början av september) och på hösten (första hälften av oktober) år 1 samt på våren (mitten av april) och vid kornets fullmognad (slutet av augusti) år 2. Medeltal av data från samtliga åtta försök.

Skördar av vårkorn och havre samt proteinhalter i kärnan

Under det första efterverkansåret odlades vårkorn. Kärnskornden (vid 15 % vattenhalt) blev störst i ledet med ej skördade åkerbönor som förfrukt, 4470 kg/ha, se bilaga 5. Efter de åkerbönor som skördats och efter havre blev skördarna 3630 respektive 2980 kg/ha. Proteinhalten var något högre i kornet i ledet med de åkerbönor som ej skördats (10,3 % av ts) än efter havre och skördade åkerbönor, där halterna uppgick till 9,6 respektive 9,7 % av ts (bilaga 5). Merskornden av korn blev i genomsnitt 650 kg/ha ($P = 0,0021$) efter de skördade åkerbönorna och 1490 kg/ha ($P = 0,000$) efter de åkerbönor som ej skördats, vilket var omkring 20 respektive 50 % mer än efter havre. Det stora merutbytet med ej skördade åkerbönor som förfrukt i jämförelse med havre tyder på ett betydande kvävetillskott genom frigörelse av kväve bundet i den nedplöjda bönskornden. Ökningen av kornskornden efter de skördade åkerbönorna antyder mer måttlig kväveeffekt.

Under det andra efterverkansåret, då havre odlades, blev skördarna efter förförfrukterna havre, skördade åkerbönor och åkerbönor som ej skördats ganska lika: 2280, 2210 respektive 2420 kg/ha (bilaga 5). Dessa skillnader var inte statistiskt signifikanta. Resultaten tyder på att åkerbönornas inverkan på eftergrödornas avkastning ebbat ut efter det första efterverkansåret. Ej heller proteinhalterna skilde sig mellan leden med de olika förförfrukterna utan uppgick till ca 10,4%. I de fem försök, där den ena hälften av varje storruta i de olika förförfruktsleden tillfördes nötflytgödsel detta år, gav denna en genomsnittlig merskörd på 700 kg/ha jämfört med de ogödslade delrutorna, men förförfrukterna tycktes ej heller här ha påverkat avkastningsnivån.

Kvävefördelningen i kärna och halm hos vårkorn och havre

Av tabell 8 framgår de kvävemängder som vårkornet år 2 och havren år 3 innehöll vid fullmognad efter förgrödorna havre, skördade åkerbönor och ej skördade åkerbönor. Kväveupptaget i kornkärnan blev i tur och ordning 40, 50 och 65 kg N/ha efter dessa förfrukt, medan havrekärnan år 3 innehöll ca 40 kg N/ha utan egentliga skillnader beroende på förförfrukt. Även kornhalmens kväveinnehåll påverkades av förfrukterna, medan det inte kunde fastställas någon sådan inverkan på havrehalmen år 3. Summeras kvävemängderna i kärna och halm, finner man att efter skördade och ej skördade åkerbönor innehöll kornets ovanjordiska växtdelar 14 respektive 34 kg mer kväve per ha än med havre som förfrukt.

Tabell 8. Kväve (kg N/ha) i kärna och halm hos vårkorn (år 2) och havre (år 3) efter de olika grödorna havre, skördade åkerbönor och ej skördade åkerbönor år 1. Medeltal av åtta försök.

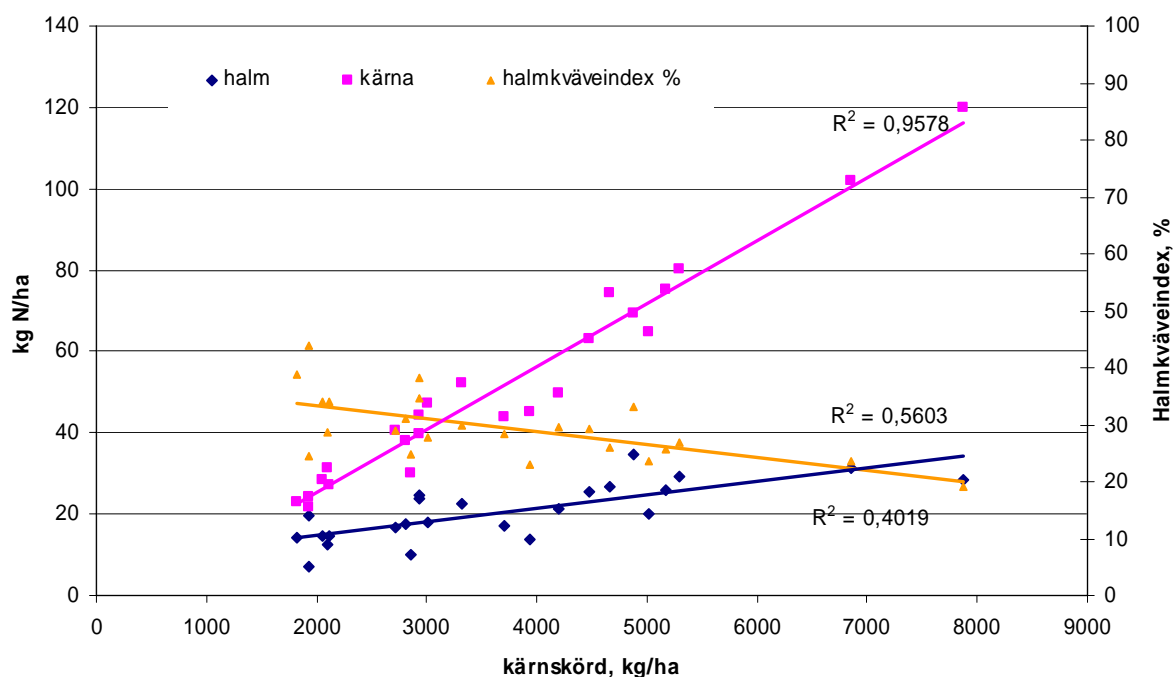
År och gröda	Förfrukt respektive förförfrukt	Kväve i grödans ovanjordiska växtdelar		
		Kärna	Halm (inkl. stubb)	Summa
2 (vårkorn)	Havre	40	16	56
	Skördade åkerbönor	50	20	70
	Ej skördade åkerbönor	65	25	90
3 (havre)	Havre	39	13	47
	Skördade åkerbönor	38	12	45
	Ej skördade åkerbönor	41	13	49

Ett halmkväveindex för vårkornet och havren under efterverkansåren redovisas i tabell 9. Detta index anger andelen kväve i halmen (inkl. stubben) i procent av totalmängden kväve (kg N/ha) i grödans ovanjordiska delar vid fullmognad.

I halmen fanns i medeltal ca 30 % av kvävet i de ovanjordiska växtdelarna, oavsett gröda och förfrukt (tabell 9). Detta innebär också att ca 30 % av kvävet återbördades till marken med halm och stubb, som sedan brukades ned i marken, och omvänt att 70 % av kvävet togs tillvara med den bärgade kärnsköörden. Antar man dessutom att kornets och havrens rötter innehöll 25 % av kvävemängden i hela grödan (Hansson et al., 1987), tycks närmare 50 % av den totalt upptagna kvävemängden ha ingått i halm, stubb och rötter. Samtidigt skulle drygt 50 % finnas i kärnan och föras bort med skörden. Detta tyder i sin tur på att grödan för sin tillväxt måste ha tillgång till åtminstone dubbelt så mycket kväve som den mängd som ingår i kärnsköörden, i form av utnyttjbart jord- och förfruktskväve och utan hänsyn till möjliga kväveförluster.

Tabell 9. Halmkväveindex för vårkorn (år 2) och havre (år 3) avseende andelen kväve i halm (inkl. stubb) i procent av totalmängden kväve (kg N/ha) i grödans ovanjordiska delar vid fullmognad.

År	Gröda		Efter havre	Efter åkerbönor	Efter ej skördade åkerbönor
2	Vårkorn	Medeltal	30	31	29
		Min.	24	23	19
		Max.	39	44	38
3	Havre	Medeltal	30	30	29
		Min.	20	20	19
		Max.	45	40	42



Figur 6. Förhållande mellan kväve i kärna och halm i vårkornet år 2, samt halmkväveindex (N i halm i % av N i alla ovanjordiska växtdelar) i relation till kärnskördens storlek.

I figur 6 visas hur mängden kväve i kärna och i halm hos vårkornet år 2 samt halmkväveindex förändrades med stigande kärnskördar. Andelen kväve i kärnan ökade mer än andelen i halmen vid tilltagande avkastning, samtidigt som halmindex följaktligen sjönk. Med ökad skördenivå bör uppenbarligen en *större andel* av grödans samlade kväveinnehåll kunna tas tillvara och skördas i form av protein i kärnan.

En jämförelse mellan bilaga 4 och 5 visar vidare generellt stigande skördenivåer för kornet vid ökande mängder utnyttjbart jord- och förfruktskväve i marken, beroende på både förfrukterna och jordens egen kvävelevererande förmåga. Detta tillsammans med de visade förhållandena mellan kväve i kärna och kväve i halm (figur 6) tyder på att man genom ökad tillgång på växttillgängligt kväve i marken bör kunna ta vara en *större andel* av markkvävet med kärnskörd vid en högre avkastningsnivå än vid en lägre. Detta innebär i sin tur vid skördenivåer som i dessa försök, att kväveeffektiviteten blir bättre vid högre avkastning, som betingats av större markkvävetillgång.

Kväve i grödan vid fullmognad samt kvävemineralisering under växstsäsongen

Vårkornet och havren i led A med havre som förfrukt kan under efterverkansåren sägas ha försörjts med kväve enbart från jorden, medan efterverkan av biologiskt fixerat baljväxtkväve tillkom i led B och C med förfrukt åkerbönor. Mängden utnyttjbart jord- och förfruktskväve under år 2, beräknad som korngrödans N-innehåll (inkl. skattad N-mängd i rötterna) vid fullmognad, DC 91-92, blev efter havren i medeltal 74 kg N/ha, efter skördade åkerbönor 94 kg N/ha och efter de åkerbönor som ej skördats 119 kg N/ha (tabell 10 och bilaga 4). Mängderna efter de skördade och ej skördade åkerbönonorna blev således i medeltal 20 respektive 45 kg N/ha större än efter havren. Skillnaden i N-efterverkan mellan leden med de ej skördade och de skördade åkerbönonorna uppgick således i medeltal till 25 kg N/ha, vilket bör vara en effekt av den nedplöjda bönskorde och dess N-innehåll. I medeltal innehöll bönskorde i led B (skördade åkerbönor) 142 kg N/ha (tabell 5). Antar man att åkerbönonorna i led C (ej skördade åkerbönor) gav samma avkastning och hade samma kväveinnehåll i bönonorna som i led B, tycks i medeltal 18 % (7-27 %) av kvävet i den nedplöjda bönskorde ha tagits upp av korngrödan.

Det av vårkornet utnyttjade jord- och förfruktskvävet år 2 kan anses utgöra summan av 1) övervintrande mineralkväve, som tagits upp av grödan, och 2) N-mineraliseringstillskott under växstsäsongen. De övervintrande mineralkväveförråden avser mängderna vid provtagningar i mitten av april. De för kornet utnyttjbara delarna av mineralkväveförråden på våren år 2 har beskrivits ovan. Antas att inga kväveförluster drabbade vårens mineralkväveförråd (0-90 cm djup), tyder resultaten som nämnts på att kornet i medeltal utnyttjat 18 kg N/ha efter havren och 34 kg N/ha efter de skördade åkerbönonorna (figur 4 och bilaga 4). I ledet med de ej skördade åkerbönonorna blev den utnyttjbara mängden i medeltal ytterligare 3 kg N/ha större.

Beräkningar av nettomineraliseringstillskotten gjordes för tiden från våren till vårkornets fullmognad (slutet av augusti). Kvävemineraliseringen (synbarlig nettomineralisering av kväve) under växstsäsongen uppgick i medeltal till 57 kg N/ha efter havren, 60 kg N/ha efter de skördade åkerbönonorna och 83 kg N/ha efter de ej skördade åkerbönonorna (tabell 10 och bilaga 4). De genomsnittliga N-mineraliseringstillskotten i åkerbönsleden blev således 3 kg N/ha respektive 26 kg N/ha större än efter havre.

De uppkom sålunda ingen nämnvärd merminalisering av kväve under växstsäsongen år 2 efter de skördade åkerbönonorna jämfört med havre som förfrukt. Detta tyder på att den förbättrade kvävetillgången efter skördade åkerbönor (+20 kg N/ha i jämförelse med havre som förfrukt) nästan enbart berodde på mer övervintrande mineralkväve. Detta härstammade i sin tur delvis från den mermängd mineralkväve (+14 kg N/ha) som i jämförelse med havreförfrukten redan fanns vid åkerbönonornas mognad (figur 4). Likaså fann Lindén (1987) i fältförsök med odling av vårkorn efter förfrukterna foderärter och havre, att det på våren efter förfruktsåret fanns mer mineralkväve i marken efter ärterna än efter havren, och att ärterna inte gav upphov till någon nämnvärd merminalisering av kväve under kornets växstsäsong. Däremot fastställde Lindén & Engström (2006) i höstveteförsök ökad kvävemineralisering under vetets växstsäsong efter ärter jämfört med havre som förfrukt.

Tabell 10. Kväveefterverkan (kg N/ha) av förfrukterna havre, åkerbönor som skördats och åkerbönor som ej skördats: I) total mängd utnyttbart jord- och förfruktskväve kväve upptaget av vårkornet år 2, II) den andel av detta kväve som mineraliserades under växtsäsongen detta år samt III) total mängd utnyttbart jord- och förfruktskväve som tagits upp av havren år 3. För beräkningarna av utnyttbart jord- och förfruktskväve och av kvävemineraliseringen under växtsäsongen år 2 hänvisas till avsnittet Material och metoder. Jmf. = jämfört med.

År 1. Förfruktsår	År 2. Vårkornsår				År 3. Havreår	
	Markkväve upptaget av grödan under växtsäsongen					
	Total mängd utnyttbart markkväve*		N-mineralisering under växtsäsongen		Total mängd utnyttbart markkväve*	
	kg N /ha	Jmf. havre	kg N /ha	Jmf. havre	kg N /ha	Jmf. havre
Havre						
Medeltal	74	-	57	-	59	-
Min.	38		25		36	
Max.	118		109		113	
Sd.	29		33		29	
Åkerbönor, skördade						
Medeltal	94	20	60	3	59	-1
Min.	53	-2	14	-27	35	-10
Max.	177	64	138	32	110	18
Sd.	43	20	46	18	28	9
Åkerbönor, ej skördade						
Medeltal	119	45	83	26	63	4
Min.	74	16	20	-22	42	-5
Max.	198	85	160	68	111	20
Sd.	43	21	50	27	27	8

*) Motsvarar det samlade N-innehållet i grödan vid fullmognad, inkl. beräknat N-innehåll i rötterna.

Mängden utnyttbart jord- och förfruktskväve under det första efterverkansåret efter de skördade åkerbönonorna kan jämföras med kväveefterverkan av foderärter, som enligt den redovisade litteraturen i inledningskapitlet var i storleksordningen 20-30 kg N/ha. Kväveefterverkan av åkerbönonorna bör naturligtvis ha påverkats av de efterlämnade växtresterna. Om man antar att åkerbönonornas rötter innehöll 15 % av kvävemängden i hela grödan (Høeg-Jensen et al., 1998) och om man utgår ifrån att N-innehållet i de ovanjordiska växtdelarna uppgick till 180 kg N/ha (tabell 5), motsvarar andelen kväve i rotsystemet bara drygt 30 kg N/ha, varav en del kan ha mineraliserats och utnyttjats av kornet. Härtill kommer att åkerbönshalmen i medeltal innehöll 38 kg N/ha (tabell 5). Halmens C/N-kvot uppgick dock i genomsnitt till 36 (tabell 7), vilket som nämnts bör ha medfört en period med N-fastläggning under halmens nedbrytning.

En faktor som år 2 kan ha ökat mängderna utnyttbart jord- och förfruktskväve något efter havren var, att denna gröda tillfördes nötflytgödsel (se ovan). Gödseln bör ha gett en mindre N-efferverkan år 2, vilken i viss mån kan ha krympt skillnaderna i kvävetillgång mellan havreledet och de båda åkerbönsleden.

Under år 3, havreåret, blev mängden utnyttbart jord- och förfruktskväve efter havren i medeltal 59 kg N/ha, efter skördade åkerbönor också 59 kg N/ha och efter de åkerbönonorna som ej

skördats 63 kg N/ha, se tabell 10. De obetydliga skillnaderna tyder på att varken de skördade eller de ej skördade åkerbönona gav någon ökad N-efterverkan år 3 jämfört med förförfrukt havre. Detta stämmer med de praktiskt taget lika havreskördarna i de tre leden (se ovan och bilaga 5).

Inkubationsundersökningar

Jordarnas och växtresternas egenskaper

De jordar som utnyttjades för inkubationsstudierna hämtades från försöken Götala 1 (2003), Götala 2 (2004) och Lanna 2 (2003). För beskrivning av jordarna hänvisas till tabell 1 och 2. Som nämnts togs prover av halm och jord (0-20 cm djup) ut för inkubationen från led A (förfrukt havre), B (förfrukt skördade åkerbönor) och D (förfrukt skördade foderärter).

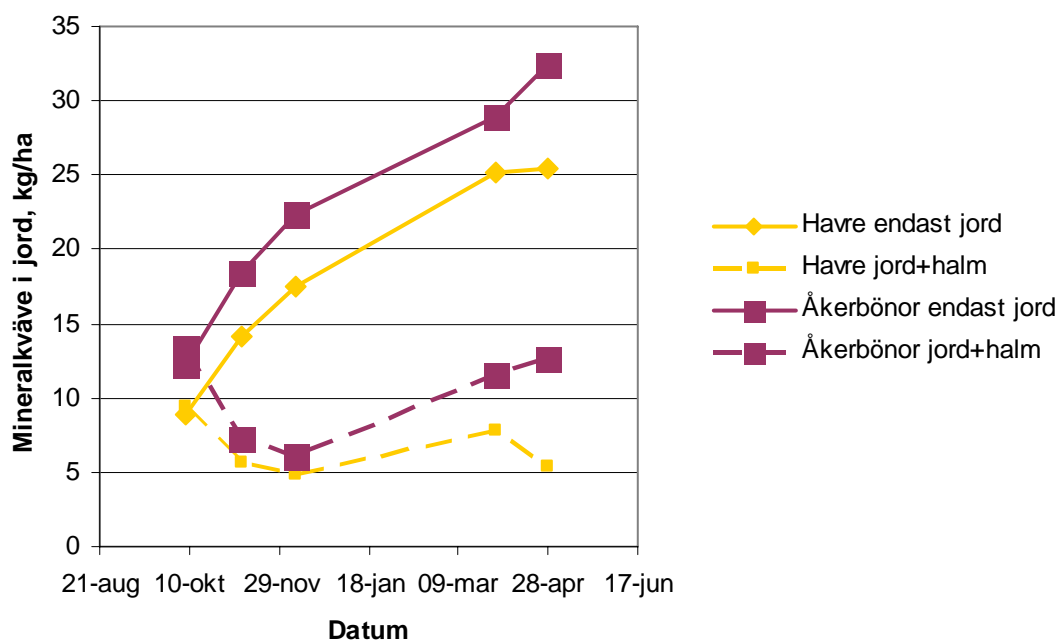
Tabell 11. Halmmängder (inkl. stubb och agnar eller baljor) i havre, åkerbönor och ärter samt dessa växtresters halter av total-C och total-N i de försök, från vilka jord och växtrester hämtades för inkubationsstudier 2003/2004 och 2004/2005. Uppgifterna om halmens egenskaper avser halm, som legat på marken i försöken från skörden till provtagning omedelbart före inkubationsstarten. År 2003 togs dessa prover ut den 6 oktober och år 2004 den 5 oktober.

Försöksplats, år	Gröda	Halmskörd, ts, kg/ha	Kemisk sammansättning		
			Total-C, % av ts	Total-N, % av ts	C/N
Götala 1, 2003	Havre	5100	43,9	0,48	92
	Åkerbönor	4860	43,3	0,78	55
	Ärter	4450	44,3	0,89	50
Lanna 2, 2003	Havre	4200	42,3	0,53	80
	Åkerbönor	8370	42,8	1,06	40
Götala 2, 2004	Havre	4340	45,1	0,61	74
	Åkerbönor	4430	44,8	1,34	33
	Ärter	3010	46,0	1,21	38
Medeltal	Havre	4550	44,1	0,56	80
	Åkerbönor	5890	43,6	1,06	43
	Ärter	3730	45,5	1,11	42

Som framgår av tabell 4 startade inkubationsundersökningarna den 10 oktober 2003 och den 8 oktober 2004. Den halm som härvid blandades med jord hade legat på marken i fältförsöken från skörden till dess att den provtogs den 6 oktober 2003 (försök Götala 1 och Lanna 2) samt 5 oktober 2004 (Götala 2). Havre-, åkerböns- och ärthalmen (inkl. stubb och agnar eller baljor) hade vid dessa tillfällen i medeltal totalkvävehalter på 0,56, 1,06 respektive 1,11 % av ts (tabell 11). Detta motsvarades av C/N-kvoter på 80, 43 respektive 42. Totalkvävehalterna liksom kol-kvävekquoterna i åkerböns- och ärthalmen var således förhållandevis lika. Analyser (som här ej redovisas) av halmprover från provtagningar en kort tid efter skörden och av de nämnda proverna, som togs ut från halm på marken några dagar före inkubationsstarten, visar att totalkol- och totalkvävehalterna hade ändrats mycket lite under denna tid.

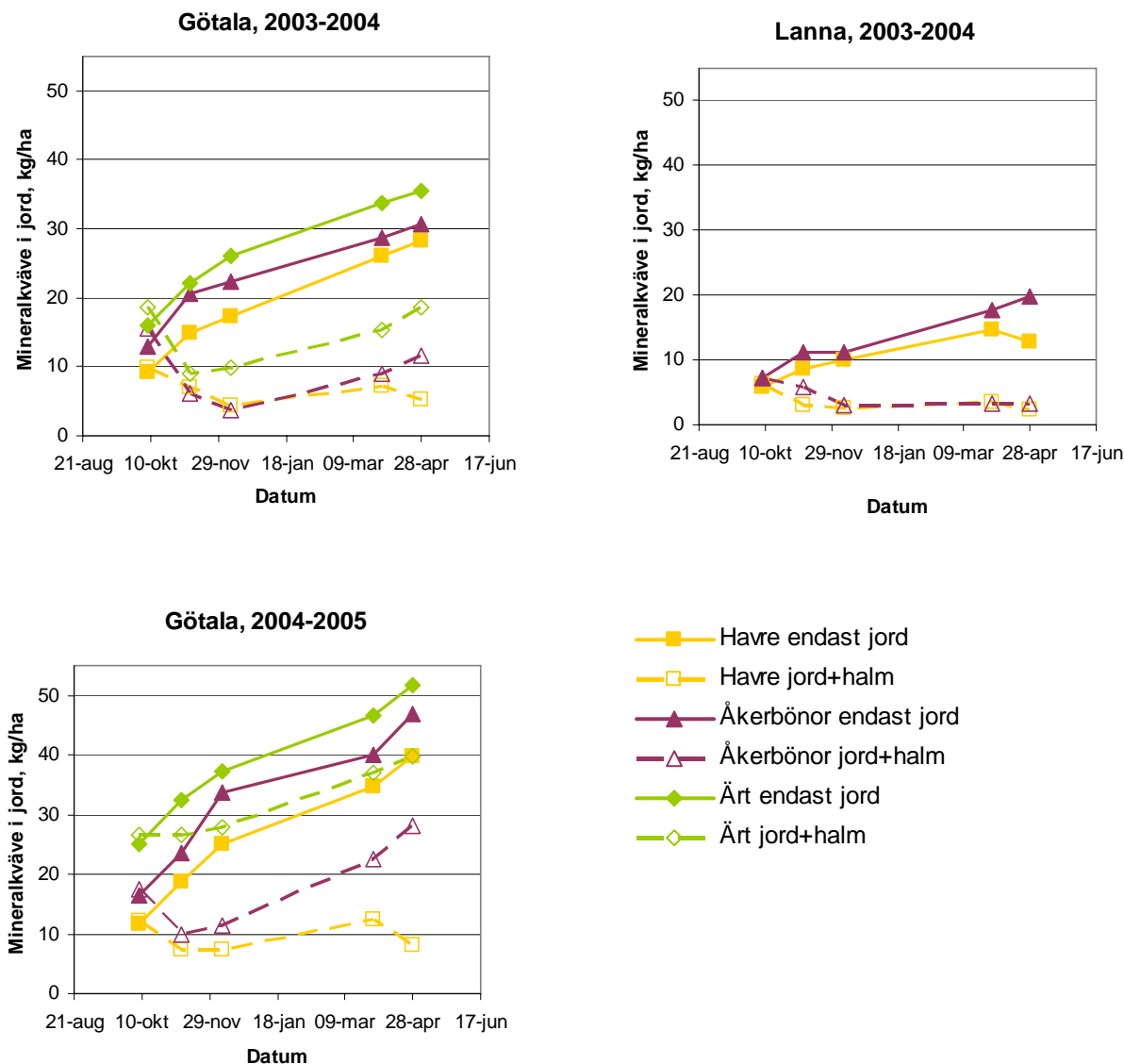
Inkubation av jord med och utan halmtillsats

Som framgått av tabell 4 genomfördes inkubationsstudierna, med och utan halmtillsats till jorden, under perioderna 10 oktober 2003 – 29 april 2004 och 8 oktober 2004 – 28 april 2005. I figur 7 redovisas inkubationsresultat från led A (med förfrukt havre) och led B (med förfrukt skördade åkerbönor) som medeltal för de tre utnyttjade fältförsöken. Mängderna mineralkväve (ammonium- och nitrat-N) och deras förändringar under inkubationstiden har uttryckts som kg N/ha i ett 7 cm tjockt jordskikt. Den rena inkubationsjorden innehöll finrötter efter förfrukterna, medan grovrötterna hade sållats bort.



Figur 7. Förändringar av mängderna mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) vid inkubation av jord med halmtillsats samt av enbart jord, som efter skörd av havre och åkerbönor hämtats från leden med dessa förfrukter. Medeltal för de tre fältförsöken.

Resultaten i figur 7 visar att det *i jord utan halm*, men med grödornas finrötter kvarlämnade, uppkom ökning av mineralkvävemängderna från inkubationens början i oktober till dess avslutning i slutet av april. Redan vid starten var dock mineralkvävemängderna större i jorden i ledet med skördade åkerbönor än i jorden med havre som förfrukt, vilket är i överensstämmelse med resultaten från kväveprofiltagningarna i fältförsöken under hösten (figur 4 och 5). Kvävemineraliseringstillskottet under inkubationstiden, från starten på hösten till våren, blev bara något större efter åkerbönorna än efter havren.



Figur 8. Förändringar av mängdena mineralkväve (ammonium- och nitratkväve) vid inkubation av jord med halmtillsats samt enbart jord, som efter skörd av havre, åkerbönor och ärter hämtades från leden med dessa förfrukter i tre fältförsök (efter ärter dock bara i försöken på Götala). Resultat avseende de enskilda försöksplatserna och åren.

I jorden i den inkubationsomgång **där halm tillsatts** uppkom däremot minskningar av mineralkvävemängderna under hösten efter både havren och åkerbönorna. Inte bara havre- utan även åkerbönshalmen gav uppenbarligen upphov till kväveimmobilisering. Detta förklaras av att även åkerbönshalmen hade så hög C/N-kvot (i medeltal 43, se tabell 11), att kvävefastläggning var att förvänta (jmf. Persson, 2003). I åkerbönsledet upphörde nettoimmobiliseringen vid tiden för vinterns ankomst och ersattes sedan av nettomineralisering ända till slutprovtagningen april i nästan samma takt som i motsvarande jord utan halmtillsats. Efter havren uppkom ingen enhetlig, tydlig förändring i mineralkvävemängderna under vintern och fram till inkubationsperiodens avslutning i slutet av april, då i stort sett lika lite mineralkväve fanns i jorden som i slutet av november. Havrehalmen hade i medeltal en C/N-kvot lika med 80. Detta bör ha medfört inte bara kraftigare utan även mer långvarig kvävefastläggning, såsom figur 7 visar.

I figur 8 redovisas inkubationsresultat med jord och halm från de enskilda försöksplatserna och åren. Inkubationsstudierna med jord och halm från försöket Lanna 2, där enbart leden med förfrukterna havre och åkerbönor ingick (tabell 11), visade att Lanna-jorden hade svag kväveminereringsförmåga, vilket uppenbarligen berodde på långvarig drift med öppen växtodling och utan djurhållning (sedan slutet av 1950-talet). Att Lanna-jorden generellt hade liten kvävelevererande förmåga framgår även av mängderna utnyttjbart jord- och förfruktskväve som redovisas i bilaga 4. I den rena jorden (utan halm) från Lanna uppkom bara mindre nettomineraliseringsstillskott efter både åkerbönor och havre, dock med något större N-frigörelse i åkerbönsledet. Med halmtillsats uppstod nettoimmobilisering efter båda förfrukterna, och ingen övergång till nettomineralisering kunde urskiljas fram till slutprovtagningen i april, ej heller i åkerbönsledet.

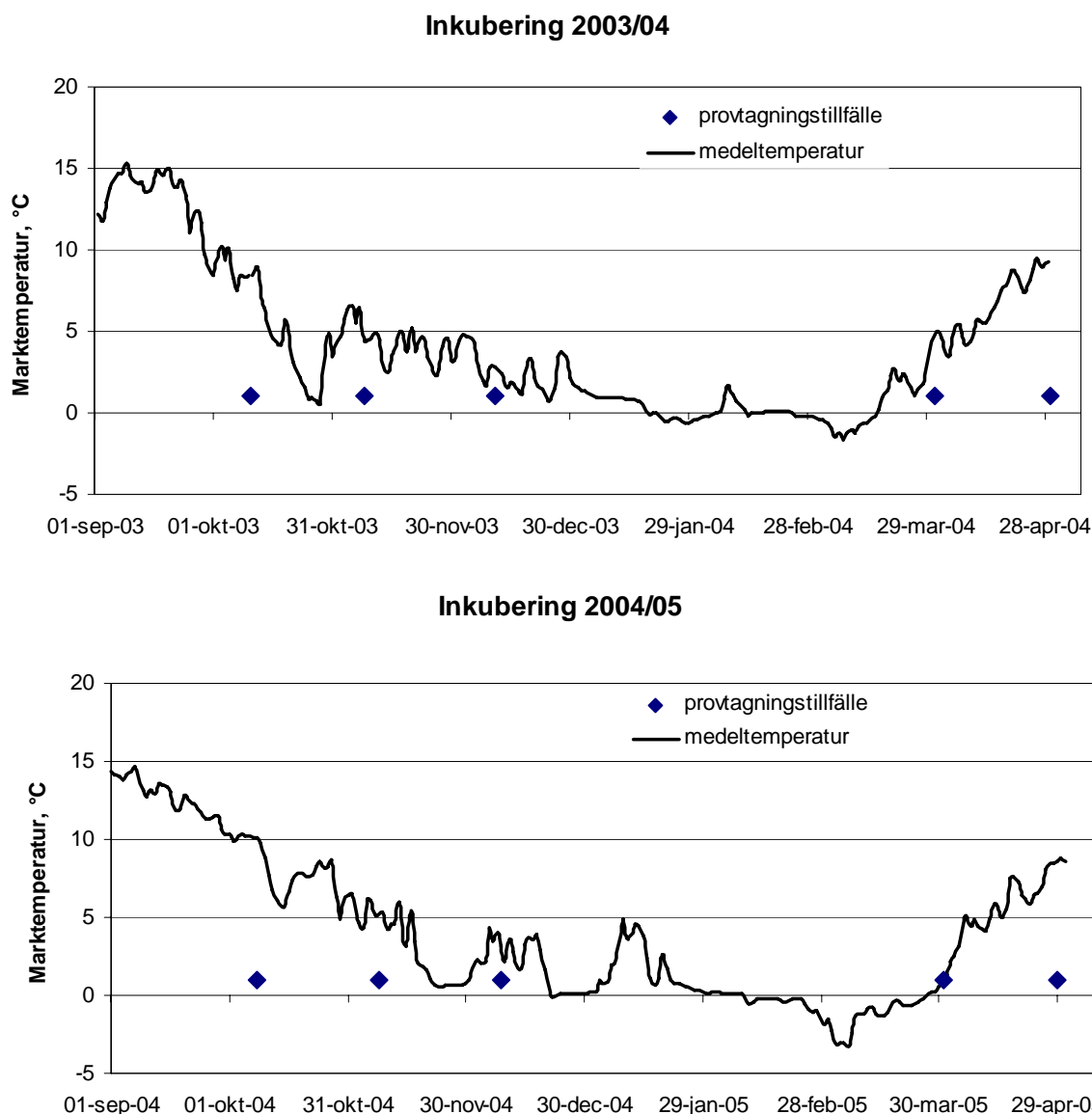
De båda inkubationsstudierna med jord och halm från fältförsöken Götala 1 och 2 (figur 8) visade, att jorden därifrån hade betydligt större kväveminereringsförmåga än Lanna-jorden. Detta förklaras av att Götala är en djurgård. I dessa inkubationsundersökningar ingick som nämnts även jord och halm från ledet med skördade arter (tabell 11). Vid inkubationsstarten fanns mer mineralkväve i jorden efter ärtorna och åkerbönsorna än efter havren. I båda studierna med jord från **Götala-försöken** (figur 8) uppkom kraftiga, förhållandevis jämna ökningarna av mineralkvävemängderna i **jord utan halmtillsats** efter alla tre förfrukterna. Kurvorna från inkubationsstarten till avslutningen i april visade sammantaget en påtaglig parallellitet med avseende på ökningarna av mineralkvävemängderna. Samma gäller undersökningarna med Lanna-jorden. Denna parallellitet tyder på att kväveminereringen från senhösten till våren, trots jordens innehåll av finrötter, inte påverkades av de olika förfrukterna. Det tycks snarare ha varit så, att mineralkvävemängderna vid inkubationsstarten skilde de ledvisa resultaten åt på ett likartat sätt från påbörjad till avslutad inkubation.

I **inkubationsleden med jord och halm från Götala** uppkom tydlig kväveimmobilisering efter både havre och åkerbönor (figur 8). I studien med jord från Götala 1 (2003) uppstod påtaglig kvävefastläggning även efter tillsats av ärthalm, men så var inte fallet under inkubationen av jord och ärthalm från Götala 2 (2004). I jord med halmtillsats fanns vid inkubationens avslutning i april i båda studierna sammantaget mer mineraliserat kväve i ledet med förfrukt arter än efter åkerbönor och avsevärt mer än efter havre. I åkerbönsledet upphörde nettoimmobiliseringen i november-december och övergick sedan i nettomineralisering. Efter havren uppkom inte någon tydlig övergång till nettomineralisering före inkubationens avslutning, liksom vid inkubationen av jord från Lanna.

Kväveminereringstakten efter immobiliseringsfasens slut i ärt- och åkerbönsleden var i studierna med jord och halm från Götala-försöken ungefär lika hög som mineraliseringshastigheten i jord utan halmtillsats, men mindre än så i jorden från åkerbönsledet i Lanna-försöket. Detta tyder sammantaget på att det bara var egentligt markkväve (och troligen ej nämnvärda mängder förfruktskväve) som mineraliserades efter övergången till nettomineraliseringsfasen. Detta innebär att inga kvävetillskott uppkom under detta skede genom ökad frigörelse av kväve från ärtorna och åkerbönsorna. Detta är i överensstämmelse med resultaten i tabell 10 och bilaga 4, som visar att det under kornets växtsäsong knappast uppkom någon ökad kväveminerisering efter de skördade åkerbönsorna och troligen ej heller större utsträckning efter de skördade ärtorna (bilaga 4).

Temperaturförhållanden under inkubationstiden

Temperaturerna på 15-20 cm markdjup, där jorden i inkubationsburkarna befann sig på Lanna försöksstation, framgår av figur 9. Graddalet på detta djup höll sig över 10°C fram till början av oktober och sjönk sedan till under 5°C i november. I den första inkubationsundersökningen (2003-2004) höll sig temperaturen omkring nollpunkten från januari till början av mars 2004 och i den andra studien (2004-2005) från slutet av januari till slutet av mars. Lufttemperaturerna på Lanna under vinterhalvåret var högre dessa år än normalt för perioden 1961-90 (tabell 12), med månadsmedeltemperatur under 0°C bara i januari och februari 2004 samt i februari och mars 2005.



Figur 9. Temperaturer (°C) på 20 cm djup på platsen med inkubationsstudier under fältförhållanden på Lanna under perioderna 2003-09-01 – 2004-04-29 (överst) och 2004-09-01 – 2005-04-30 (underst). Provtagningarna i inkubationsleden ägde under de båda åren rum den 8 resp. 10/10, 7 resp. 8/11, 8 resp. 10/12, 30/3 och 28 resp. 29/4.

Tabell 12. Månadsmedeltemperaturer (°C) under tiden september – april 2003-2004 och 2004-2005 vid SMHI:s meteorologiska station Lanna i Västergötland. *) Avser normalvärden för perioden 1961-1990. Källa: Alexandersson & Eggertsson Karlström (2001).

	Månadsmedeltemperaturer							
	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.	Jan.	Febr.	Mars	April
Normaltemperatur*	11,0	7,0	2,1	-1,3	-3,1	-3,4	-0,2	4,7
2003-2004	12,8	4,2	4,1	1,9	-4,2	-0,7	0,9	6,9
2004-2005	12,2	7,1	1,8	2,3	1,0	-1,7	-1,4	6,0

Inkubationsresultaten tyder på att påtaglig kvävemineralisering ägt rum även vid temperaturer nära 0°C i jorden. Att kvävemineralisering pågår under den egentliga vintern framgår också av många mineralkväveundersökningar i fältförsök, bl.a. i Västergötland (se t.ex. Lindén et al., 1993 och 1999). Det är ju så, att den undre delen av matjorden fryser senare under vintern än ytjorden, och vissa år bara kortvarigt (jmf. Lindén & Engström, 2006). De fastställda ökningarna av mineralkväveförråden från höst- till vårprovtagningen i fältförsöken (figur 4 och 5) bör därför inte bara vara ett resultat av kvävemineralisering vid högre temperatur under hösten (oktober-november) och våren (april) utan även under vintermånaderna.

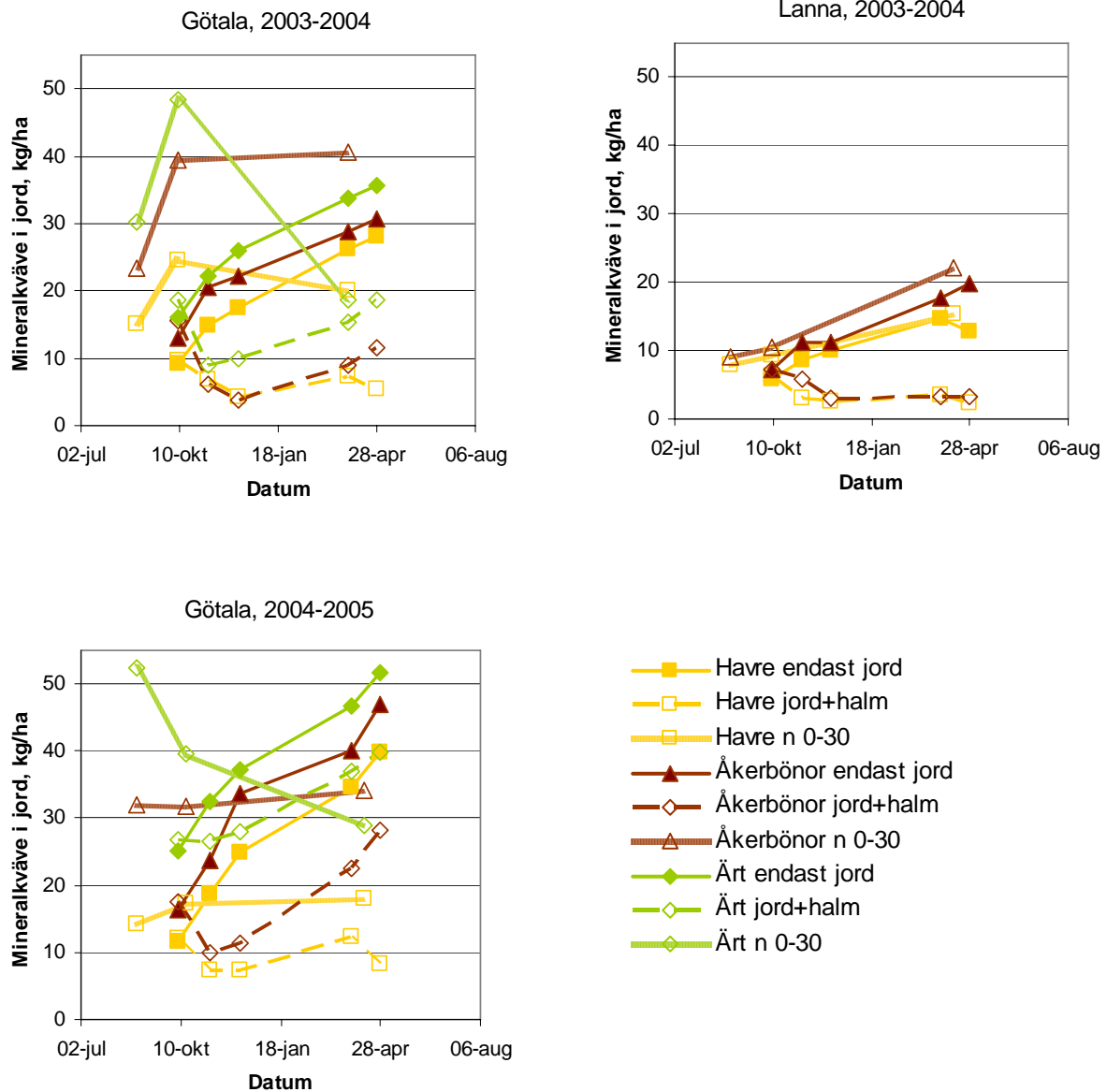
Eftersom kvävemineralisering i inkubationsstudierna uppenbarligen även ägde rum vintertid, är det troligt att viss nedbrytning av förfrukternas växtrester också pågick under denna tid. Omsättningarna gick dock uppenbarligen så pass långsamt, att det inte uppkom någon tydlig nettomineralisering av kväve fram till inkubationens avslutning i slutet av april i inkubationsledet med jord och halm från havreledet i fältförsöken. Detta bidrar till att förklara de mindre mineralkväveförråden efter havren på våren i fältförsöken (figur 4 och 5).

Frågan är hur pass representativa inkubationsundersökningarna är i förhållande till kvävedynamiken i fältförsöken, som ju var fördelade över ett större geografiskt område. Försöken på Riddersberg i Jönköpings län, Lillerud i södra Värmland och Kvinnersta nära Örebro i Närke bör ha haft kallare vintrar. Det kan därför antas att kväveomsättningarna i jorden där skett något långsammare under vinterhalvåret, men mineralkväveförråden på senhösten och på våren i de olika leden i alla försök tyder på likartade förlopp.

Jämförelser mellan inkubationsresultat och mineralkväve i fältförsöken

I fältförsöken borde mineralkvävedynamiken på sätt och vis ha varit ett slags mellanting mellan utvecklingen i jord med och jord utan halm i inkubationsstudierna. Andelen jord som berörts av halminblandning vid jordbearbetning i fältförsöken bör dock ha varit relativt liten, och den uppskattades till att motsvara ett 7 cm djupt skikt av ett plöjt matjordslager. Utvecklingen under fältförhållanden kan därför mer ha liknat betingelserna vid inkubering av jord utan halm än i jord med halm.

I figur 10 görs en jämförelse mellan I) mineralkväve (kg N/ha) i matjorden (0-30 cm djup) i fältförsöken (*beteckning: n 0-30*) vid tre provtagningstillfällen: vid förfrukternas mognad (början av september), på hösten (första hälften av oktober) samt på våren år 2 (mitten av april) och II) mineralkväve i jorden vid de fem tidpunkterna i inkubationsundersökningarna. Mineralkvävevärdena i inkubationsstudierna har som tidigare nämnts räknats om till kg N/ha inom ett 7 cm tjockt jordskikt, vilket som nyss nämnts avsågs att motsvara den andel av ett plöjt matjordslager som hade berörts av halminblandning i fältförsöken



Figur 10. Jämförelse mellan I) mineralkväve (kg N/ha) inom 0-30 cm djup i fältförsöken (n 0-30) vid tre provtagningstillfällen (vid förfruktens mognad, första hälften av oktober och i mitten av april) och II) mineralkväve i jorden vid fem tidpunkter i inkubationsundersökningarna. Mineralkvävevärdena i inkubationsstudierna räknades om till kg N/ha inom ett 7 cm tjockt jordskikt.

Kvävemängderna i jorden i de olika förfruktsleden vid inkubationsstarten förhöll sig till varandra på samma sätt som mineralkvävet i matjorden (0-30 cm) i motsvarande led i fältförsöken under hösten: vid förfrukternas mognad och under den första hälften av oktober (figur 10). Mest mineralkväve fanns efter ärtarna, både i fältförsöken och i den inkuberade jorden. Därefter kom mängderna efter de skördade åkerbönonorna. Vidare överensstämde mineralkväveutvecklingen i matjorden från höst- till våraprovtagningen i fältförsöket Lanna 2 väl med förändringarna vid inkubation av jord (utan halmtillsats) från detta försök under motsvarande tid.

I fältförsöket på Götala 2003-2004 (figur 10) minskade emellertid mineralkvävemängderna i matjorden från hösten till våren i ledet med förfrukt ärter och i mindre utsträckning också efter havre och skördade åkerbönor, uppenbarligen genom nedtransport i markprofilen (jmf. figur 4 och 5) men troligen även till följd av kväveförluster. Samtidigt visar inkubationsresultaten att kväve mineraliseringsstillskott uppkom i matjorden. Sammantaget förklarar skeenden av dessa slag, att de samlade mineralkvävemängderna i markprofilerna (0-90 cm) i de flesta fall i fältförsöken kunde öka från höst till vår, medan de i andra fall kunde minska mer eller mindre såsom i försöken på Götala (bilaga 4).

I fältförsöket Götala 2004-2005 minskade mineralkvävemängderna i matjorden under vintern (figur 10) bara i ledet med förfrukt ärter, medan en svag ökning ägde rum efter havren och åkerbönorna. I båda försöken på Götala var det i ärtledet som de påtagligaste minskningarna i matjorden ägde rum. Förklaringen är att där fanns de största mineralkvävemängderna på hösten och därigenom uppkom sannolikt de största N-förlusterna i detta led. Dessutom är det troligt att N-mineraliseringsstillskotten under vintern inte kunde uppväga kväveförlusterna från matjorden, även om mycket av kvävet bara vaskades ned i alven. N-förluster och N-tillskott i matjorden uppvisade då en negativ balans. Mineralkväveutvecklingen i ärtledet i fältförsöken ger en bild av att risken för kväveförluster under vinterhalvåret kan bli störst, där mineralkvävemängderna på hösten också är störst, även om kväve mineraliseringsstillskott motverkar förlusterna.

Slutsatser

Fältförsöken

De åtta fältförsöken visade att bönskoroden av åkerbönorna i medeltal innehöll 142 kg N/ha och halmen 38 kg N/ha (inkl. bönsbaljor och stubb), tillsammans 180 kg N/ha (tabell 5 och bilaga 3). Antas åkerbönornas rötter innehålla 15 % av kvävemängden i hela växten (Høeg-Jensen et al., 1998), skulle denna gröda ha haft ett samlat kväveinnehåll på i medeltal 210 kg N/ha. Motsvarande värde för havreförfrukten beräknades till 90 kg N/ha. Skillnaden kan sägas vara ett uttryck för åkerbönornas symbiotiska kvävefixering.

Om åkerbönorna i en praktisk odlingsituation inte kan skördas utan hela grödan måste plöjas ned, skulle enligt resultaten i led C (med icke skördade åkerbönor) i medeltal 180 kg N/ha ha brukats ned med de ovanjordiska växtdelarna och därmed bl.a. påverkat grödans efterverkan. Inkl. rotsystemets förmodade kväveinnehåll enligt ovan skulle då i storleksordningen 210 kg organiskt bundet kväve per hektar ha tillförts marksystemet, varav ca 140 kg N/ha i själva bönskoroden. Där åkerbönorna hade skördats, återstod emellertid bara en mindre kvävemängd i halm och andra ovanjordiska växtrester (i medeltal 38 kg N/ha), som sedan återfördes till marken och vars N-innehåll i viss mån kan ha påverkat grödans kväveefterverkan.

Totalkvävehalten i åkerbönshalmen uppgick till 1,29 % av ts, och C/N-kvoten i halmen blev i medeltal så pass hög som 36 (tabell 7 och bilaga 3). Eftersom C/N-kvoter över 20-25 anses medföra kväveimmobilisering vid nedbrytning av växtmaterialet (se t.ex. Persson, 2003), bör detta ha varit fallet med åkerbönshalmen i försöken. Havrehalmen hade i medeltal en totalkvävehalt på 0,59 % av ts och en C/N-kvot på 79.

Vid provtagningen vid skördemognad år 1 (början av september) innehöll marken (0-90 cm) i åkerbönsledet i medeltal 40 kg mineralkväve per ha och i havreledet 26 kg N/ha, se figur 4 och bilaga 4. Fram till första hälften av oktober ökade mineralkväveförråden efter havre,

skördade åkerbönor och ej skördade åkerbönor till 29, 46 respektive 49 kg N/ha. De större mängderna i leden med åkerbönor tyder på högre kväveutlakningsrisk under vinterhalvåret efter denna gröda än efter havre. Resultaten visar dessutom, att det redan vid mognad fanns större mängder lätttrörligt och därmed utlakningsbart kväve i marken efter åkerbönor än efter havre. Detta liknar förhållandet vid ärternas mognad (Lindén, 1984; Lindén & Engström, 2006).

Fram till mitten av april under det efterföljande året (år 2) ökade mineralkväveförråden till 58 kg/ha efter de skördade åkerbönona och efter havre till 40 kg/ha, trots att kväveförluster måste ha förekommit under vinterhalvåret (figur 4 och bilaga 4). Mermängden mineralkväve på våren efter dessa åkerbönor blev således 18 kg N/ha. Detta innebär en differens i ungefär samma storleksordning som vid dessa båda förfrukters mognad, då det som nämnts fanns 14 kg N/ha mer i ledet med skördade åkerbönor. I ledet med ej skördade åkerbönor blev mineralkvävemängden på våren 11 kg N/ha större än efter de skördade. Frigörelse av kvävet i den nedplöjda bönskörden hade dittills (till mitten av april) tydligen inte skett i någon större utsträckning.

Kärnskörden av vårkornet år 2 (det första efterverkansåret) blev i genomsnitt 650 kg/ha större efter de skördade åkerbönona ($P = 0,0021$) och närmare 1500 kg/ha högre efter de ej skördade åkerbönona ($P = 0,000$) än efter havre, se bilaga 5. Merskördarna torde inte bara bero på positiv kväveefterverkan av åkerbönona utan även på en höjning av eftergrödans (kornets) avkastningspotential genom patologiskt sanerande verkan. Detta är ju fallet efter avbrottsgrödor i växtföljder, där stråsäd utgör en dominerande andel av grödorna och är förfrukt till stråsäd. Den stora merskörden av korn med ej skördade åkerbönor som förfrukt i jämförelse med havre tyder på ett större kvävetillskott genom frigörelse av kväve bundet i den nedplöjda bönskörden. Under det andra efterverkansåret, då havre odlades, blev skördarna efter förförfrukterna havre, skördade åkerbönor och ej skördade åkerbönor ganska lika: 2280, 2210 respektive 2420 kg/ha (bilaga 5). Dessa små skillnader tyder på att åkerbönonas inverkan på eftergrödornas avkastning hade ebbat ut efter det första efterverkansåret.

Mängden utnyttjbart jord- och förfruktskväve under år 2, beräknad som korngrödans N-innehåll (inkl. skattad N-mängd i rötterna) vid fullmognad blev efter havren i medeltal 74 kg N/ha, efter de skördade åkerbönona 94 kg N/ha och efter de ej skördade åkerbönona 119 kg N/ha (tabell 10 och bilaga 4). Kväveefterverkan i de båda åkerbönsleden blev således i medeltal 20 respektive 45 kg N/ha större än efter havren. Skillnaden i N-efterverkan mellan leden med de ej skördade och de skördade åkerbönona, i medeltal till 25 kg N/ha, bör vara en effekt av den nedplöjda bönskörden och dess kväveinnehåll. Resultaten tyder på att N-efterverkan av bönskörden i medeltal motsvarade 18 % av totalkvävemängden i bönona, som i genomsnitt innehöll 142 kg N/ha. Större delen av bönskördens N-efterverkan uppkom uppenbarligen genom ökad kvävefrigörelse under kornets växtsäsong. Under det andra efterverkansåret kunde det däremot inte fastställas någon tydlig inverkan på kvävetillgången och på havreskörden av de nedplöjda bönona.

Kvävemineraliseringen under kornets växtsäsong uppgick i medeltal till 57 kg N/ha efter havren och 60 kg N/ha efter de skördade åkerbönona. De uppkom således bara en obetydlig mermineralisering av kväve under växtsäsongen efter de skördade åkerbönona jämfört med havre som förfrukt. Detta tyder på att den förbättrade kvävetillgången efter skördade åkerbönor (+20 kg N/ha) nästan enbart berodde på mer övervintrande mineralkväve. Detta härstammade i sin tur delvis från den mermängd mineralkväve (+14 kg N/ha) som i jämförelse med mineralkvävet efter havre redan fanns vid åkerbönonas mognad (figur 4). Liknande resultat

redovisas av Lindén (1987) för foderärter, som efter ganska sen höstplöjning följdes av vårkorn.

Under år 3, då havre odlades, blev mängden utnyttjbart jord- och förfruktskväve efter havren i medeltal 59 kg N/ha, efter skördade åkerbönor likaså 59 kg N/ha och efter de åkerbönor som ej skördats 63 kg N/ha, se tabell 10. De obetydliga skillnaderna tyder på att varken de skördade eller de ej skördade åkerbönonorna gav någon ökad N-efterverkan år 3 jämfört med förfrukt havre. Detta stämmer med de praktiskt taget lika havreskördarna i de tre leden (bilaga 5).

Inkubationsundersökningarna

Resultaten från inkubationsstudierna under fältförhållanden, som pågick från början av oktober till slutet av april, visar att inte bara havre- utan även åkerbönshalmen gav upphov till kväveimmobilisering under inkubationstiden. Detta förklaras av att åkerbönshalmen hade så pass hög C/N-kvot som i medeltal 43 (tabell 10). I åkerbönsledet upphörde dock nettoimmobiliseringen vid tiden för vinterns ankomst och ersattes sedan av nettomineralisering, som fortsatte ända till slutprovtagningen april i nästan samma takt som i motsvarande jord utan halmtillsats. Även i jorden från ärtsledet i det ena av försöken på Götala uppstod tydlig kvävefastläggning efter tillsats av ärthalm (C/N = 42), men övergången till nettomineraliseringsfasen inträdde här tidigare. Detta är i överensstämmelse med inkubationsresultat för ärthalm redovisade av Lindén & Engström (2006). Vid avslutningen av inkubationen med jord (med och utan halm) från Götala-försöken fanns mer mineraliserat kväve i ledet med förfrukt ärter än efter åkerbönor och avsevärt mer än efter havre. Den använda havrehalmen, som i medeltal hade en C/N-kvot lika med 80, medförde i samtliga fall inte bara kraftigare utan även mer långvarig kvävefastläggning, uppenbarligen ända fram till inkubationsperiodens avslutning i slutet av april. Detta var i överensstämmelse med mineralkväveförrådets storlek i fältförsöken på våren, där det fanns mindre mineralkväve efter förfrukt havre än efter de skördade åkerbönonorna och ärterna.

Kvävemineraliseringstakten efter immobiliseringsfasens slut i ärt- och åkerbönsleden var i studierna med jord och halm ungefär lika hög som mineraliseringshastigheten i jord utan halmtillsats. Resultaten tyder på att det bara var egentligt, ursprungligt markkväve som mineraliserades efter övergången till nettomineraliseringsfasen. Detta kan innebära att inga tydliga kvävetillskott då uppkom genom frigörelse av kväve från ärternas och åkerbönonornas växtrester under detta skede. Detta är i överensstämmelse med resultaten från fältförsöken (tabell 10 och bilaga 4), som ju visar att det under kornets växtsäsong, i jämförelse med förfrukt havre, inte uppstod någon påtagligt ökad kvävemineralisering efter de skördade åkerbönonorna och ej heller efter de skördade ärterna (bilaga 4).

Av både inkubationsstudierna och fältförsöken att döma tycks åkerbönonornas och ärternas positiva N-efterverkan till den övervägande delen bero på större mineralkväveförråd i marken på våren än med havre som förfrukt. Skillnaderna i mineralkvävemängderna uppkom i hög grad redan vid åkerbönonornas och ärternas mognad och under hösten. Dessa båda baljväxtgrödors kväveefterverkan är därför avhängig av, i vilken utsträckning mineralkvävet finns kvar inom rotzonen under den efterföljande våren.

Summary

Faba beans as previous crop to spring cereals in organic farming.

In eight 3-year field trials in south-west Sweden, 2002-2006, residual nitrogen effect of faba beans during two following years with spring cereals were investigated. In the first experimental year oats, faba beans (harvested) and faba beans (not harvested) were grown with three replicates in each trial. In three of the experiments also corresponding treatments with harvested and non-harvested field peas were included. The oats in the first experimental year was fertilised with 72 kg NH₄-N per hectare, on average, as cattle slurry. The crop residues of the harvested crops and the whole not harvested crops were ploughed under in mid-October. In the second and third year spring barley and oats, respectively, were grown.

Grain yield of cereals, beans and peas were measured by combine harvesting in each plot. At GS 91-92 all above ground material were cut within three areas of each 0.25 m² in each plot. Rations of straw, kernels, beans and peas were measured and analysed for total nitrogen content. In the straw total carbon content were determined to determine C/N-ratio. To determine total nitrogen content in spring barley and oats it was assumed that the nitrogen amount in the roots were 25% of the crops total nitrogen content (Hansson et al., 1987).

To determine soil mineral nitrogen (NH₄-N and NO₃-N) at different times, soil samples were taken to 90 cm depth. Soil samplings were performed at the following times: At full ripeness in each crop and at ploughing in autumn (mid October) in year 1 and in early spring (mid April) and at full ripeness GS 91-92 in year 2. In year 3, no soil samplings were carried out.

Two incubation experiments were performed to study the effect of the previous crops on nitrogen mineralisation and immobilisation from the harvest of these crops in year 1 until spring in year 2. For this, soil and straw from oats, faba beans and field peas were sampled shortly after harvest in year 1 in each of the main plots in three trials. A soil and a soil-straw mixture were incubated in plastic bottles. The straw/soil ratios were set in relation to the biological straw harvest in each crop and trial and assuming that straw was incorporated into a 7 cm thick soil layer. The bottles were placed in the topsoil of a field in west Sweden. They were covered with soil and equipped with a ventilation tube reaching about 30 cm above the soil surface. By placing the bottles in the field they were exposed to natural temperature variations. The incubation study was divided into two series, with soil and straw from two and one field experiments, respectively. The first series was performed during the period 10.10.2003-29.04.2004 and the second 8.10.2004-28.04.2005. The changes in soil mineral nitrogen in the bottles were determined at five times during the incubation period.

Year 1 the average yield of faba beans were 2710 kg dry matter (DM)/ha and of oats 3050 kg DM/ha. Spring barley yield after the preceding crops were largest after not harvested faba beans 4470 kg/ha (15% moisture content). Harvested faba beans yielded 3630 kg/ha and oats as preceding crop yielded 2980 kg/ha. There was significantly higher yield after harvested faba beans, 650 kg/ha (P=0.0021) and not harvested faba beans, 1490 kg/ha (P=0.000) compared to oats that is 20 to 50% higher yield. There were no significant differences in oats yield the third year.

In mid October, year 1, there were 29 kg N/ha in soil after oats and after faba beans harvested and not harvested 46 and 49 kg/ha, respectively. There was significantly more nitrogen in soil after faba beans, P=0.0330, and not harvested faba beans, P=0.0018, compared to oats. During

the winter nitrogen content raised although nitrogen losses also must have occurred. In mid April nitrogen levels after oats were 40 kg N/ha. Harvested faba beans had 18 kg N/ha more, $P=0.0025$, and not harvested faba beans 29 kg N/ha more, $P=0.0000$. During the growing season soil mineral nitrogen decreased to 22-24 kg N/ha after oats and harvested faba beans. In not harvested faba beans it remained 32 kg N/ha.

Nitrogen in spring barley, incl. roots 25%, at GS 91-92 were 74, 94 and 119 after oats, faba beans and not harvested faba beans, respectively. Residual nitrogen effect after faba beans harvested and not harvested were 20 and 45 kg N/ha larger than after oats.

Soil mineral nitrogen at spring and at GS 91-92 and nitrogen uptake by barley in the second year were used to calculate apparent net nitrogen mineralisation during the growing season using the formula (Lindén et al., 1992): $N_{\text{net}} = N_{\text{plant}} + N_{\text{md}} - N_{\text{mv}}$, where N_{net} =net nitrogen mineralisation during the growing season, N_{plant} =Nitrogen in crop at GS 91-92, N_{md} =Nitrogen in soil (0-90 cm) at GS 91-92 and N_{mv} =Nitrogen in soil (0-90 cm) in spring. After oats net nitrogen mineralisation during the growing season were 57 kg N/ha. For faba beans harvested and not harvested the mineralisation were 60 and 83 kg N/ha, respectively. The small difference in nitrogen mineralisation following oats and harvested faba beans indicated that the nitrogen effect of the bean crop were mainly caused by more soil mineral nitrogen present in early spring. In the third year with oats the nitrogen levels in crop, at GS 91-92, were evened out as there were no differences between oats or faba beans as preceding crop. In not harvested faba beans there was a small increase of 4 kg N.

The incubation studies revealed that both a mixture of straw from oats or faba beans in the soil caused net nitrogen immobilisation. This may be explained by the high C/N ratio in the oat and faba bean straw, 43 and 80, respectively. Nitrogen immobilisation seemed to stop first in the faba beans (as winter begun). Immobilisation was still taking place in oats at the end of the incubation study in April. This agrees with the larger amounts of soil mineral nitrogen in the spring in the field experiments after oats than with faba beans as preceding crop. The nitrogen immobilisation in the autumn, caused by the bean straw, implies that this straw should not have contributed to the larger amounts of soil mineral nitrogen in the field trials in late autumn following faba beans than after oats. This additional mineral nitrogen was present in the soil already during ripeness and harvest of the faba beans.

In conclusion, there were large residual effects on the nitrogen supply and yield of the spring barley in the treatment where the bean yield of the faba crop was incorporated into the soil. This effect corresponded to about 18% of the nitrogen content of the bean yield. The residual nitrogen effect was less following harvested faba beans. In this case, the effect seems to be due mainly to the extent to which the increased amounts of soil mineral nitrogen in the autumn remains in the rooting zone after the winter. No significant residual effects were found in the second year after the faba bean crops.

Litteratur

- Alexandersson, H. & Eggertsson Karlström, C. 2001. Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-1990. Referensnormaler – utgåva 2. Rapport 99, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI), Norrköping.
- Bremner, J. M. & Keeney, D. R. 1966. Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 3. Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Science Society of America Proceedings* 30, 577-582.
- Eltun, R., Henriksen, T. & Bjerke, O. 2001. Avling og etterverknad av erter og åkerbønner i økologisk dyrking. *Jord- og Plantekultur 2001/Planteforsk, Grønn forskning 01/2001*, 173-182.
- Engström, L., Lindén, B. & Roland, J. 2003. Ekologiska demonstrationsodlingar på Lanna försöksstation 1996-2002. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för jordbruksvetenskap Skara, Avdelningen för mark-växter. Teknisk rapport 10,.
- Haak, E., Lindén, B. & Persson, P. J. 1994. Kväveflöden i olika odlingsssystem. Avdelningen för växtnärlära, Sveriges lantbruksuniversitet, rapport 194.
- Hansson, A.-C., Pettersson, R. & Paustian, K. 1987. Shoot and root production and nitrogen uptake in barley, with and without nitrogen fertilization. *J. Agronomy & Crop Science*, 158, 163-171.
- Høeg-Jensen, H., Loges, R., Jensen, E. S., Jørgensen, F. V. & Vinther, F. P. 1998. Empirisk model til kvantificering af symbiotisk kvælstoffiksering i bælgplanter. I: *Kvælstofudvaskning og -balancer i konventionelle og økologiske produktionssystemer* (red. Kristensen, E. S. & Olesen, J. E.). Forskningscenter for Økologisk Jordbrug, Foulum, Danmark, FØJO-rapport nr. 2, 69-86.
- Jansson, S. L. 1958. Tracer studies on nitrogen transformations in soil with special attention to mineralisation-immobilization relationships. *Kungl. Lantbrukshögskolans Annaler* 24, 101-361.
- Lindén, B. 1981. Sambandet mellan odlingsåtgärderna och markens mineralkväveförråd. *Kungl. Skogs- och lantbruksakademien*, rapport nr 5, 1981, 67-123.
- Lindén, B. 1984. Ärternas inverkan på mineralkvävetillgången i marken och efterföljande grödas gödselkvävebehov. Ärtodling, NJF-seminarium i Uppsala den 11-12 april 1984 anordnat av Nordiska Jordbruksforskarens Förening. NJF-utredning/rapport nr 15, 23:1-8.
- Lindén, B. 1987. Mineralkväve i markprofilen och kvävemineralisering under växtsäsongen. I: *Kvävestyrning till stråsäd - dagsläge och framtidsmöjligheter*. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien*, rapport 24, 23-46.
- Lindén, B., Lyngstad, I., Sippola, J., Søgaard, K. & Kjellerup, V. 1992. Nitrogen mineralization during the growing season. I. Contribution to the nitrogen supply of spring barley. *Swedish J. agric. Res.* 22: 3-12.
- Lindén, B., Aronsson, H., Gustafson, A. & Torstensson, G. 1993. Fånggrödor, direktsådd och delad kvävegiva - studier av kväveverkan och utlakning i olika odlingsystem i ett lerjordsförsök i Västergötland. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, *Ekohydrologi* 33.
- Lindén, B., Engström, L., Aronsson, H., Hessel Tjell, K., Gustafson, A., Stenberg, M. & Rydberg, T. 1999. Kvävemineralisering under olika årstider och utlakning på en mojord i Västergötland. Inverkan av jordbearbetningstidpunkter, flytgödseltillförsel och insådd fånggröda. Avdelningen för vattenvårdslära, Sveriges lantbruksuniversitet, *Ekohydrologi* 51.
- Lindén, B., Engström, L. & Ericson, L. 2003. Nitrifikation av ammonium i nötflytgödsel efter tillförsel till jord tidigt och sent på hösten - betydelse för utlakningsrisken. Institutionen för jordbruksvetenskap Skara, Sveriges lantbruksuniversitet, rapport 10, serie B Mark och växter.

- Lindén, B. & Engström, L. 2006. Höstraps, havre och ärter som förfrukter till höstvetete – inverkan på kvävedynamiken i marken och på vetets avkastning. Sveriges lantbruksuniversitet, Avdelningen för precisionsodling, Institutionen för markvetenskap, rapport 4.
- Nyberg, A. & Lindén, B. 2000. Dokumentation av ekologiska växtodlingsgårdar i västra Sverige 1996-98. Inst. för jordbruksvetenskap Skara, Sveriges lantbruksuniversitet. Serie B Mark och växter, rapport 6.
- Olog, L. 2001. Förfruktseffekter av ärter och åkerböna. Mellansvenska försökssamarbetet, försöksrapport 2001, 39-40.
- Persson, J. 2003. Kväveförluster och kvävehushållning. Förbättringsmöjligheter i praktiskt jordbruk. Kortsiktiga och långsiktiga markbiologiska processer med speciell hänsyn till kvävet. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för växtnäringslära, rapport 207.
- SMHI. Väder och vatten, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut Norrköping, 2002-2006, ISSN: 0281-9619.
- Stabbetorp, H. 1984. Forgrødevirkning av åkerbønne og erter. Ärtodling. NJF-seminarium i Uppsala den 11-12 april 1984 anordnat av Nordiska Jordbruksforskarens Förening. NJF-utredning/rapport nr 15, 24:1-2.
- Svensson, H. 1988. Ärter och havre som förfrukter till vete och korn. Slutredovisning av försöksserien R4-3002. Växtodling 3. Institutionen för växtodlingslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Teittinen, P. 1984. Ärterna och växtföljden i Finland. Ärtodling. NJF-seminarium i Uppsala den 11-12 april 1984 anordnat av Nordiska Jordbruksforskarens Förening. NJF-utredning/rapport nr 15, 25:15.
- Wallgren, B. 1984. Ärterna i växtföljden, förfruktseffekter och kväveeffekter. Ärtodling. NJF-seminarium i Uppsala den 11-12 april 1984 anordnat av Nordiska Jordbruksforskarens Förening. NJF-utredning/rapport nr 15, 22:1-6.
- Wallgren, B. 1986. Växtföljden och spannmålens proteinhalt. Försöksledarmöte i Uppsala. Del 2. Intensiv vallodling i norr, aktuella växtodlingsfrågor, behovsanpassad kvävegödsling. SLU. Konsulentavdelningens rapporter, Allmänt 83, 13:1-13.
- Wallgren, B. 1990. Ärterna i växtföljden. Trindsädesodling, föredrag hållna vid NJF-seminarium 175 i Uppsala 16-17 oktober 1990. Växtodling 23, Institutionen för växtodlingslära, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Wetterlind, J. Stenberg, M., Lindén, B. & Båth, B. 2005. Baljväxters kväveefterverkan och betydelse för kväveförsörjningen i ekologiskt lantbruk. Jordbruksverket, Jordbruksinformation 1, 2005.

Bilaga 1.

Nederbörd (mm) under växtsäsongen, april – augusti, uppmätt vid den SMHI-station som befanns ligga närmast respektive försöksplats. Källa: SMHI Väder och vatten 2002-2006. För Dingle i Bohuslän redovisas förutom SMHI:s data även mätningar vid Naturbruksgymnasiet i Dingle. *) Normal avser s.k. referensnormalvärden för perioden 1961-1990. Källa: Alexandersson & Eggertsson Karlström (2001).

	April	Maj	Juni	Juli	Augusti	September
<i>Dingle (Station Vänersborg)</i>						
2003	95	55	77	115	33	7
2004	30	20	95	116	80	95
2005	34	73	78	78	75	27
Normal*	39	48	56	67	66	77
<i>Dingle (Naturbruksgymnasiet)</i>						
2003	i.u.	i.u.	94	115	35	17
2004	35	34	69	84	107	172
2005	21	54	58	54	70	i.u.
<i>Lillerud (Station Karlstad)</i>						
2004	34	23	81	50	131	61
2005	21	83	38	71	31	14
2006	65	98	52	32	137	29
Normal*	38	42	56	63	72	73
<i>Kvinnersta (Station Örebro)</i>						
2004	18	34	86	80	103	75
2005	12	96	40	105	50	20
2006	44	103	41	52	143	29
Normal*	38	43	51	77	69	73
<i>Riddersberg (Station Jönköpings flygplats)</i>						
2003	89	74	70	184	51	19
2004	20	45	84	229	89	59
2005	42	62	47	137	75	21
Normal*	49	52	63	86	78	87
<i>Götala (Station Skara)</i>						
2003	66	60	83	108	39	21
2004	18	57	86	168	92	73
2005	28	82	74	78	75	17
2006	66	46	45	34	139	30
Normal*	34	41	50	58	64	62
<i>Lanna (Station Lanna)</i>						
2002	20	80	119	60	41	15
2003	60	59	80	107	30	7
2004	17	34	90	126	61	55
2005	23	56	93	104	47	14
Normal*	30	41	51	63	62	65

Bilaga 2.

Temperaturer (°C) under försöksåren uppmätta på den SMHI-station som befanns ligga närmast respektive försöksplats, Källa: SMHI Väder och vatten 2002-2006. För Dingle i Bohuslän redovisas förutom SMHI:s data även mätningar vid Naturbruksgymnasiet i Dingle. i.u. = ingen uppgift. *) Normal avser s.k. referensnormalvärden för perioden 1961-1990. Källa: Alexandersson & Eggertsson Karlström (2001).

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
<i>Dingle (Station Vänersborg)</i>												
2003				5,2	10,6	15,4	17,8	16,1	12,8	4,3	3,9	1,8
2004	-3,4	-0,5	1,4	6,9	11,5	13,5	14,8	17,9	12,1			
2005				6,1	9,9	13,8	17,6	15,6	12,7			
Normal*	-2,6	-2,8	0,1	4,3	10,1	14,4	15,8	14,9	11,2	7,4	2,5	-0,9
<i>Dingle (Naturbruksgymnasiet)</i>												
2003				i.u.	i.u.	16,0	18,9	16,9	12,6			
2004				7,0	11,8	13,7	15,0	17,6	12,3			
2005				6,2	9,8	13,9	17,7	16,1	i.u.			
<i>Lillerud (Station Karlstad)</i>												
2004				6,7	12,0	14,2	15,7	17,4	12,5	6,8	1,0	0,8
2005	0,9	-1,9	-1,6	6,1	9,6	14,5	18,9	16,4	13,6			
2006				4,4	11,2	16,1	20,2	18,3	14,8			
Normal*	-4,5	-4,4	-0,7	4,1	10,5	15,2	16,6	15,6	11,5	6,8	1,4	-2,8
<i>Kvinnersta (Station Örebro)</i>												
2004				6,9	12,0	14,5	15,8	17,6	12,5	6,1	0,5	1,5
2005	0,9	-2,5	-1,6	6,5	10,5	14,7	18,4	16,1	12,8			
2006				4,7	11,3	16,4	19,7	17,8	14,3			
Normal*	-4,0	-4,0	-0,5	4,3	10,7	15,3	16,5	15,3	10,9	6,6	1,3	-2,4
<i>Riddersberg (Station Jönköpings flygplats)</i>												
2003				3,8	10,2	14,3	16,9	15,1	11,4	3,1	3,3	0,6
2004	-5,4	-1,6	0,5	5,9	9,9	12,3	13,8	16,2	11,6			
2005				5,5	9,8	13,4	17,0	14,9	11,8			
Normal*	-3,7	-3,9	-1,0	3,4	9,3	13,6	14,8	14,0	10,1	6,3	1,4	-2,1
<i>Götala (Station Skara)</i>												
2003	-3,2	-3,4	2,2	4,9	11,0	15,4	18,1	16,0	12,3	3,3	3,8	1,4
2004	-4,3	-1,1	1,0	6,7	11,3	13,1	14,7	16,7	11,7	6,6	1,2	1,9
2005	0,8	-2,4	-1,8	5,9	9,9	13,5	17,2	15,5	12,5	7,8	4,3	-0,3
2006	-4,2	-3,6	-4,8	4,8	10,9	15,8	19,6	16,9	14,6	9,6	4,9	4,3
Normal*	-3,3	-3,4	-0,2	4,5	10,5	14,6	15,7	14,7	10,8	6,9	1,9	-1,6
<i>Lanna (Station Lanna)</i>												
2002	3,2	2,5	2,1	6,3	11,7	14,5	16,2	18,6	12,0	3,9	0,7	-3,4
2003	-3,1	-3,1	1,8	4,4	10,1	15,1	17,6	14,7	12,8	4,2	4,1	1,9
2004	-4,1	-0,7	0,9	6,9	11,2	13,3	14,4	17,1	12,2	7,1	1,8	2,3
2005	1,0	-1,7	-1,4	6,0	9,9	12,8	17,2	15,6	12,7	7,8	4,9	-0,2
Normal*	-3,1	-3,4	-0,3	4,4	10,6	14,7	15,7	14,9	11,0	7,1	2,1	-1,4

Bilaga 3.

Skörd av förfrukterna havre, åkerbönor och ärter samt kväveinhåll i kärna, bönor, ärter och halm.

Försöksplats, år Gröda, sort	N-giva, kg N / ha	Kärn-, eller ärtskörd, kg ts/ha	Kväveinhåll, kg N / ha			C/N-kvot i halm
			Ovan jord	Kärna/bönor/ärter	Halm	
<i>Lanna 1, 2002</i>						
Havre, Stork	54	3360	-	-	-	-
Åkerböna, Kontu	0	2430	157	125	32	34
<i>Lanna 2, 2003</i>						
Havre, Belinda	75	2220	51	37	13	86
Åkerböna, Colombo	0	3210	215	174	41	33
<i>Dingle, 2003</i>						
Havre	0	2390	50	37	13	75
Åkerböna, Arla	0	2200	153	122	31	38
<i>Götala 1, 2003</i>						
Havre	75	4060	88	67	21	92
Åkerböna	0	3060	208	157	51	33
Foderärter	0	3890	202	155	46	41
<i>Riddersberg, 2003</i>						
Havre, Sang	75	2190	54	41	13	84
Åkerböna, Aurora	0	2500	139	116	23	49
<i>Götala 2, 2004</i>						
Havre, Freja	77	3850	87	64	23	90
Åkerböna, Colombo	0	2030	134	110	25	33
Foderärter	0	2110	117	83	34	37
<i>Kvinnersta, 2004</i>						
Havre	75	3460	71	55	16	77
Åkerböna	0	3740	259	197	61	36
<i>Lillerud, 2004</i>						
Havre	76	2840	76	51	25	47
Åkerböna, Colombo	0	2540	176	136	40	29
<i>Medeltal, 8 platser 2002-2004:</i>						
Havre	63*	3050	68	50	18	79
Åkerböna	0	2710	180	142	38	36
<i>Medeltal, 2 platser 2003-2004:</i>						
Foderärter	0	3000	159	119	40	39

*) Medeltal av alla försök. Frånsett försöket på Dingle som ej gödslades, tillfördes i genomsnitt 72 kg NH₄-N per ha.

Bilaga 4

Mineralkväve i marken (0-90 cm djup, kg N/ha), kväveinnehåll (kg N/ha) i korn- och havregröda (inkl.skattad N-mängd i rötterna) år 2 respektive år 3 (i de ogödslade del- leden år 3) efter de tre förfrukterna havre, åkerbönor och ärter (år 1) samt beräknad nettomineralisering av kväve (kg N/ha) under växtodlingssäsongen år 2 (från kväveprofilprovtagningen på våren till provtagning vid fullmognad, stadium DC 91-92, hos kornet).

Försöksplats och år	År 1. Förfruktsår			År 2. Vårkornsår				År 3. Havreår			
	Mineralkväve i marken, 0-90 cm, kg N/ha			Markkväve upptaget av grödan under växtsäsongen				Kväve i grödan, inkl.rötter			
Förfrukt	Kväve i grödan, inkl.rötter			N-mineralisering				Kväve i grödan, inkl.rötter			
	Vid skörd	Senhöst	Tidig vår	Vid fullmognad	kg N/ha	Jämfört med havre	kg N/ha	Jämfört med havre	kg N/ha	Jämfört med havre	
<i>Lanna 1, 2002-2004</i>											
Havre	13	17	36	11	50	0	25	0	39	0	
Åkerböna	18	25	53	12	58	8	17	-8	56	18	
Åkerböna, ej skördad		31	61	13	86	36	38	13	59	20	
<i>Lanna 2, 2003-2005</i>											
Havre	11	12	24	15	38	0	30	0	Ej provtaget		
Åkerböna	14	15	45	16	53	15	24	-5	Ej provtaget		
Åkerböna, ej skördad		14	48	18	79	40	48	19	Ej provtaget		
<i>Dingle, 2003-2005</i>											
Havre	26	26	32	22	118	0	109	0	45	0	
Åkerböna	51	39	39	22	135	16	118	9	45	0	
Åkerböna, ej skördad		83	34	18	146	28	131	22	44	-1	
<i>Götala 1, 2003-2005</i>											
Havre	46	66	66	43	81	0	58	0	86	0	
Åkerböna	57	93	86	48	95	14	57	-1	83	-2	
Åkerböna, ej skördad		89	114	101	139	57	126	68	90	4	
Foderärter	62	123	71	34	112	31	75	17	83	-3	
Foderärter, ej skördade		78	69	37	106	25	74	16	84	-2	
Forts.											

Bilaga 4 (forts.)

Riddersberg, 2003-2005

Havre	37	30	43	27	58	0	42	0	52	0
Åkerböna		45	70	29	56	-2	14	-27	41	-10
Åkerböna, ej skördad		51	83	30	74	16	20	-22	47	-5

Götala 2, 2004-2006

Havre	30	40	36	29	113	0	106	0	113	0
Åkerböna	70	86	72	33	177	64	138	32	110	-2
Åkerböna, ej skördad		100	73	35	198	85	160	54	111	-2
Foderärter	87	103	63	27	139	26	103	-3	109	-4
Foderärter, ej skördade		141	75	28	165	52	118	12	108	-5

Kvinnersta, 2004-2006

Havre		17	53	23	76	0	46	0	46	0
Åkerböna	35	30	56	20	87	11	50	4	40	-6
Åkerböna, ej skördad		26	87	25	135	58	72	26	50	5

Lillerud, 2004-2006

Havre	23	23	28	10	59	0	41	0	36	0
Åkerböna	38	36	43	11	91	32	59	18	35	-1
Åkerböna, ej skördad		51	50	15	99	41	64	23	42	5

Medeltal, 8 försök:

Havre	26	29	40	22	74	0	57	0	59	0
Åkerböna	40	46	58	24	94	20	60	3	59	-1
Åkerböna, ej skördad		55	69	32	119	45	83	26	63	4

Medeltal, 2 försök

Foderärter	75	113	67	31	109*	15*			93	-4*
Foderärter, ej skördade		110	72	33	123*	29*			94	-3*

*) Jämförelse enbart i försöken med ärter.

Bilaga 5.

Kärnskördar (15 % vattenhalt) under efterverkansåren: korn (år 2) och havre (år 3) samt proteinhalter (6,25 * N, % av ts) under respektive år. År 3 delades försöksrutorna i två delar: en utan gödsling och en med tillförsel av flytgödsel till havren. Kvävegivan avser den mängd ammoniumkväve som tillfördes med flytgödseln.

Försöksplats	Gröda, år	N-giva kg N/ha	Kärnskörd, kg/ha			Proteinhalt, % av ts		
			Förfrukt:			Förfrukt:		
			Havre	Åkerbönor	Åkerbönor, ej skördade	Havre	Åkerbönor	Åkerbönor, ej skördade
Lanna 1	Korn, 2003	0	1820	1920	2940	9,1	9,0	9,7
	Havre, 2004	0	1470	1900	2150	9,5	10,4	10,3
Lanna 2	Korn, 2004	0	1930	2860	3940	8,1	7,6	8,3
	Havre, 2005	0	2470	2240	2470	9,4	9,6	9,8
Dingle	Korn, 2004	0	4480	5170	5290	10,0	10,4	10,9
	Havre, 2005	0	2210	2170	2170	8,7	8,8	8,7
Götala 1	Korn, 2004	0	3710	4200	4880	8,5	8,5	10,2
	Havre, 2005	0	3930	3860	3880	9,0	8,8	8,8
	Havre, 2005	68	5560	5530	5860	8,7	8,5	9,2
Riddersberg	Korn, 2004	0	2060	2120	2800	10,0	9,3	9,8
	Havre, 2005	0	1630	1600	1660	10,6	10,1	9,8
	Havre, 2005	63	2020	1780	1920	11,2	11,3	11,3
Götala 2	Korn, 2005	0	5010	6850	7880	9,3	10,7	10,9
	Havre, 2006	0	3830	3780	3850	12,1	12,4	11,5
	Havre, 2006	75	4900	4370	4840	13,0	13,5	13,4
Kvinnersta	Korn, 2005	0	2720	3000	4670	10,7	11,3	11,5
	Havre, 2006	0	1570	1130	1840	10,9	10,4	11,1
	Havre, 2006	73	1880	1900	1690	11,8	12,3	11,9
Lillerud	Korn, 2005	0	2090	2940	3320	10,8	10,8	11,4
	Havre, 2006	0	1120	1040	1360	13,0	13,0	13,0
	Havre, 2006	83	1290	1360	1560	13,0	13,2	12,9
Medeltal, 8 försök	Korn (år 2)	0	2980	3630	4490	9,6	9,7	10,3
	Havre (år 3)	0*	2280	2210	2420	10,4	10,5	10,4
Medeltal, 5 försök**	Havre (år 3)	72**	3080	2890	3050	11,5	11,7	11,8

*) Utan flytgödsel år 3. **) Med flytgödsel år 3.

Förteckning över utgivna rapporter på Avdelningen för Precisionsodling:

1. Lundström, C., Roland, J., Tunared, R. och Lindén, B. 2004. Jämförelser mellan jordbearbetnings-system 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.
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.*
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.
4. Lindén, B. och Engström, L: 2006. Höstraps, havre och ärter som förfrukter till höstvetete – 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.*
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 höstvetete?
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.*
7. Lundström, C (red.). 2006. Precisionsodling 2005 - verksamhet vid Avdelningen för precisionsodling.
8. Lindgren, J., Stenberg, M och Lindén, B. 2007 Teknik för maximerat kväveutnyttjande och minimerad kväveutlakning i potatisodling.
9. Larsson, S., Stenberg, M., Gruvaeus, I. och Engström, M. Odlingsystem för grovfoderproduktion med förbättrad avkastning och produktionsekonomi.
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.*
11. Stenberg, M., Etana, A., Bergkvist, G., Wetterlind, J., Myrbeck, Å., Aronsson, H., Rydberg, T. och Lindén, B. 2007. Uthålliga täckgröde- och fånggrödesystem.
12. Lundström, C. (red). 2007. Precisionsodling 2006 – verksamhet vid Avdelningen för precisionsodling.
13. Lundström, C. 2007. Hållbar utveckling för stad och land – en storyline om samarbete i en region.
14. Lindén, B. 2008. Efterverkan av olika förfrukter: inverkan på stråsådesgrödors avkastning och kvävetillgång - en litteraturöversikt.
15. Nyberg, A. och Lindén, B. 2008. Åkerbönor som förfrukt till vårsäd i ekologisk odling. *Faba beans as previous crop to spring cereals in organic farming.*

Avdelningen för precisionsodling, Institutionen för markvetenskap, SLU, 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. plats-specifikt 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>