



# Inverkan av tidig och sen jordbearbetning under hösten på kvävemineraliseringen under vinterhalvåret och på utlakningsrisken på en lerjord



Maria Stenberg, Åsa Myrbeck, Börje Lindén och Tomas Rydberg

**Avdelningen för precisionsodling**

*Division of precision agriculture  
Swedish University of Agricultural Sciences*

**Rapport 3  
Skara 2005**

*Report 3*

ISSN 1652-2788  
ISBN 91-576-6868-X



# **Inverkan av tidig och sen jordbearbetning under hösten på kväveminaliseringen under vinterhalvåret och på utlakningsrisken på en lerjord**

Resultat 1997-2005 från fältförsök R2-8408 på Lanna i Västergötland

Slutrapport över forskningsprojekt inom Jordbruksverkets ramprogram "Växtnäringens miljöeffekter"

Maria Stenberg<sup>1</sup>, Åsa Myrbeck<sup>2</sup>, Börje Lindén<sup>1</sup> och Tomas Rydberg<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Avdelningen för precisionsodling, Institutionen för markvetenskap, SLU, Box 234, 532 23 Skara, 0511-672 74.

<sup>2</sup> Avdelningen för jordbearbetning, Institutionen för markvetenskap, SLU, Box 7014, 750 07 Uppsala, 018-67 12 13.

N.N@mv.slu.se  
www-mv.slu.se



## Förord

Jordbruket har idag stora krav på sig att minska växtnärläckaget från åkrarna till omgivningen. I södra Sverige har det införts ersättning för mark som hålls bevuxen under höst eller vinter i syfte att minska kväveläckaget. Som höst- eller vinterbevuxen mark räknas t.ex. en insådd fånggröda eller stubb efter en stråsädesgröda om plöjning sker efter ett visst datum på hösten. Reglerna är baserade på resultat från försök på lätta jordar i sydvästra Sverige som visat att en senareläggning av bearbetningen på hösten kan minska utlakningen av kväve. Samtidigt finns det få studier om hur bearbetningstidpunkten påverkar kväveutlakningen på lerjord. En sen bearbetning vid ogynnsamma förhållanden skulle kunna leda till försämrade markstruktur med sämre skörd och därmed också sämre kväveutnyttjande som följd. År 1997 initierades ett projekt i syfte att undersöka hur olika strategier för jordbearbetning på hösten på lerjord påverkar kväveutnyttjandet i vårsådd spannmål, kväveminerialiseringen i marken och risken för utlakning av kväve under höst och vinter. Försöket löpte oförändrat under drygt sju år vilket gjorde det möjligt att inom projektet också studera den långsiktiga påverkan av olika bearbetningsstrategier på markstrukturen. Försöket har skötts av personal vid SLU:s försöksstation Lanna i Västergötland under ledning av Rolf Tunared. Analyser av jord och växtmaterial har utförts av Avdelningen för växtnärlära, SLU. Projektet är finansierat av Statens jordbruksverk.

Skara och Uppsala november 2005

Maria Stenberg

Åsa Myrbeck

Tomas Rydberg

Börje Lindén



**Innehållsförteckning**

Förord .....	5
Bakgrund .....	9
Syfte .....	10
Material och metoder .....	10
Försöksplats .....	10
Försöksplan .....	10
Klimat .....	11
Skörd .....	13
Kväve i grödor .....	13
Mineralkväve i marken .....	13
Totalkväve och totalkol i marken .....	13
Kväveminalisering under växtsäsongen .....	14
Potentiell kväveminalisering .....	14
Markfysikaliska mätningar .....	14
Genomsläpplighet .....	14
Penetrationsmotstånd .....	15
Volymvikt, vattenhållande förmåga och ekvivalentpordiameter .....	15
Aggregatstabilitet .....	15
Statistisk bearbetning .....	15
Resultat och diskussion .....	16
Skörd .....	16
Kväve i grödor .....	17
Mineralkväve i marken .....	18
Totalkväve och totalkol i marken .....	21
Kväveminalisering under växtsäsongen .....	22
Potentiell kväveminalisering .....	23
Markfysikaliska mätningar .....	24
Genomsläpplighet .....	25
Penetrationsmotstånd .....	25
Volymvikt, vattenhållande förmåga och ekvivalentpordiameter .....	26
Aggregatstabilitet .....	27
Sammanfattande diskussion .....	28
Slutsatser .....	29
Summary .....	29
Litteratur .....	31
Bilagor .....	33
Bilaga 1 Åtgärder i försöket .....	33
Bilaga 2 Graderingar i försöket 1997-2005 .....	34
Bilaga 3 Mineralkväve skiktvis vid respektive provtagningstidpunkt .....	35





## Bakgrund

Sedan ett antal decennier har vi haft kunskap om jordbruket som källa för växtnäingsbelastning, främst kväve och fosfor, till ytvatten, kustvatten och grundvatten, och därmed orsakande eutrofiering av dessa. Det är idag väl känt att risken för utlakning av kväve under vinterhalvåret ökar på lätta jordar om marken plöjs tidigt på hösten jämfört med om den plöjs sent på hösten eller på våren (Stenberg et al., 1999; Aronsson, 2000; Aronsson et al., 2003). Fler odlingsåtgärder som t.ex. hantering av stallgödsel och odling av fånggrödor, har visat sig ha stor effekt på växtnäingsutlakningen (Aronsson, 2000).

Hur stor risken för utlakning är på lerjordar har varit mindre känt. På lättlera i Skåne har sedan början av 1990-talet utlakning mätts från två växtföljder och där var kväveutlakningen från en växtföljd med fånggröda i medel för 1993-2003  $18 \text{ kg N ha}^{-1}$  och från en mer konventionell växtföljd  $27 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Aronsson & Torstensson, 2003). På Lanna i Västra Götaland har medelutlakningen från en spannmålsväxtföljd varit  $5-15 \text{ kg N ha}^{-1}$  och år (Torstensson, 2003; Lundström, 2004; Ulén et al., 2005) under tiden från mätningarnas start på 1980-talet.

En eventuellt minskad kväveutlakning får på en lerjord vägas mot risken för en försämrad markstruktur och lägre skörd om plöjningen utförs vid ogynnsamma förhållanden. Det är väl känt att vattenhalten vid bearbetning är viktig med avseende på den packning som uppstår vid körning (Heinonen, 1985; Arvidsson & Pettersson, 1995). Dessutom vet vi att vattenhalten vid bearbetningstillfället är den kanske viktigaste faktorn för det resultat som uppnås med en bearbetning. En indikation om hur förhållandena vid plöjning påverkar efterföljande gröda kan fås från de försök med efterverkan av packning som genomfördes under 1960- 70- och 80-talen (Arvidsson & Håkansson, 1996). I dessa försök packades jorden varje höst före plöjning, varefter skörden bestämdes efterföljande år. Plöjningen återställde markens skrymdensitet, men på lerjordar blev matjordens struktur sämre i de packade leden. Bl.a. blev såbäddens struktur grövre och den efterföljande skörden lägre. En liknande effekt är trolig om plöjningen utförs under ogynnsamma förhållanden.

Packning definieras som en ökning av markens torra skrymdensitet, eller en minskning av porositeten. De största porerna är de som påverkas mest av packning, och dessa är av avgörande betydelse för markens funktion. Vatten transporteras lättast i stora porer, som därför är avgörande för markens genomsläpplighet eller dränering. De är också nödvändiga för syretransport eftersom denna främst sker genom diffusion i luftfyllda porer. Slutligen sker rottillväxten lättast i grova porer. Packning medför också att jordens hållfasthet ökar, vilket försvårar rottillväxt, ökar dragkraftsbehov vid bearbetning och minskar bearbetbarheten, d.v.s. ger en grövre struktur i t.ex. såbädden. I slutändan påverkas därmed skörd, miljö samt markens långsiktiga bördighet. Detta gäller packning i matjord såväl som i alv (Arvidsson & Pettersson, 1995).

Har utebliven eller senarelagd plöjning samma effekt på kväveutlakningen på en styv lera som på en sandjord? Dessa frågor belyser vi i det här projektet. Försöksserie R2-8408 lades ut 1997 och de första bearbetningarna utfördes under hösten samma år. I det här försöket jämförde vi, förutom tidpunkten för höstbearbetningen, även plöjningsfri odling med konventionella system ur läckagesynpunkt. På lätta jordar har vi inte kunnat göra den jämförelsen. I försöket togs kväveprofiler ut vid flera tillfällen under året. Gröda och fånggrödor analyserades också på innehåll av kväve under säsongen. I försöket anlades även så kallade ON-rutor för att möjliggöra bestämning av kväveminaliseringen under växtsäsongen.

## Syfte

Syftet med studien var att undersöka hur olika strategier för jordbearbetning på hösten på lerjord påverkar kväveutnyttjandet i vårsådd spannmål, kvävemineralsningen i marken och risken för utlakning av kväve under höst och vinter. Syftet var även att studera hur behandlingen av halm (bortförel kontra nedbrukning) påverkar nämnda faktorer samt inverkan på desamma av fånggrödorna engelskt rajgräs (*Lolium perenne* L.) och cikoria (*Cichorium intybus* L.). Ett syfte var också att utvärdera de långsiktiga effekterna på avkastning och markstrukturen av tidpunkt och metod för bearbetning på lerjord.

## Material och metoder

### Försöksplats

Projektet har genomförts i ett fältförsök, R2-8408, på Lanna försöksstation, Lidköping, Västergötland. Jordarten på försöksplatsen är lera med 44 % ler i matjorden, 57 % ler i alven och 3,4 % mullhalt i matjorden. Vid försökets start var pH 6,8 samt P-AL 4,9, K-AL 13,7, Mg-AL 38,9 och K-HCl 272 mg 100 g<sup>-1</sup> lufttorr jord. Kvävegödsling utfördes med givor normala för grödorna i området och motsvarande förväntad avkastning. Tillförel av fosfor (P) och kalium (K) i rutor med bortförd halm (led B, D, E och F) utfördes enligt beräknad bortförel efter analys av halmen. Några av åren gödslades försöket generellt med P och K. De första åtgärderna enligt försöksplanen utfördes hösten 1997. Åtgärder i försöket redovisas i bilaga 1.

### Försöksplan

I tabell 1 visas ingående led i fältförsöket. Försöket utfördes med 10 led i tre upprepningar, totalt 30 parceller. Effekter på gröda och jord av de 10 leden jämfördes. I led A-D studerades tidig och sen höstplöjning med bortförda eller nedplöjda skörderester (halm). I tabell 2 visas datum för bearbetning i försöksleden åren 1997-2005.

**Tabell 1.** Försöksled A-J i försök R2-8408

Led	Jordbearbetning
A	Tidig höstplöjning (ca 1.9), halmen nedbrukas
B	Tidig höstplöjning (ca 1.9), halmen bortförel
C	Sen höstplöjning (20-25.10), halmen nedbrukas
D	Sen höstplöjning (20-25.10), halmen bortförel
E	Sen höstplöjning (20-25.10), fånggröda (engelskt rajgräs), halmen bortförel
F	Sen höstplöjning (20-25.10), fånggröda (cikoria), halmen bortförel
G	Stubbearbetning ca 1.9, halmen nedbrukas, sen höstplöjning (20-25.10)
H	Stubbearbetning ca 25.9, halmen nedbrukas, sen höstplöjning (20-25.10)
I	Stubbearbetning ca 1.9 o. ca 25.9, halmen nedbrukas, sen höstplöjning (20-25.10)
J	Plöjningsfri odling: stubbearbetning ca 1.9 och ca 25.9, halmen nedbrukas

I försöket ingick två led med fånggrödor, led E engelskt rajgräs (*Lolium perenne* L.) och led F cikoria (*Cichorium intybus* L.). Engelskt rajgräs såddes med 10 kg ha<sup>-1</sup> och sorten Tove. Cikoria såddes med 10 kg ha<sup>-1</sup> och sorten Puma. Dessa led plöjdes sen höst och halmen fördes bort vid skörd. Ledet med cikoria (F) har under försöksåren ej behandlats med herbicider. Övriga led har behandlats med herbicider efter behov och med för området rekommenderade preparat och doser.

**Tabell 2.** Jordbearbetningsåtgärder i försök R2-8408 åren 1997-2005

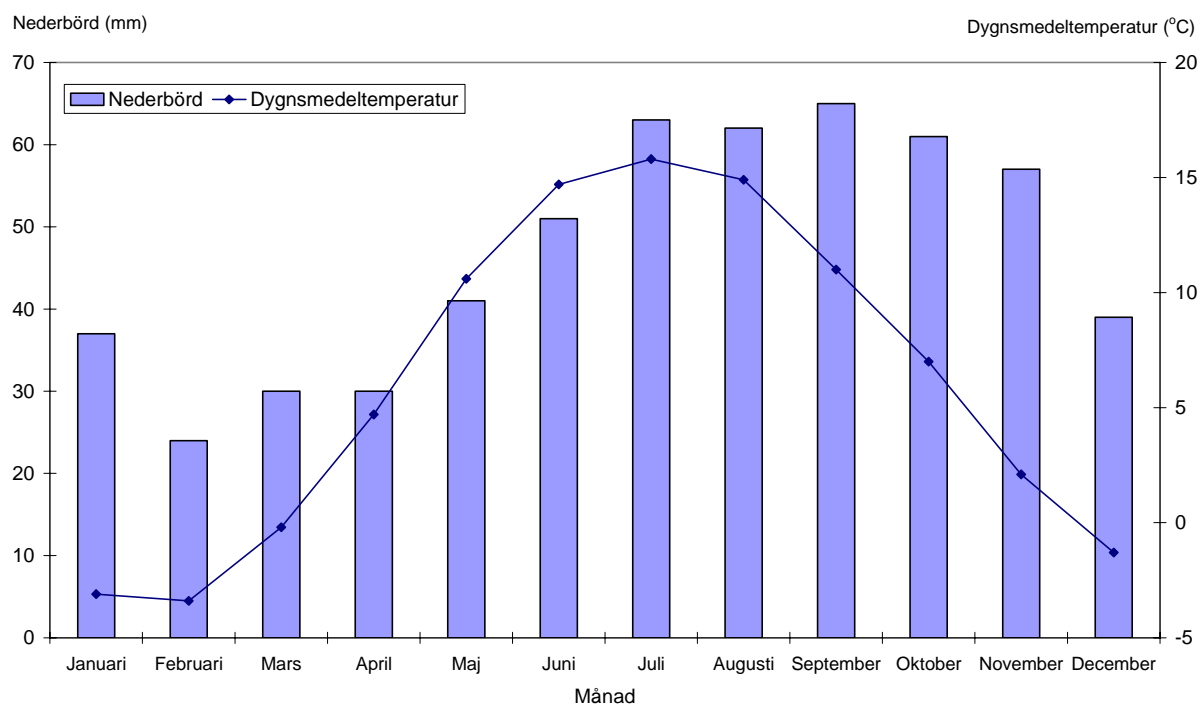
År	Harvning <sup>1</sup>	Sådd	Stubbearbetning	Plöjning
1997	-	-	4.9, 3.10	4.9, 24.10
1998	5.5	5.5	28.9, 14.10	28.9, 11.11
1999	-	3.5	17.9, 7.10	16.9, 27.10
2000	12.4, 2.5 (2+2) <sup>2</sup>	2.5	8.9, 2.10	8.9, 9.11
2001	28.3, 12.5 <sup>3</sup>	12.5	5.9, 8.10	5.9, 25.10
2002	15.4 (3 harvningar)	15.4	2.9, 26.9	2.9, 19.11
2003	22.4 (2-3 harvningar)	22.4	15.9, 6.10	15.9, 7.11
2004	13.4, 17.4	17.4	17.9, 7.10	17.9, 5.11
2005	-	27.4	-	-

<sup>1</sup> Antal harvningar i samband med vårbruket utfördes efter behov.

<sup>2</sup> 70 mm regn mellan första tillfället för harvning och andra tillfället före sådd.

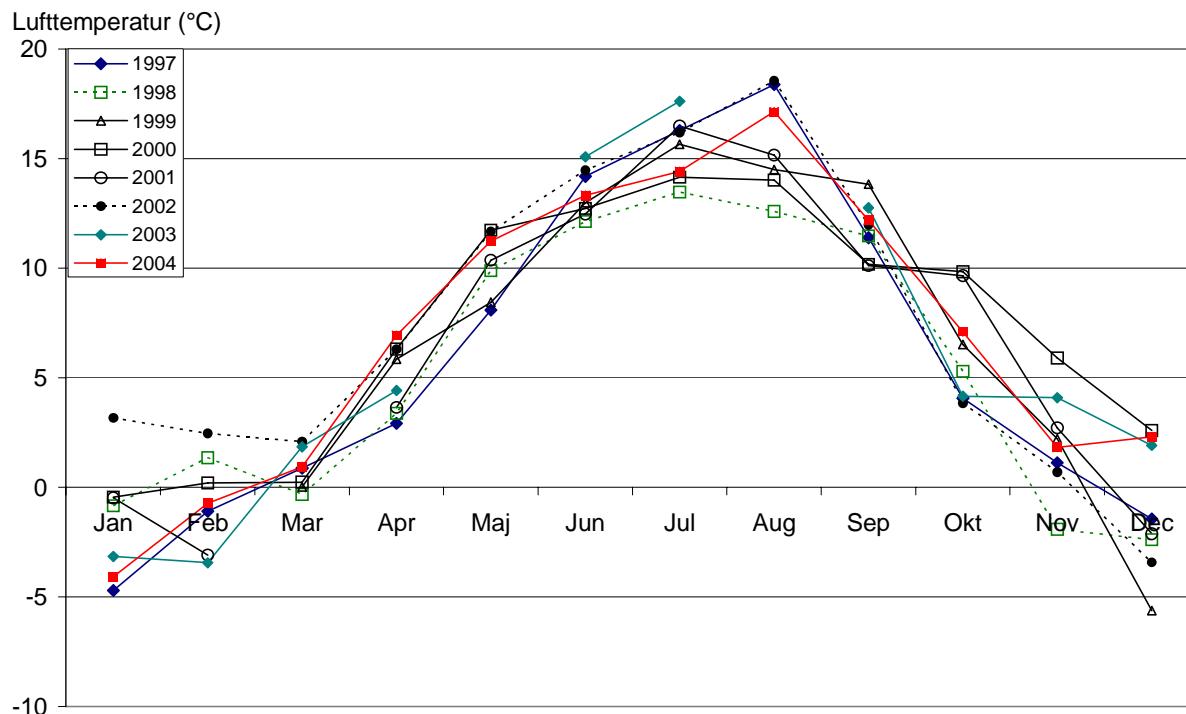
<sup>3</sup> Led J totalt 1 sladdning samt 3 harvningar i vårbruk (sladd och 2 harvningar i övriga).

## Klimat

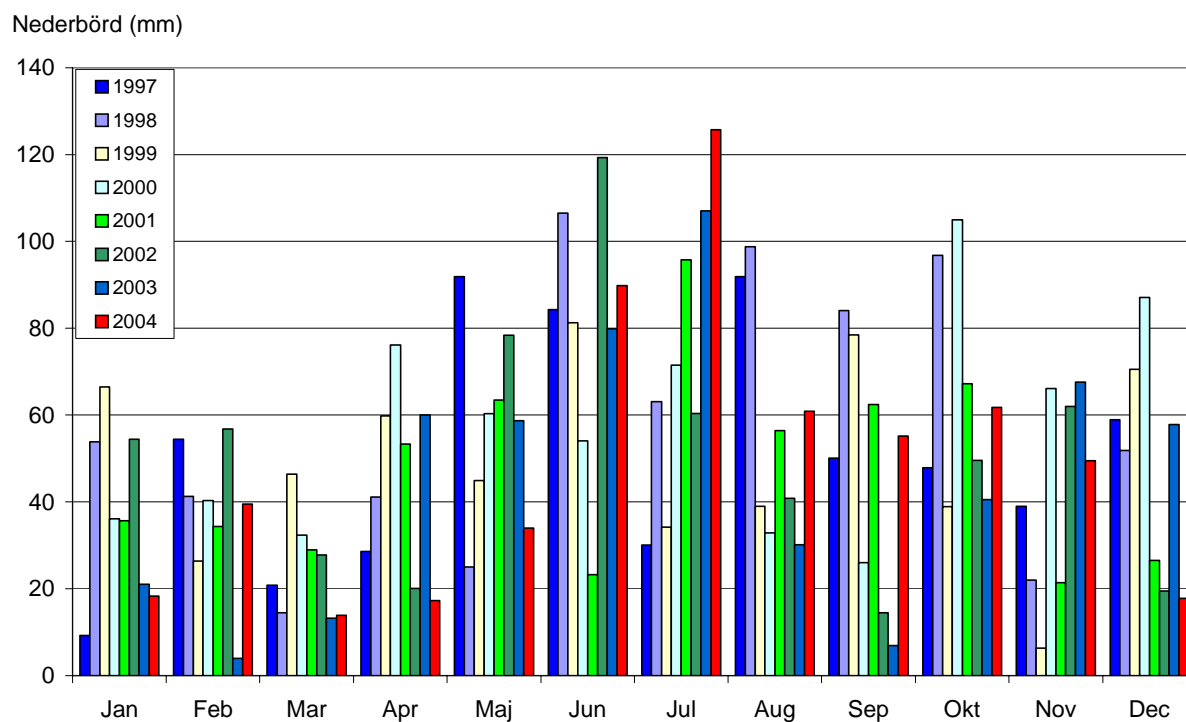


**Figur 1.** Referensnormaler 1961-1990 för Lanna (Alexandersson & Eggertsson Karlström, 2001).

I figur 1 visas referensnormaler 1961-1990 för lufttemperatur (°C) och nederbörd (mm) på Lanna, Lidköping. I figur 2 visas aktuell lufttemperatur på Lanna under projektåren 1997-2004 som månadsmedelvärden. I figur 3 visas aktuell nederbörd projektåren som ackumulerade månadsvärden.



**Figur 2.** Lufttemperatur (°C) som månadsmedel på Lanna, Lidköping, försöksåren 1997-2004.



**Figur 3.** Ackumulerad nederbörd (mm) på Lanna, Lidköping, månadsvis åren 1997-2004.

### **Skörd**

Avkastning bestämdes rutvis genom tröskning av 22 m<sup>2</sup>. Spannmålsavkastningen redovisas vid 15 % vattenhalt. Skördad spannmål analyserades rutvis med avseende på aktuell vattenhalt vid skörd, samt torrsubstanshalt och innehåll av protein med NIT (Infratec<sup>TM</sup>1241 GrainAnalyzer). Grödorna graderades regelbundet under säsongen med avseende på tidpunkter för olika utvecklingsstadier samt vid behov ogräs och sjukdomar. Dessa graderingar redovisas i bilaga 2.

### **Kväve i grödor**

För att beräkna mineralisering av kväve under växtsäsongen lades en småruta utan kvävegödsling ut i varje parcell, en så kallad 0N-ruta. Platsen för respektive 0N-ruta flyttades varje år så att den ej återkom på samma plats med tätare mellanrum än 6 år. I dessa rutor provtogs jord för analys av mineralkväve. Ingen fånggröda (led E och F) odlades i 0N-rutorna.

I varje 0N-ruta utfördes klippningar av spannmålsgrödorna vid fullmognad som helsäd med 0 cm stubbhöjd. Proverna torkades vid 55°C och tröskades sedan för att skilja kärna och halm. Både kärna och halm analyserades på koncentration av totalkväve och totalkol med LECO® CNS-2000 analyser. Analyserna i 0N-rutorna användes vid beräkning av kvävemineralisering under säsongen och vid beräkning av utnyttjandegraden av tillfört gödselkväve. Kvoten mellan kärna och halm beräknades för att appliceras vid skörd av spannmålsgrödor för beräkning av halmmängder. Fånggrödor och ogräs klipptes inför tidig och sen jordbearbetning. Dessa grödprover torkades och analyserades på totalkol och totalkväve med LECO. Vid skörd av spannmål togs prover av halmen ut för analys av totalkväve, totalkol, fosfor samt kalium.

### **Mineralkväve i marken**

Jordprover för analys av mineralkväve (nitrat- och ammoniumkväve) togs ut i samtliga rutor tidigt på våren, vid gulmognad, omedelbart före tidpunkten för den tidiga och den sena jordbearbetningen och i början av december. Både matjord och alv provtogs eftersom kväve som mineraliserats i matjorden mellan provtagningstillfällena kan ha transporterats till djupare jordlager. Varje provpunkt delades in i skikten 0-30, 30-60 och 60-90 cm. Jordproverna togs ut rutvis med provstick väl fördelade över försöksrutan. Den frysta jorden maldes och extraherades med 2 M KCl i jord-vätskeförhållandet 100g:250 ml. Analys av nitrat- och ammoniumkväve gjordes kolorimetriskt med en autoanalytator (TRAACS 800, metod nr ST9002-NH4D och ST9002-NO3D). Mängderna räknades om till kg N ha<sup>-1</sup> med skrymdensiteter uppmätta i jordprofilerna. Vid skörd togs även ledvisa prover ut i 0N-rutorna för analys av mineralkväve.

### **Totalkväve och totalkol i marken**

Vid utläggning av försöket gjordes rutvis bestämning av totalkol och totalkväve i marken i nivån 0-20 cm med LECO® CNS-2000 analyser. Denna analys följdes upp 2003 med provtagning i samma djup och med samma analysförfarande.

### ***Kvävemineralisering under växstsäsongen***

Mängden kväve som mineraliserats under växstsäsongen beräknades från kvävebestämningar av jord och gröda i 0N-rutor samt från mineralkvävebestämning i försöksrutorna tidig vår enligt:

$$\text{Kvävemineralisering (N}_{\min}) = \text{N}_{(\text{kärna+halm vid fullmognad})} + \text{N}_{(\text{rötter } 0,3 * \text{N i ovanjordiskt material})} + \text{N}_{(\text{jord vid fullmognad})} - \text{N}_{(\text{jord tidig vår})}$$

### ***Potentiell kvävemineralisering***

Potentiell kvävemineralisering definierades här som nettomineralisering vid anaerob inkubering under förhållanden med god tillgång på lättlöslig kol och kväve (Stenberg et al., 1998). Den potentiella kvävemineraliseringen bestämdes på jord från nivån 0-20 cm i led A, C och G (plöjda led) och 0-12 cm led J (plöjningsfritt) hösten 2003. Proverna sållades omedelbart i fält genom ett 4 mm såll, frystes snarast och förvarades frysta fram till analys. På dessa prover bestämdes också totalkol och totalkväve LECO® CNS-2000 analyser.

En slurry av 10 g jord och 25 ml avjoniserat vatten inkuberades i Duranflaskor i 40°C i sju dygn. Avluftningen av flaskorna före inkubering var något förenklad jämfört med Stenberg et al. (1998) och skedde enbart genom avluftning med kvävgas. Analys av filtrerat extrakt med avseende på ammoniumkväve gjordes kolorimetriskt (TRAACS 800, metod nr ST9002-NH4D och ST9002-NO3D). Tre upprepningar per jord inkuberades och ammoniummängden vid start analyserades i icke inkuberade filtrerade prov. Genom den anaeroba inkuberingen undveks problem med att hålla olika jordar på konstanta och jämförbara vattenhalter, inkuberingstiden kunde hållas kortare än vid aerob inkubering och nitrifiering samt denitrifiering inhiberades (Stenberg, 1999).

### ***Markfysikaliska mätningar***

Våren 2004, då försöket pågått i sju år, genomfördes mätningar av markfysikaliska parametrar för att analysera hur de olika bearbetningsstrategierna som tillämpats i projektet påverkar markstrukturen på längre sikt. Hypotesen var att återkommande sen plöjning när marken ofta har hög vattenhalt inverkar negativt på markstrukturen på en styv lera. Fyra led valdes ut för dessa mätningar; led A (tidig plöjning), led C (sen plöjning), led G (tidig stubbearbetning och sen plöjning) och led J (plöjningsfritt).

#### *Struktur i såbädd*

En bra såbädd är viktig för att frön ska gro och uppkomsten bli stark och jämn. Möjligheten att få en bra såbädd ökar om jordens bearbetbarhet är bra, d.v.s. att den lätt faller isär i mindre aggregat när den bearbetas. Den långsiktiga effekten av olika plöjningstidpunkter på jordens bearbetbarhet och möjligheten att åstadkomma en bra såbädd undersöktes efter sådd genom karaktärisering av såbädden enligt Kritz (1983). Aggregatstorleksfördelningen i tre olika skikt av såbädden bestämdes genom sållning i tre fraktioner. Sådjupet mättes liksom vattenhalt i såbädd och såbotten.

#### *Genomsläpplighet*

Att jorden dränerar tillfredsställande är viktig för att undvika att en ansamling av vatten i profilen skapar syrebrist som skadar rötterna och orsakar gasformiga förluster av kväve via denitrifikation. Effekten av de olika bearbetningsstrategierna på markens infiltrationsförmåga undersöktes genom mätning i fält av den mättade vertikala konduktiviteten ( $K_{\text{sat}}$ ). Två mätningar gjordes per ruta. En stålcylander med diametern 40 cm slogs ner 10 cm i en preparerad

horisontell yta. Ytan preparerades på 19 cm djup i led A, C och J (för mätning i plogsulan) och på 10 cm djup i led J (för mätning under kultiveringsdjup). Vatten fylldes på till 10 cm vattenpelare ovanför den preparerade markytan. Vattenpelaren hölls konstant mellan mätningarna. Mätning av vattenytans sjunkhastighet över en 10-minutersperiod gjordes efter att marken vattenmättats under 60 minuter.

#### *Penetrationsmotstånd*

Penetrationsmotståndet i marken mättes med en Eijkelkamp Penetrologger (Art no. 06.15). I varje försöksruta togs 10 stick ner till 50 cm djup. Konen som användes hade diametern 10 mm.

#### *Volymvikt, vattenhållande förmåga och ekvivalentpordiameter*

Markens torra skrymdensitet bestämdes för skiktet 12-17 cm djup i led A, C och G och skikten 5-10 cm respektive 9-13 cm djup i led J. Tre små cylindrar med diametern 7,2 cm och höjden 5 cm togs ut rutvis på respektive djup. Bestämning av skrymdensitet gjordes på lab.

Samma cylindrar med jord som användes vid bestämning av torr skrymdensitet användes innan de torkades också för bestämning av markens vattenhållande förmåga och porstorleksfördelning. Vattenhalten mättes vid 1 meter vattenpelare, 6 meter vattenpelare och vid vissningsgränsen, 150 meter vattenpelare.

#### *Aggregatstabilitet*

Aggregatstabiliteten i centrala matjorden (5-12 cm) undersöktes med två olika metoder. Dels undersöktes stabiliteten i vatten och dels stabiliteten på torkade aggregat.

För bestämning av aggregatstabiliteten i vatten mättes mängden lätt dispergerat ler (readily dispersible clay) enligt Czyz et al. (2002). Från varje ruta användes 5 delprov med 8 aggregat i varje. För att skapa en jämn vattenhalt i och mellan aggregaten lades de en vecka på porösa sandblock med ett avförande tryck på 5 cm vattenpelare. De lades sedan i plastflaskor med avjoniserat vatten som skakades lätt. Efter att provet sedimenterat i 24 timmar mättes turbiditeten i vattenfasen i en Hach 2100N turbidimeter (Enhet: NTU (Nephelometric Turbidity Units)). Mängden suspenderat material bestämdes för ett antal prover genom vägning efter torkning i 105°C. Med hjälp av dessa kunde sedan uppmätta NTU-värden för övriga prover räknas om till mängd suspenderat material med hjälp av denna kalibrering. Mängden suspenderat material presenteras i förhållande till de invägda aggregatens vikt.

Aggregatens mekaniska hållfasthet på torkade aggregat bestämdes enligt Dexter & Kroesbergen (1985), genom mätning av den kraft som går åt för att krossa aggregaten. Detta gjordes på aggregat som torkats i en vecka i torkrum med rumstemperatur.

#### *Statistisk bearbetning*

För statistisk analys av ledskillnader i projektet användes GLM-proceduren i SAS System 8.02 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

## Resultat och diskussion

### Skörd

I tabell 3 redovisas skördar i försöket till och med år 2005. Skörden har inte varierat mycket mellan leden enskilda år, d.v.s. skillnaderna har sällan varit statistiskt signifikanta, men har tenderat att vara högre i tidigt bearbetade led än i sent bearbetade led. Denna skillnad i avkastning har hittills varit konsekvent och också ökat de senare åren. En orsak skulle kunna vara att marken i de sent bearbetade leden har fått sämre struktur på grund av ogynnsamma förhållanden vid bearbetning på senhösten. Vid sen höstbearbetning kan också behovet av ogräsbekämpning öka.

**Tabell 3.** Avkastning i försök R2-8408, Lanna, Västergötland, (kg ha<sup>-1</sup> och relativtal) 1998-2005

Led	Jordbearbetning	Havre 1998	Vårvete 1999	Vårkorn 2000	Havre 2001	Vårvete 2002	Vårkorn 2003	Havre 2004	Vårvete 2005	Medel 1998- 2005 <sup>1</sup>
A	Tidig höstplöjning (ca 1.9), halmen nedbrukas	4530 =100	4580 =100	3850 =100	4810 =100	4490 =100	2800= 100	5120= 100	5570= 100	100
B	Tidig höstplöjning (ca 1.9), halmen bortföres	91	107	110	99	96	103	87	101	99
C	Sen höstplöjning (20-25.10), halmen nedbrukas	101	94	90	87	82	112	86	69	87
D	Sen höstplöjning (20-25.10), halmen bortföres	90	110	106	93	90	101	85	74	93
E	Sen höstplöjning (20-25.10), fånggröda (eng. rajgräs), halmen bortföres	97	104	106	90	90	122	72	91	93
F	Sen höstplöjning (20-25.10), fånggröda (cikoria), halmen bortföres	99	96	97	88	88	71	63	84	88
G	Stubbearbetning ca 1.9, halmen nedbrukas, sen höstplöjning (20-25.10)	94	102	102	92	94	105	84	92	94
H	Stubbearbetning ca 25.9, halmen nedbrukas, sen höstplöjning (20-25.10)	98	100	97	91	92	108	91	91	94
I	Stubbearbetning ca 1.9 o. ca 25.9, halmen nedbrukas, sen höstplöjning (20-25.10)	91	106	109	93	96	112	79	95	96
J	Plöjningsfri odling: stubbearbetning ca 1.9 och ca 25.9, halmen nedbrukas	99	97	101	92	96	129	103	81	96
Sign.		n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	***	**	n.s.	n.s.

<sup>1</sup> Avkastning 2003 ej med i beräknat medelvärde för försöket. Sadelgallmygga som konstaterats finnas i riklig förekomst på Lanna 2003 orsakade troligen missväxten i försöket.

De första åren var avkastningen högre i led där halmen förts bort än i led där den plöjts ner. Denna effekt observerades endast i de sent plöjda leden som inte stubbearbetats före plöjning. Generellt hade ledet med rajgräs som fånggröda högre skörd än ledet med cikoria. Man kunde också se en tendens till att led med mindre mängder mineralkväve i marken tidig vår också avkastade mindre.



**Kväve i grödor**

Mängden kväve i spannmålsgrödan vid gulmognad samt kväve i fånggrödor, grodd spillsäd och ogräs vid den tidiga och den sena bearbetningen redovisas i tabell 4. I de sent plöjda leden utan föregående stubbearbetning har en del ogräs och spillsäd vuxit och tagit upp kväve under hösten. I det plöjningsfria ledet har mängden kväve i ogräs och spillsäd under tidig höst varit större än i fånggrödorna. Upptag av kväve i kärna och i halm följde avkastningen i stort (tabell 3) där led F med cikoria hade lägst upptag av kväve i spannmålsgrödan. Kväveupptaget var störst i det plöjningsfria ledet och också högre i tidigt plöjda än sent plöjda led utan föregående stubbearbetning. Klippningar av ovanjordiskt växtmaterial inför tidig jordbearbetning visade på endast några kg kväve per ha. Dessa klippningar visade på större ogräsmängd i plöjningsfritt led (J) jämfört med plöjda led och på kvävemängd i nära nivå med den i led fånggrödor. Klippningar sen höst visade på mycket låga mängder kväve i ovanjordiskt växtmaterial.

**Tabell 4.** Kväve i grödan (helsäd) och i fånggrödor och ogräs (kg N ha<sup>-1</sup>) i försöksserie R2-8408 som medel av år 1998-2004 respektive 1997-2004. Siffror som åtföljs av olika bokstav är signifikant skilda åt (95 %-nivån) (A= Tidig höstplöjning, halmen nedbrukas, B= Tidig höstplöjning, halmen bortföres, C= Sen höstplöjning, halmen nedbrukas, D= Sen höstplöjning, halmen bortföres, E= Sen höstplöjning, fånggröda (eng. rajgräs), halmen bortföres, F= Sen höstplöjning (20-25.10), fånggröda (cikoria), halmen bortföres, G= Stubbearbetning ca 1.9, halmen nedbrukas, sen höstplöjning, H= Stubbearbetning ca 25.9, halmen nedbrukas, sen höstplöjning (20-25.10), I= Stubbearbetning ca 1.9 och ca 25.9, halmen nedbrukas, sen höstplöjning, och J= Plöjningsfri odling: stubbearbetning ca 1.9 och ca 25.9, halmen nedbrukas)

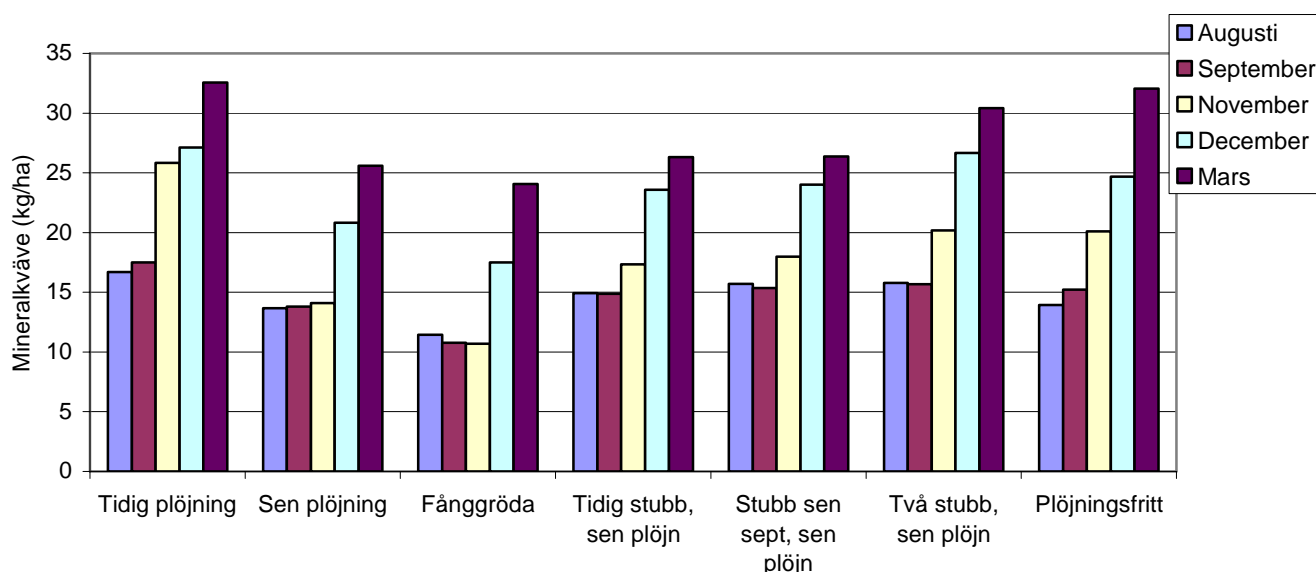
Led	Fånggrödor och ogräs		Helsäd ordinarie kvävegödslande			Helsäd 0N-rutor		
	Sept.	Nov.	Kärna	Halm	Kärna+halm	Kärna	Halm	Kärna+halm
A	2,15	0,04	62,3	19,6	81,9	21,9	8,2	30,1
B	0,86	0,08	63,7	20,3	84,0	23,6	8,9	32,5
C	1,45	1,38	56,9	18,5	75,4	16,6	6,7	23,3
D	2,29	1,99	59,6	17,8	77,4	19,1	6,9	26,0
E	7,91	5,22	58,9	16,6	75,6	20,9	7,4	28,4
F	6,33	4,32	51,9	15,0	66,8	16,6	7,4	23,9
G	1,42	0,81	61,2	20,1	81,3	19,0	7,3	26,3
H	1,35	0,24	60,5	20,0	80,5	19,4	7,7	27,1
I	2,34	0,19	62,1	20,5	82,6	21,4	7,6	29,0
J	5,67	0,23	66,2	23,1	89,3	21,2	7,6	28,7

I det plöjningsfria ledet har kvävet i mineralgödseln utnyttjats bättre än i övriga led (tabell 5). Sämst har det tillförda kvävet utnyttjats i leden med fånggröda speciellt i ledet med cikoria. Cikorialedet kunde inte herbicidbehandlas under projektåren varför riklig ogräsförekomst samt konkurrens från cikoria troligen orsakat skördeminskning samt sämre kväveutnyttjande. Trots en tendens till lägre avkastning i sent höstplöjda led jämfört med tidigt plöjda kunde vi inte påvisa någon skillnad i kväveutnyttjande.

**Tabell 5.** Utnyttjandegraden (%) i spannmålsgrödan av kvävet tillfört via handelsgödsel år 1998-2004 samt som medel för hela perioden ( Beräknat som (N i gröda i gödlat led - N i gröda i ogödlat led)/N-giva handelsgödsel). Siffror som åtföljs av olika bokstav är signifikant skilda åt (95 %-nivån) (A=Tidig höstplöjning, halmen nedbrukas, B=Tidig höstplöjning, halmen bortföres, C=Sen höstplöjning, halmen nedbrukas, D=Sen höstplöjning, halmen bortföres, E=Sen höstplöjning, fånggröda (eng. rajgräs), halmen bortföres, F=Sen höstplöjning (20-25.10), fånggröda (cikoria), halmen bortföres, G=Stubbearbetning ca 1.9, halmen nedbrukas, sen höstplöjning, H=Stubbearbetning ca 25.9, halmen nedbrukas, sen höstplöjning (20-25.10), I=Stubbearbetning ca 1.9 och ca 25.9, halmen nedbrukas, sen höstplöjning, och J=Plöjningsfri odling: stubbearbetning ca 1.9 och ca 25.9, halmen nedbrukas)

Led	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Medel
A	29,8	52,1	41,8	51,7	67,3	43,3ab	41,1bc	46,7abc
B	41,8	52,0	38,7	47,5	64,1	40,9b	29,2cd	44,9bc
C	37,4	44,2	35,5	51,7	51,1	54,1a	57,2a	47,3ab
D	30,6	58,3	41,7	49,9	58,0	43,0ab	46,4ab	46,8abc
E	31,8	48,5	35,5	42,1	55,6	45,6ab	25,1d	40,6cd
F	40,8	45,6	33,6	48,0	49,8	23,5c	25,0d	38,0d
G	31,1	52,9	38,1	52,4	61,1	45,1ab	49,8ab	47,2abc
H	41,9	52,6	37,4	49,5	59,6	46,7ab	49,1ab	48,1ab
I	28,2	56,2	48,6	52,2	61,2	46,6ab	29,5cd	46,1bc
J	36,9	50,6	46,4	54,1	72,2	54,3a	55,1a	52,8a

### Mineralkväve i marken



**Figur 4.** Mineralkväve ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) i marken i 0-90 cm i medeltal från tidpunkten för tidig höstplöjning 1997 till och med december 2004 vid respektive provtagningstidpunkt i de olika bearbetningsleden i försök R2-8408.

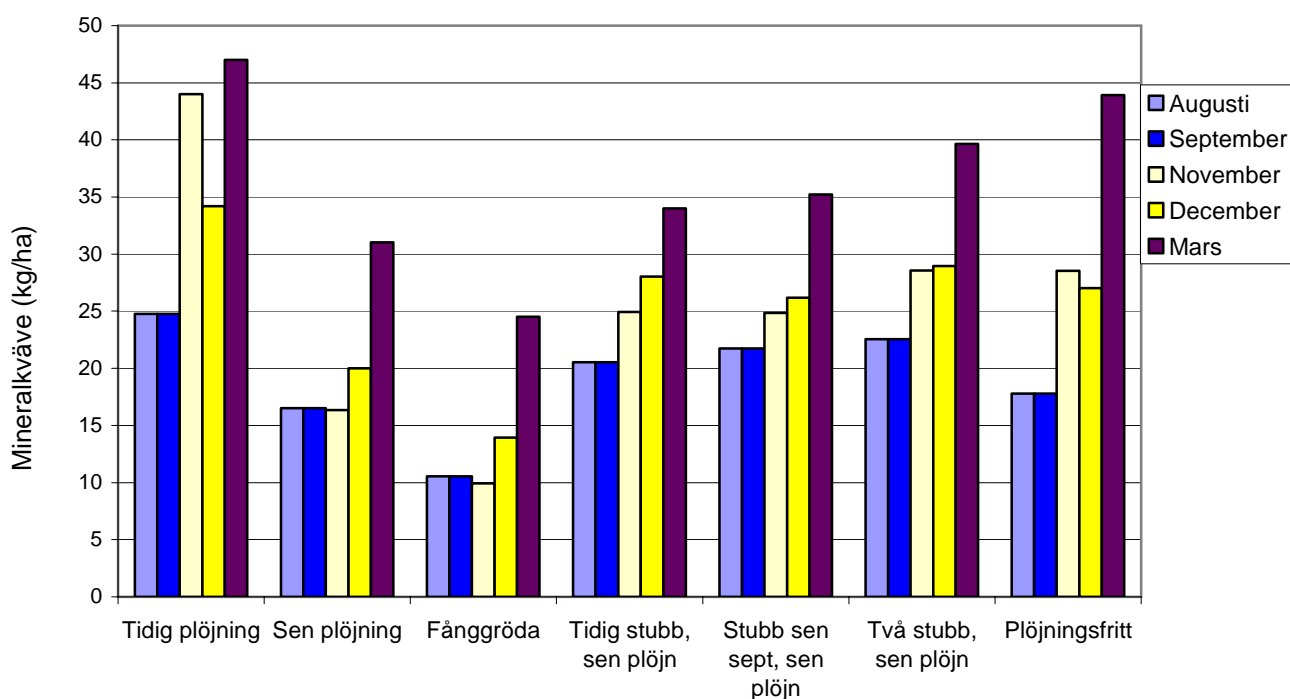
Skillnaderna i innehåll av mineralkväve i markprofilen 0-90 cm mellan tidigt (A och B) och sent (C och D) plöjda led har i medeltal för projektperioden i november varit 12, i december 6 och i mars  $7 \text{ kg N ha}^{-1}$  (figur 4 och 5). De lägsta innehållen av mineralkväve har över alla provtagningstillfällen uppmätts i leden med fånggröda. Detta visar att tidig bearbetning har gett högre ackumulering av mineralkväve under hösten än sen bearbetning. I de sent bear-

betade leden har en stor del av det ackumulerade kvävet som påvisats på våren redan mineraliserats före den sena jordprovtagningen i december. Mängden mineralkväve i marken under våren var överlag i nivå med och till och med högre än i december. I bilaga 3 redovisas mineralkväve i nivåerna 0-30, 30-60, 60-90 samt 0-90 cm.

Stubbearbetningen i led G, H och I har stimulerat kvävemineraliseringen jämfört med led C med enbart sen plöjning och halmen nedbrukad. Om stubbearbetningen utförts tidigt eller sent tycks dock inte ha spelat någon roll. Däremot har stubbearbetningen två gånger i led I gett upphov till högre mineralkväveinnehåll i marken under sen höst och vår än där enbart en stubbearbetning genomförts (figur 4).

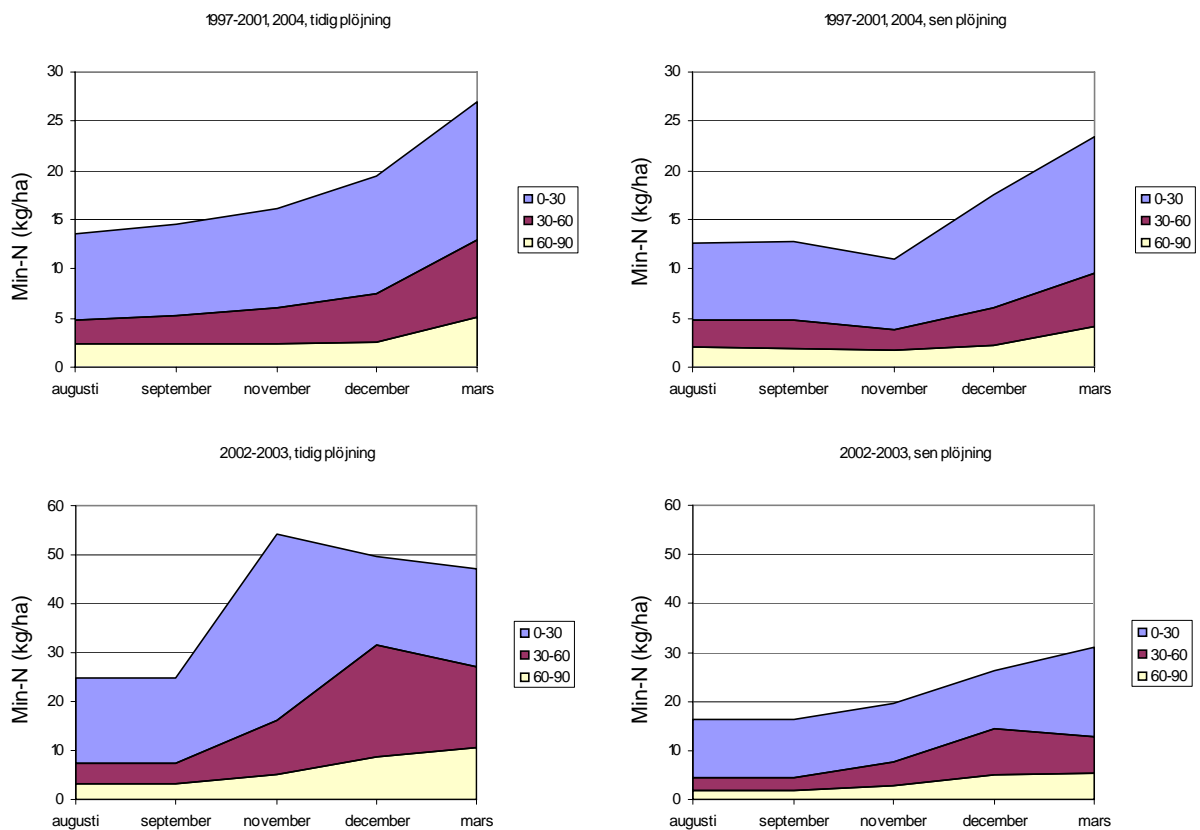
Insådd av fånggrödor har minskat ansamlingen av mineralkväve i profilen under senhösten (figur 4). Cikorian tycks ha varit effektivare än det engelska rajgräset när det gäller att ta upp kväve under hösten men där har säkerligen ogräsen också haft en stor betydelse.

Mineralkvävemängderna i marken under höstarna var relaterade till klimatet. Under samtliga år fram till och med år 2001 var höstarna milda och fuktiga och med små skillnader i mineralkväve i marken mellan tidig och sen plöjning. Höstarna 2002 och 2003 var däremot torra. Dessa torra höstar var nivåerna av mineralkväve i marken betydligt högre efter tidig plöjning än i led som plöjdes sen höst (figur 5). Figur 6 visar skillnaderna mellan de blöta och de torra höstarna. Resultaten från dessa höstar antyder att mineraliseringen på en lerjord under hösten mycket väl kan vara i nivå med de lätta jordarna men att de dominerande förlustvägarna för kväve är andra än utlakning. Troligen har vi normalblöta höstar förluster av kväve genom gasemissioner i form av  $N_2$  och  $N_2O$  orsakade av denitrifikation och nitrifikation i marken. Fördelningen av mineralkväve i profilen (figur 6) visar inte på någon transport av mineralkväve nedåt i profilen motsvarande det man kan se på lätta jordar. Detta styrker att våra resultat indikerar kväveförluster till atmosfären i högre grad än till dräneringsvattnet.

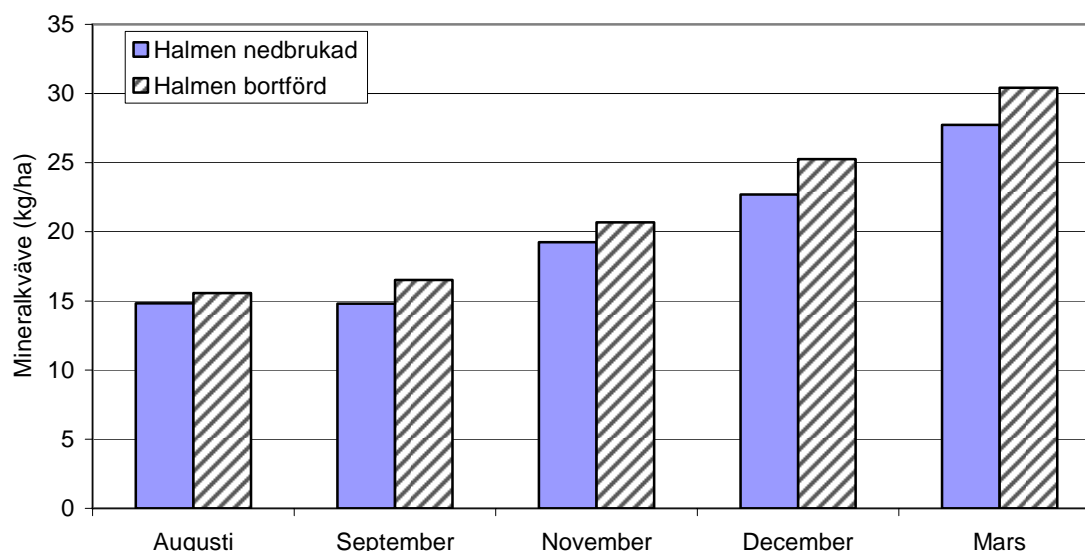


**Figur 5.** Mineralkväve ( $kg N ha^{-1}$ ) i marken i 0-90 cm i medeltal augusti 2002 till våren 2004 i försök R2-8408, Lanna.

Nedplöjning av halm har gett upphov till minskade mängder mineralkväve i marken (0-90 cm) under hösten (figur 7). Skillnaden i mineralkväve var upp till 10 % vid respektive tidpunkt. Detta tyder på att kväveimmobiliseringen har överstigit kvävemineraliseringen vid halmens nedbrytning både när halmen har brukats ner tidigt och när den brukats ner sent. Skillnaden har kvarstått vid vårprovtagningen. I försök på lätt jord i Halland (Myrbeck, 2005) var motsvarande effekt av halmnedbrukning eller bortförsl av halm begränsad till de första åren i studien medan senare års mätningar i studien visade på mer tillgängligt mineralkväve i led där halmen brukats ner.



**Figur 6.** Mineralkvävet ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) fördelning i markprofilen under de blöta åren (normalår), 1998-2001, samt 2004 och under de torrare åren, 2002-2003, efter tidig och sen plöjning i R2-8408, Lanna. Markprofilen är uppdelad i skikten 0-30, 30-60 och 60-90 cm djup. Observera att skalorna på y-axeln skiljer sig åt mellan de två tidsperioderna samt att x-axeln ej är skalening.



**Figur 7.** Mineralkväve ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) i marken i 0-90 cm i medeltal från september 1997 till december 2004 vid respektive provtagningstidpunkt i de två olika halmbehandlingarna (halmen nedbrukad = medeltal av led A+C, halmen bortförd = medeltal av led B+D) i försök R2-8408, Lanna.

### Totalkväve och totalkol i marken

Provtagning och analys av totalkol och totalkväve i matjorden i nivån 0-20 cm (tabell 6) för jämförelse mellan startår och efter 6 år visade inte på några signifikanta skillnader utom i kolhalt vid försökets start. I alla fall utom ett hade koncentrationerna av både kol och kväve minskat. Vid provtagning av led A, C, G och J som underlag för utvärdering av analys av potentiell kväve mineralisering var det signifikant mer kol i led J än i led C. Led J har brukats plöjningsfritt under projektperioden och där provtogs jord ner till bearbetningsdjup.

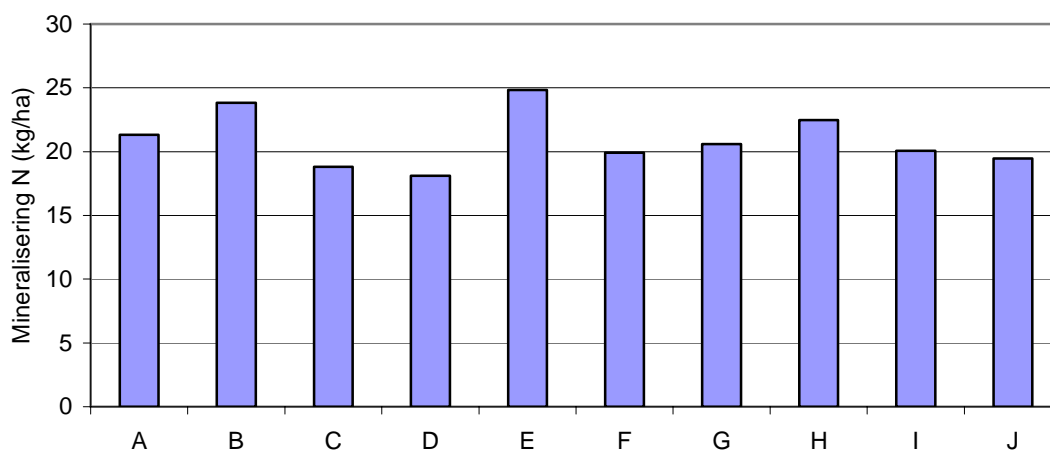
**Tabell 6.** Totalkol och totalkväve (% av ts) i marken i nivån 0-20 cm i försök R2-8408 vid försökets start våren 1997 (C97=totalkol 1997, N97=totalkväve 1997), våren 2003 (C03=totalkol 2003, N03=totalkväve 2003) samt i 0-20 cm i led A, C och G (plöjda led) och 0-12 cm led J hösten 2003 på prover uttagna för bestämning av potentiell kväve mineralisering (Ctot och Ntot)

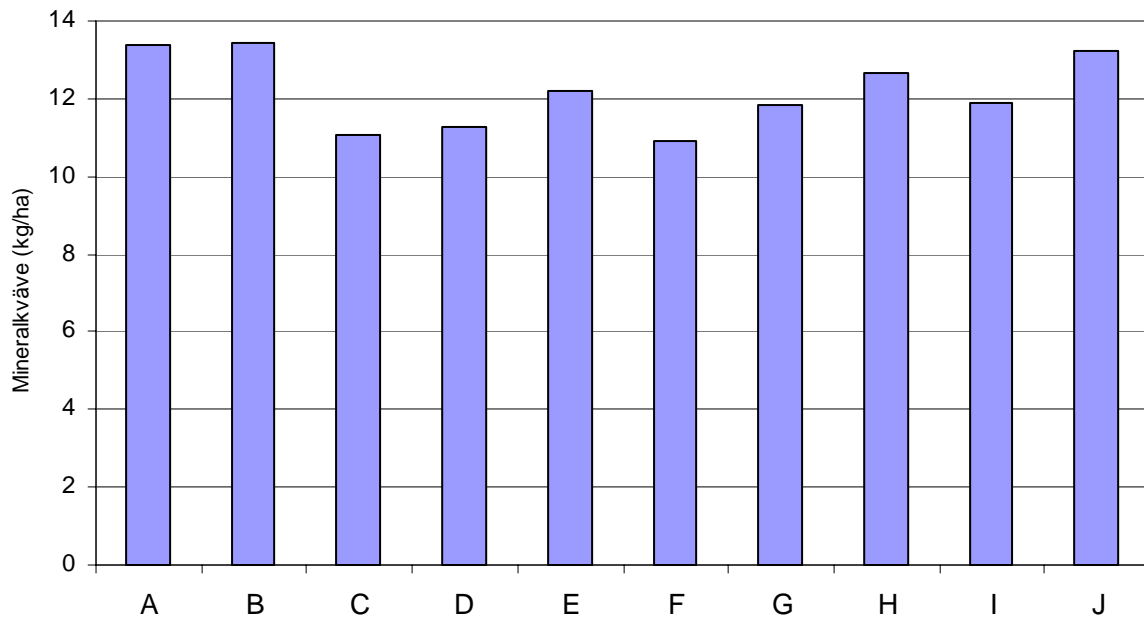
Led	C97	N97	C03	N03	Cdiff	Ndiff	Cdiff %	Ndiff %	Ctot	Ntot
A	2,09	0,18	1,93	0,18	-0,158	-0,006	-0,077	-0,037	2,14ab	0,18
B	2,11	0,18	1,96	0,18	-0,145	-0,003	-0,071	-0,020		
C	1,85	0,16	1,74	0,16	-0,106	-0,003	-0,054	-0,018	1,95a	0,14
D	2,28	0,20	1,98	0,18	-0,296	-0,014	-0,128	-0,070		
E	2,07	0,18	1,92	0,17	-0,150	-0,003	-0,073	-0,020		
F	2,09	0,18	1,82	0,16	-0,269	-0,013	-0,133	-0,079		
G	2,12	0,18	2,00	0,18	-0,125	-0,002	-0,059	-0,012	2,14ab	0,18
H	2,14	0,18	1,84	0,17	-0,299	-0,017	-0,138	-0,088		
I	2,31	0,20	2,16	0,20	-0,148	0,001	-0,063	0,004		
J	2,20	0,19	2,02	0,19	-0,181	-0,005	-0,084	-0,026	2,32b	0,20
Sign.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	p=0,07

**Kvävemineralisering under växtsäsongen****Tabell 7.** Nettomineralisering (kg N ha<sup>-1</sup>) under växtsäsongen 1998-2004 i R2-8408, Lanna. Mineraliseringen är beräknad från innehållet av mineralkväve i marken och totalkväve i gröda

År/Led	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Sign.
1998	23,5	20,3	20,8	27,1	21,1	22,4	24,0	20,1	27,2	21,5	n.s.
1999	26,3	28,5	26,5	22,1	28,5	25,7	32,5	25,6	25,0	25,4	n.s.
2000	15,9	22,5	16,5	14,3	16,4	18,4	15,7	20,1	12,9	20,4	n.s.
2001	24,4	29,7	14,7	22,9	29,5	17,1	24,0	24,3	23,6	19,1	n.s.
2002	1,4	3,2	6,7	3,7	8,5	11,2	5,2	9,1	2,3	4,9	n.s.
2003	15,6	18,4	10,1	12,8	30,1	20,1	18,3	16,2	14,7	13,1	n.s.
2004	42,1	44,1	36,4	24,0	39,8	24,4	24,5	42,0	34,7	31,9	n.s.
<b>Medel</b>	<b>21,3</b>	<b>23,8</b>	<b>18,8</b>	<b>18,1</b>	<b>24,8</b>	<b>19,9</b>	<b>20,6</b>	<b>22,5</b>	<b>20,1</b>	<b>19,5</b>	n.s.

Nettomineraliseringen under växtsäsongen var högst i led E där engelskt rajgräs plöjdes ner varje år. Man kan också se att nettomineraliseringen i detta led ökade under åren relativt övriga led (tabell 7). Det kan vara en effekt av den grönmassa i form av fånggröda som plöjts ner. Cikorian i led F ser inte ut att ha haft samma effekt. Cikorian växte ganska dåligt flera av åren och inte gett samma mängd grönmassa som det engelska rajgräset (tabell 4). I genomsnitt under åren 1998-2004 (figur 8) var nettomineraliseringen under växtsäsongen ett par kilo högre i de led som plöjdes sent än i de som plöjdes tidigt. I figur 9 visas mineralkväve i 0-90 cm i 0N-rutorna vid gulmognad.

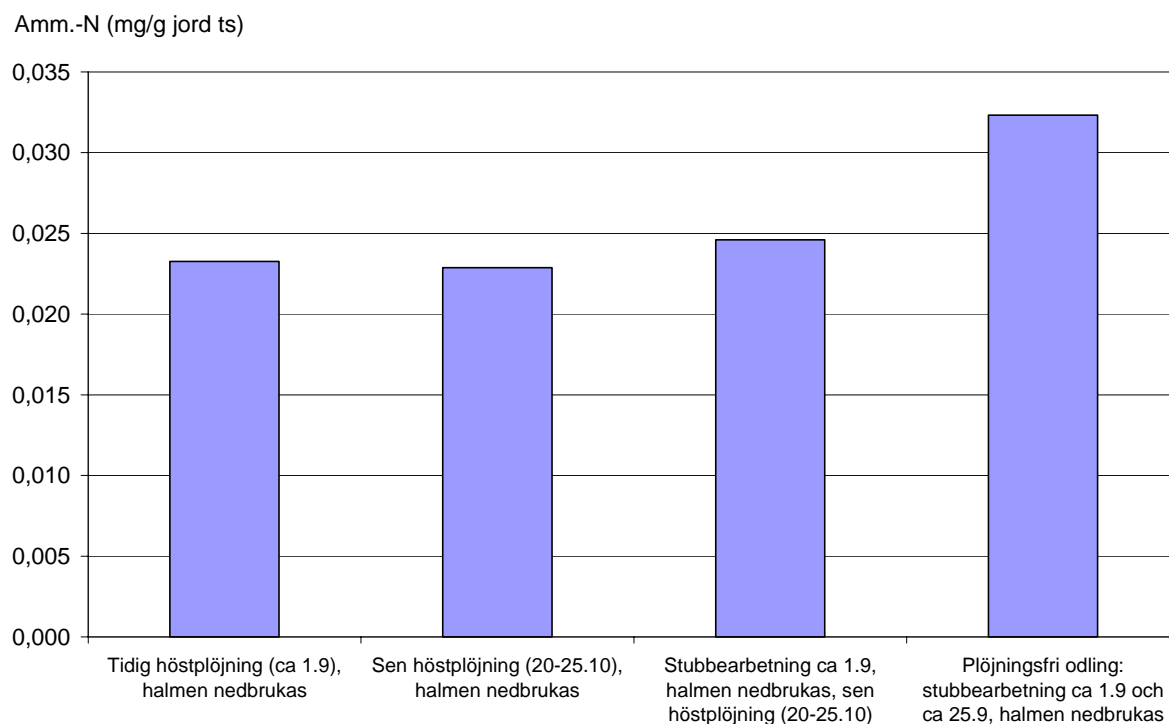
**Figur 8.** Nettomineralisering (kg N ha<sup>-1</sup>) under växtsäsongen som ett medel för år 1998-2004 i försök R2-8408, Lanna. Mineraliseringen är beräknad från innehållet av mineralkväve i marken och totalkväve i gröda.



**Figur 9.** Mineralkväve ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) i marken i 0-90 cm i 0N-rutor i augusti (grödans gulmognad) i medeltal från 1998 till 2004 i försök R2-8408, Lanna.

### *Potentiell kvävemineralisering*

Potentiell kvävemineralisering ( $\text{mg ammonium-N (g ts jord)}^{-1}$ ) var cirka 0,02 mg högre i led J än i övriga led, dock ej signifikant ( $p=0,0743$ ) (figur 10). I alla led som provtogs för denna analys brukades halmen ned vid jordbearbetning. I ett antal studier både i Sverige och i andra länder (se t.ex. Comia et al., 1994; Stenberg, 1998; Stenberg et al., 2000) har öknings av mullhalt påvisats i det markskikt som bearbetas vid tillämpning av reducerad bearbetning då ovanjordiska växtrester endast blandas in ned till bearbetningsdjup. Så även i detta försök (tabell 6) där kolhalten var högst i led J vid provtagningen hösten 2003 där jord ned till bearbetningsdjup provtogs. En högre potentiell kvävemineralisering i matjorden inom bearbetningsdjup i led J än i övriga led var därför väntad.



**Figur 10.** Potentiell kväve mineralisering (mg ammonium-N (g ts jord)<sup>-1</sup>) hösten 2003 i led A, C, G och J i försök R2-8408, Lanna.

### Markfysikaliska mätningar

#### Struktur i såbädd

Aggregatstorleksfördelningen visas i tabell 8, såbäddsdjup och ojämnheter i markyta och såbotten i tabell 9 och vattenhalten i såbädd och såbotten i tabell 10. Vi fann inga nämnvärda skillnader i såbäddens egenskaper beroende på bearbetningsmetod. Sett till hela såbädden (skikt 1-3 i tabell 8) var fördelningen i samtliga led ungefär liknande med avseende på andelen aggregat i de tre olika fraktionerna. Också såbäddsdjupet samt ojämnheter i markyta och såbotten var ungefär densamma i samtliga led. Vattenhalten i såbädden var något högre i det tidigt plöjda ledet än i de övriga. Däremot skilde sig inte vattenhalten i såbotten mellan leden.

**Tabell 8.** Andel aggregat (%) i storleksfraktionerna <2, 2-5 och >5 mm i tre olika skikt i såbädden samt i hela såbädden i R2-8408, Lanna. Undersökningarna utfördes våren 2004

Skikt	Fraktion, diameter (mm)	Andel aggregat (%)			
		A	C	G	J
Skikt 1	<2	26,7	25,3	21,1	28,1
	2-5	29,1	34,0	33,2	32,6
	>5	44,1	40,7	45,7	39,3
Skikt 2	<2	41,8	47,6	40,1	36,7
	2-5	28,5	33,8	33,1	26,9
	>5	29,6	18,6	26,7	36,4
Skikt 3	<2	51,9	50,9	50,7	56,4
	2-5	33,8	34,1	32,4	26,6
	>5	14,3	15,0	16,9	16,9
Skikt 1-3	<2	40,7	42,0	40,1	41,8
	2-5	31,2	33,4	32,5	28,4
	>5	28,1	24,7	27,4	29,8



**Tabell 9.** Såbäddsdjup samt ojämnheter i markyta och såbotten i försök R2-8408, Lanna. Undersökningarna utfördes våren 2004

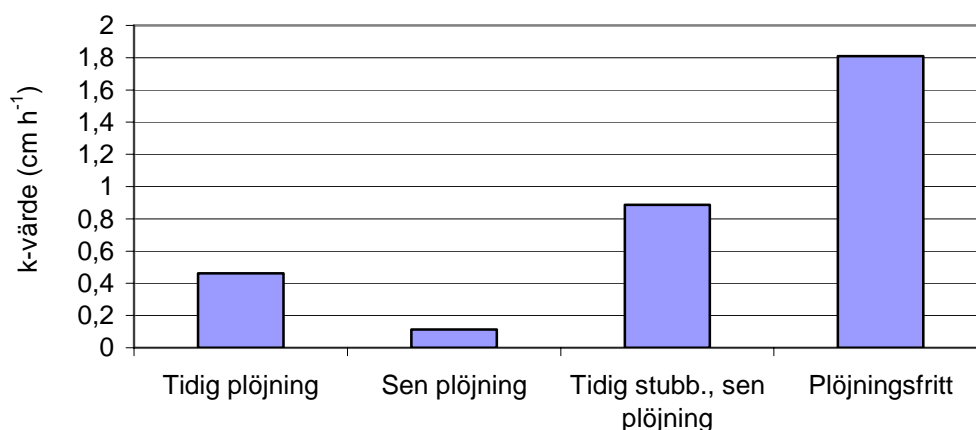
Led	Ojämnheter i markytan (mm)	Ojämnheter i såbotten (mm)	Såbäddsdjup (cm)
A	35,3	33,3	4,1
C	36,7	30,7	3,1
G	32,3	32,0	3,6
J	35,7	21,7	3,5

**Tabell 10.** Vattenhalt (viktsprocent; vikt vatten/vikt torr jord) i såbädd respektive såbotten i försök R2-8408, Lanna. Undersökningarna utfördes våren 2004

Led	Såbädd	Såbotten
A	11,5a	21,1
C	8,9b	21,5
G	11,0a	21,2
J	10,7a	23,1

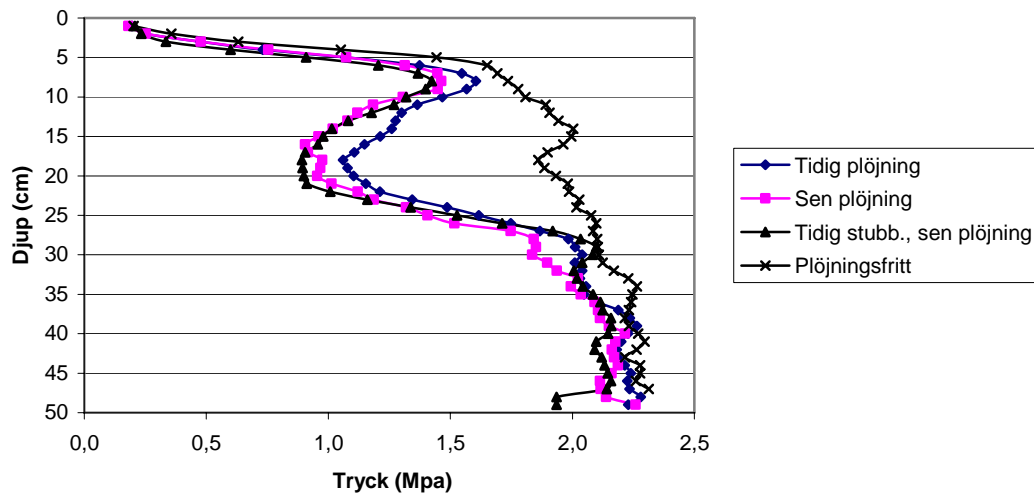
### Genomsläpplighet

Infiltrationshastigheten skiljde sig inte signifikant åt mellan de olika leden. Figur 11 visar dock att medelvärdet för infiltrationen i det plöjningsfria ledet var mer än dubbelt så stort som i de plöjda leden. Ledet som plöjdes tidigt hade något högre infiltration än det som plöjdes sent.

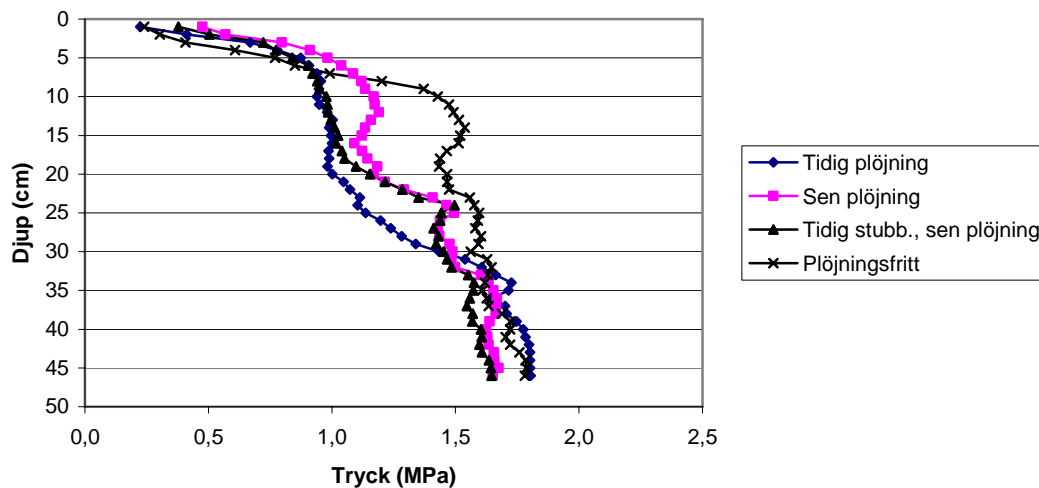
**Figur 11.** Mättad infiltration (cm h<sup>-1</sup>) 2004 i försök R2-8408, Lanna.

### Penetrationsmotstånd

I figur 12 och 13 visas penetrationsmotståndet i marken vid två olika tillfällen; efter sådd i april 2004 (figur 12) respektive efter skörd i september 2005 (figur 13). Motståndet registrerades ner till 50 cm djup. Vid båda tillfällena var penetrationsmotståndet i skiktet 10-25 cm högre i den plöjningsfria odlingen än i plöjda led. I september var motståndet i matjorden något högre i det led som plöjdes sent än i det som plöjdes tidigt. Eftersom ingen provtagning av markens vattenhalt gjordes parallellt med penetrometermätningen känner vi inte till vattenhaltens inverkan på resultaten (motståndet i marken minskar med ökande vattenhalt). När det gäller provtagningen i september (direkt efter skörd) kan man tänka sig att skillnader i skörd kan ha gett upphov till skillnader i vattenhalt mellan leden. Vid en jämförelse mellan tidigt och sent plöjda led borde hänsyn taget till detta ytterligare förstärka de uppmätta skillnaderna då skörden detta år var högre i tidigt plöjda led än i sent plöjda.



**Figur 12.** Penetrationsmotstånd (MPa) i skiktet 0-50 cm i efter sådd i april 2004 i försök R2-8408, Lanna.



**Figur 13.** Penetrationsmotstånd (MPa) i skiktet 0-50 cm efter skörd i september 2005 i försök R2-8408, Lanna.

#### *Volymvikt, vattenhållande förmåga och ekvivalentpordiameter*

Den totala mängden porer i matjorden var något lägre och skrymdensiteten något högre i led C och G, som plöjts sent, än i led A som plöjts tidigt (tabell 11). I tabell 11 visas också vattenhalten i matjorden vid olika vattenavförande tryck. Vattenhalten vid 1 och 6 meter vattenavförande tryck (dränering) är något högre i led C och G som plöjts sent än i led A som plöjts tidigt. Detta var väntat med anledning av resultaten av porvolymen som visade att led C och G hade en lägre porvolym än led A. Förmodligen har den sena plöjningen minskat andelen porer. Eftersom det i huvudsak är de stora porerna som minskar vid packning har detta lett till en försämring av markens dräneringsförmåga.

Resultaten från led J (plöjningsfritt) är lite svåra att relatera till de övriga eftersom proverna är tagna på ett annorlunda djup. Ett genomsnitt av de två djupen från led J ger dock värden mycket nära de i led A (tidig plöjning) det vill säga lägre skrymdensitet och lägre vattenhalt vid ett vattenavförande tryck på 6 meter vattenpelare och även något lägre vid 1 meter vattenpelare.

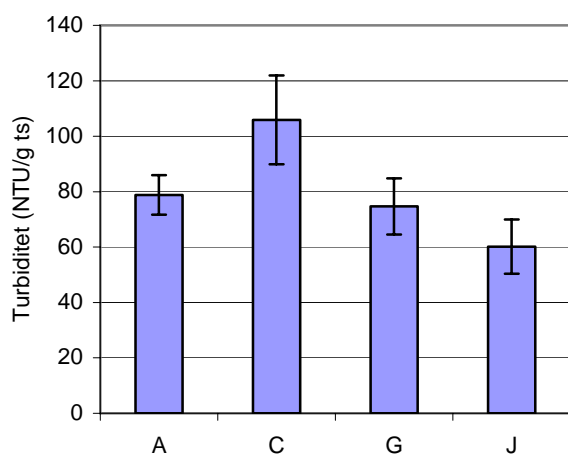
**Tabell 11.** Kompaktdensitet och skrymdensitet samt vattenhalter vid olika vattenavförande tryck på 9-14 cm djup i led A-C och på 5-10 respektive 12-17 cm djup i led J i försök R2-8408, Lanna. Provtagningen utfördes i april 2004

Led	Djup (cm)	Por-volym (%)	Skrymdensitet (g/cm <sup>3</sup> )	Vattenhalt (volym-%) vid vattenavförande tryck		
				1.0 m v.p.	6.0 m v.p.	150 m v.p.
A	9-14	48,9	1,33	38,9	34,2	21,7
C	9-14	45,7	1,43	41,4	37,2	
G	9-14	45,1	1,42	41,8	37,3	
J	5-10	44,8	1,43	38,9	34,4	
J	12-17	51,6	1,26	36,5	31,7	

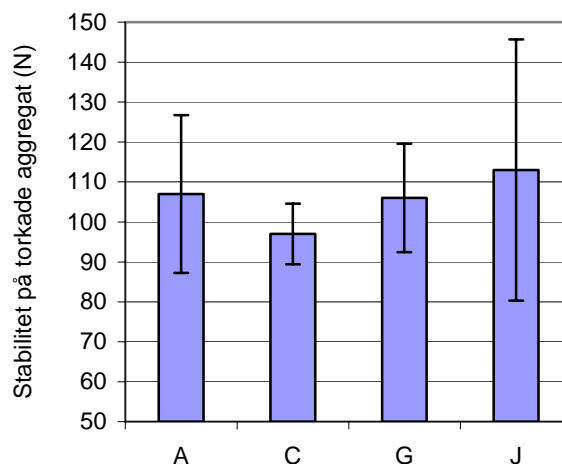
### Aggregatstabilitet

Resultaten från analyserna av aggregatstabilitet presenteras i figur 14 och 15. Figur 14 visar att aggregaten i det sent plöjda ledet (led C) hade sämre hållfasthet i vatten, d.v.s. en större mängd dispergerat ler och därmed högre NTU-värde, än aggregaten från det tidigt plöjda ledet (led A). Resultaten var signifikanta. Högst var aggregatstabiliteten i det plöjningsfria ledet (led J). Våra resultat överensstämmer med teorin. Enligt denna leder en eventuell homogenisering av strukturen efter en sen plöjning till aggregat med sämre hållfasthet i vatten. Att en ökad grad av bearbetning minskar aggregatstabiliteten har bl.a. visats i andra försök (Sibbesen et al., 1993; Melakari, 2005).

Också aggregatstabiliteten på torkade aggregat var i medeltal lägst i det sent plöjda ledet. Den ältning av jorden som kan ske vid en sen plöjning när marken har en hög vattenhalt kan förväntas trycka ihop marken och homogenisera dess struktur. Denna ältning skulle i teorin kunna leda till hårdare aggregat som kräver mer energi för att sönderdelas. Resultaten från mätningarna av aggregatstabilitet på lufttorkade aggregat stämmer därför inte med teorin. Variationerna var dock stora mellan blocken och resultaten inte signifikanta.



**Figur 14.** Aggregatstabilitet i vatten analyserat med turbidimeter, här uttryckt som uppmätt turbiditet i förhållande till aggregatens torrviikt i R2-8408, Lanna.



**Figur 15.** Aggregatstabilitet på lufttorkade aggregat uttryckt som den kraft som åtgår för att krossa ett lufttorkade aggregat med diametern 8-16 mm i försök R2-8408, Lanna.

## *Sammanfattande diskussion*

Försöket är unikt i det att en lerjord under en längre period bearbetats vid olika tidpunkter på hösten. Detta ger möjlighet att se de långsiktiga effekterna på markstruktur, gröda och markkväve av tidig respektive sen höstplöjning samt av stubbearbetning vid olika tidpunkter.

Effekten av tidig plöjningen på anhopningen av mineralkväve i marken torra höstar hade helt förbisetts om inte både torra och blöta år ingått i studien, vilket visar på vikten av att kunna studera företeelser i fältförsök under flera år. Resultaten från höstprovtagningarna på Lanna 2002-2003 överensstämde med dem som redovisats av Myrbeck et al. (2003) där kvävemineralsiseringen efter olika höstbearbetningstidpunkter undersöktes på tre svenska lerjordar. På samtliga platser i försöksserien innebar tidig bearbetning markant större mineralkvävemängder i marken under hösten. Bara på en av de tre lerorna, i en region med högre nederbörd än de båda övriga, innebar detta emellertid en nämnvärd ökning av risken för kväveutlakning.

Vi har i det här rapporterade projektet sett en förstärkt trend mot lägre skördar efter sen höstplöjning. Orsaken synes vara att den sena plöjningen hade negativ effekt på markstrukturen, medan den tidiga plöjningen varit mer skonsam i detta avseende. Sen bearbetning sker oftast vid högre vattenhalt, vilket i andra studier visat sig ha negativ effekt på både markstruktur och skörd. I projektet rapporterat av Myrbeck et al. (2003) undersöktes ett antal markfysikaliska parametrar och skörden mättes. I den undersökningen visade resultaten att senarelagd bearbetning på lerjord kan innebära betydande skördesänkningar, speciellt efter stubbearbetning.

Även om resultaten från de markfysikaliska undersökningarna, var och en för sig, i flera fall var något otydliga och inte gav signifikanta skillnader, pekade de nästan alla åt samma håll, det vill säga mot försämrade odlingssegenskaper efter årlig plöjning sent på hösten. Vid en jämförelse mellan tidig och sen plöjning hade det sent plöjda ledet en lägre vattenhalt i såbädden, en lägre infiltration genom plogsulan, större penetrationsmotstånd ovanför och i plogsulan samt i centrala matjorden en högre skrymdensitet, en lägre porvolym och en lägre aggregatstabilitet i vatten. Eftersom marken i lerjordar är så pass heterogen krävs ofta ett mycket stort antal prover för att få signifikans i resultat av markfysikaliska undersökningar. Det är således svårt att påvisa skillnader. Vi tycker dock att vi utifrån resultaten kan sluta oss till att den skördesänkning vi sett i försöket efter sen höstplöjning kan hänföras till en försämring av markstrukturen.

Det är viktigt att belysa markstrukturens utveckling med åren. Försämrad struktur genom markskador till följd av sen jordbearbetning kan förutom att ge sänkta skördar också leda till denitrifikation och därmed avgång av lustgas ( $N_2O$ ), med negativ påverkan på atmosfären som följd. En strukturförsämring innebär sannolikt också ökade förluster av fosfor. När leraggregaten blir mindre stabila mot påverkan av vatten ökar risken för förluster av partikulärt fosfor via både yterrosion och makroporflöde (Naturvårdsverket, 2004). I internationella studier nämns lerjordar som källa för utlakning av organiskt kväve (Velthof et al., 2005). Det organiska kvävet räknas oftast som skillnaden mellan totalkväve och mineralkväve. Det kan alltså till stor del bestå av partikelbundet kväve och då ha liknande förlustvägar och bero av samma faktorer som den partikelbundna fosfor t.ex. jordbearbetningssystem.

Utebliven och delvis också senarelagd plöjning på hösten innebär ofta en uppförökning av ogräs. Detta har registrerats i det här projektet. Ökad ogräsförekomst leder i sin tur till stigande användning av herbicider som glyfosat. Miljömålet att minska kväveutlakningen kolliderar här med målet att reducera bekämpningsmedelsanvändningen.

Försöket har ett stort värde även framöver, inte minst med tanke på att Naturvårdsverket i rapport nr 5319 (okt. 2003) efterlyser nya idéer vad gäller kväveutlakning för att uppnå det uppsatta delmålet år 2010. En oberoende expertgrupp tillsatt av Naturvårdsverket rekommenderar också fortsatt arbete med att minska tillförseln av kväve till Västerhavet (Boesch et al., 2005). Detta försök jämte ett i Uppland (på Ultuna) är de enda där vi kan studera långsiktiga effekter av olika jordbearbetningstidpunkter på markstruktur och skördar.

## Slutsatser

- Tidig höstplöjning innebar större mineralisering av kväve i marken under hösten jämfört med sen höstplöjning på denna lerjord.
- Under nederbördsrika år förlorades troligen betydande mängder kväve under hösten efter tidig plöjning. Den huvudsakliga förlustvägen var sannolikt genom gasemissioner. Under torrare år ackumulerades mineralkvävet i profilen till efterföljande vår.
- Återkommande plöjning sent på hösten ledde till en försämring av markstrukturen.
- Sen höstplöjning gav lägre skördar än tidig höstplöjning, troligtvis på grund av dess negativa inverkan på markstrukturen.
- Den årliga användningen av fånggröda orsakade här skördesänkningar. Användningen av cikoria som fånggröda medförde kraftig uppförökning av ogräs på grund av utebliven ogräsbekämpning.

## Summary

It is well known that on sandy soils, nitrogen leaching increases if the soil is ploughed early in autumn compared to ploughing in late autumn or in spring. It is little known about the risk for leaching from clay soils. Late autumn mouldboard ploughing on a clay soil during unfavourable conditions could give degraded soil structure causing decreased yields and lowered nitrogen utilization. In the autumn 1997 this field experiment was established at Lanna research station in Västergötland at a site with approximately 40 % clay content and where 10 different strategies for autumn tillage were compared in relation to nitrogen mineralization during the winter and to the risk for nitrogen leaching. Early autumn mouldboard ploughing was compared with late ploughing, both with and without removal of crop residues, in respect of effects on crop and soil. Effects of late ploughing were also studied in combination with the catch crops perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and chicory (*Cichorium intybus* L.) as well as with several times for preceding shallow cultivation.

Soil mineral nitrogen (nitrate and ammonium) was determined in the layers 0-30, 30-60 and 60-90 cm at four occasions in autumn and early spring to estimate the risk for nitrate leaching during autumn and winter. Above-ground parts of main crop, catch crop and weeds were sampled and analyzed for total nitrogen to calculate nitrogen mineralization during the crop growing season and to calculate the degree of utilization of applied nitrogen. The last year of the project, the soil was sampled for determination of total carbon, total nitrogen and potential nitrogen mineralization. The tillage treatments were also evaluated by determination of effects on the soil structure. This was done by measurements in the topsoil and shallow subsoil of

seedbed structure, water conductivity, penetration resistance, bulk density, water holding capacity, equivalent pore size diameter and aggregate stability.

The first years of the study were mild and moist as the normal weather conditions in the area of the field experiment. During these years the accumulation of mineral nitrogen in the soil during the autumn was moderate and much below expected levels, even in the early tilled treatments. Continued measurements in the experiment showed however that during years with dry weather in autumn, mineral nitrogen accumulated in the soil profile in treatments ploughed early. In November 2002, the average mineral nitrogen content in 0-90 cm was 40 kg per ha after early autumn ploughing but only 15 kg in treatments ploughed late. Also shallow cultivation stimulated the nitrogen mineralization during autumn. In 2003, also with a dry autumn, the same pattern was observed. The distribution of mineral nitrogen in the soil profile indicated almost no transport of nitrate to deeper soil layers as normally is observed on sandy soils. This study shows that the accumulation of mineral nitrogen in clay soils during autumn can be as high as on sandy soils and that the nitrogen losses from clay soils apparently are from different processes. Wet years the losses are probably due to gaseous emissions by  $N_2$  or  $N_2O$ .

Mineral nitrogen content in the soil (0-90 cm) during autumn was decreased by incorporation of crop residues. The difference was up to 10 % at each individual occasion for soil sampling. This indicates that net nitrogen mineralisation was decreased by decomposition of crop residues. The lowest levels of nitrogen were determined in the treatment with a perennial ryegrass catch crop.

Net nitrogen mineralisation during the growing season was about 2 kg N higher in treatments ploughed late than ploughed early. The highest net nitrogen mineralisation was determined in the treatment with ryegrass catch crop followed by late autumn ploughing. Net nitrogen mineralisation also increased in this treatment during the years probably due to the yearly incorporation of fresh plant material. The content of total carbon and nitrogen in 0-20 cm depth did not change between 1997 and 2003. The potential nitrogen mineralization (mg ammonium N (g ts jord)<sup>-1</sup>) was 0.02 mg higher in the unploughed treatments compared to the other treatments. This was expected because of a more superficial incorporation of crop residues.

Analyses of soil structure conditions showed that yearly mouldboard ploughing late in autumn negatively affected the structure while the early autumn ploughing did not. Compaction of the soil and reduced water conductivity when ploughed late was indicated by lower top soil pore volume, higher bulk density and higher water content at matric tensions 10 and 60 kPa. Soil aggregate stability in water was lower in soil from late ploughed plots. The highest aggregate stability was determined on soil from plots not ploughed. Soil penetration resistance in 10-25 cm was larger in unploughed plots and, at one occasion, higher in late ploughed than in early ploughed plots in and immediately above the plough pan. No differences between treatments in the seedbed properties were observed.

Deteriorated soil structure caused by soil tillage operations late in autumn may, besides decreased yields, give increased gaseous losses by  $N_2O$  from denitrification. When soil aggregates becomes less stable to slaking the risk for leaching of particulate P by soil surface erosion and internal erosion in macro pore increase.

## Litteratur

- Alexandersson, H., Eggertsson Karlström, C. L.-M., S. 2001. Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-1990. Referensnormaler - utgåva 2. Meteorologi no. 99. SMHI, Norrköping. 71 pp.
- Aronsson, H. 2000. Nitrogen turnover and leaching in cropping systems with ryegrass catch crops. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. SLU, Uppsala. Agraria 214. Doktorsavhandling.
- Aronsson, H., Torstensson, G., Lindén, B. 2003. Långliggande utlakningsförsök på lätt jord i Halland och Västergötland Effekter av flytgödseltillförsel, insådda fånggrödor och olika jordbearbetningstidpunkter på kvävedynamiken i marken och kväveutlakningen. Resultat från perioden 1998-2002. SLU, Uppsala. Avd. för vattenvårdslära. Ekohydrologi 74.
- Aronsson, H., Torstensson, G. 2003. Höstgrödor – Fånggrödor – Utlakning Kvävedynamik och kväveutlakning i två växtföljder på moränlätter i Skåne. Resultat från 1993-2003. SLU, Uppsala, Ekohydrologi 75.
- Arvidsson, J., Håkansson, I. 1996. Does soil compaction persist after ploughing - results from 21 long-term field experiments. Soil Tillage Res., 39, 175-198.
- Arvidsson, J., Petterson, O. 1995. Jordpackning och markstruktur. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 435. Uppsala.
- Boesch, D., Hecky, R., O'Melia, C., Schindler, D., Setzinger, S. 2005. Expert evaluation of the eutrophication of the seas surrounding Sweden. SNV, Stockholm. Rapport.
- Comia, R.A., Stenberg, M., Nelson, P., Rydberg, T., Håkansson, I. 1994. Soil and crop responses to different tillage systems. Soil Tillage Res. 29, 335-355.
- Czyz, E.A., Dexter A.R., Terelak, H. 2002. Content of readily-dispersed clay in the arable layer of some Polish soils. I Pagliai, M & Jones, R (editors). Sustainable land management-environmental protection a soil physical approach. Advances in geocology 35, 115-123. Catena verlag. Germany.
- Dexter, A.R., Kroesbergen, B. 1985. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. J. Agric. Eng. Res., 31, 139-147.
- Heinonen, R. 1985. Soil management and crop water supply. 4th edition. Swedish university of soil sciences, department of soil sciences. Uppsala, Sweden.
- Kritz, G. 1983. Såbäddar för vårstråsäd. En stickprovsundersökning. Rapport 65, Avdelningen för jordbearbetning, SLU, Uppsala.
- Lundström, C. 2004. Utlakningsförsök på Lanna och Fotegården. SLU, Skara. Avdelningen för precisionsodling. 23 s.
- Melakari, A. 2005. Aggregatstabilitet, jordbearbetning och fosforförluster i ett typområde på jordbruksmark. Seminarier och examensarbeten nr 51. Avd. för vattenvårdslära, SLU, Uppsala.
- Myrbeck, Å., Arvidsson, J., Keller, T. 2003. Plöjningstidpunktens inverkan på markstruktur, växtproduktion och kväveutlakning på lerjord. Slutrapport från försök 1999-2002. SLU, Uppsala. Avd. för jordbearbetning, Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, nr 105.
- Myrbeck, Å. 2005. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 2004, Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, nr 108, 65-67.
- Naturvårdsverket. 2004. Fosforutsläpp till vatten år 2010 – Delmål, åtgärder och styrmedel. Rapport 5364, maj 2004. Stockholm.
- Sibbesen, E., Hansen, A.C., Nielsen, J.D, Heidmann, T. 1993. Effects of soil tillage and surface runoff, soil erosion and loss of phosphorus – plot studies, Course and extent processes. NJF seminar no.228. Jokioinen.
- Stenberg, B. 1999. Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science 49, 1-24.

- Stenberg, B., Johansson, M., Pell, M., Sjödahl-Svensson, K., Stenström, J., Torstensson, L. 1998. Microbial biomass and activities in soil as affected by frozen and cold storage. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 393-402.
- Stenberg, M. 1998. Soil tillage influences on nitrogen conservation. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. SLU, Uppsala. Agraria* 129.
- Stenberg, M., Stenberg, B., Rydberg, T. 2000. Effects of reduced tillage and liming on microbial activity and soil properties in a weakly-structured soil. *Applied Soil Ecology* 14, 135-145.
- Stenberg, M., Aronsson, H., Lindén, B., Rydberg, T., Gustafson, A. 1999. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. *Soil Tillage Res.* 50, 115-125.
- Torstensson, G. 2003. Ekologisk odling – Utlakningsrisker och kväveomsättning i ekologiska odlingssystem med resp. utan djurhållning på lerjord i Västra Götaland Resultat från perioden 1997-2002. SLU, Uppsala. Avd för vattenvårdslära. *Ekohydrologi* 73.
- Ulén, B., Aronsson, H., Torstensson, G., Mattsson, L. 2005. Nutrient turnover and risk of waterborne phosphorus emissions in crop rotations on a clay soil in south-west Sweden. *Soil Use Management* 21, 221-230.
- Velthof, G.L., Assinck, F.B.T., de Vos, J.A., Dolfing, J., Heinen, M., Smit, A., van Beek, C.L., van der Salm, C., van Groenigen, J.W., Zwart, K.B. 2005. Denitrification and nitrate leaching in Dutch agricultural soils in relation to the Water Framework Directive. In: N management in agroecosystems in relation to the Water Framework Directive, Book of abstracts. 14 N-Workshop, 24-26 Oct., Maastricht, NL.



## Bilagor

Bilaga 1 Åtgärder i försöket (tabell 12)

Bilaga 2 Graderingar av grödor i försöket 1997-2005 (tabell 13-14)

Bilaga 3 Mineralkväve skiktvis vid respektive provtagningstidpunkt (tabell 15-19)

### Bilaga 1 Åtgärder i försöket

**Tabell 12.** Gödsling med kväve (N), fosfor (P) och kalium (K) i försöket 1997-2005

År	Gröda	Sort	N kg ha <sup>-1</sup>	P kg ha <sup>-1</sup>	K kg ha <sup>-1</sup>
1997	Vårkorn	Etna	90		
1998	Havre	Freja	90	-, 20*	-, 150*
1999	Vårvete	Dragon	112	5	30
2000	Vårkorn	Henni	90	60 (höst) <sup>1</sup>	
2001	Havre	Belinda	112	-	32 40
2002	Vårvete	Vinjett	140	-	-
2003	Vårkorn	Henni	110	-	-
2004	Havre	Belinda	109	(PK 11-21 x kg i B, D, E, F)	(B, D, E, F)
2005	Vårvete	Vinjett	42 + 90	-	-

<sup>1</sup> Hela försöket.

\* Led B, D, E och F, kompensation för innehåll i bortförd halm.

**Bilaga 2 Graderingar i försöket 1997-2005****Tabell 13.** Datum för axgång, gulmognad och skörd i försök R2-8408 1998-2005

År	Axgång	Gulmognad	Skörd
1998			27 september
1999	9-12 juli <sup>1</sup>	26- 27 augusti <sup>3</sup>	7 september
2000	5 juli	16 augusti	4 september
2001	7 juli	22 augusti	2 september
2002	25 juni	11 augusti	19 augusti
2003	3 juli	5 augusti	20 augusti
2004	23 juni	23 augusti	14 september
2005	10-12 juli <sup>2</sup>	30.8-5.9 <sup>4</sup>	12 september

<sup>1</sup> 9.7 (B), 10.7 (A, C, E, G, H, I), 12.7 (J)<sup>2</sup> 10.7 (H), 11.7 (A, G), 12.7 (B-F)<sup>3</sup> 26.8 (A-I), 27.8 (J)<sup>4</sup> 30.8 (A, B), 1.9 (D, I), 2.9 (G), 3.9 (E), 4.9 (J), 5.9 (C)**Tabell 14.** Gradering av stråstyrka i led A-J år 1998-2005

År	Gröda	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1998	Havre	13	12	18	12	10	17	17	15	10	10
1999	Vårvete	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2000	Vårkorn	95	95	95	93	95	95	95	95	93	95
2001	Havre	75	75	83	77	88	95	78	75	75	73
2002	Vårvete	93	93	100	98	100	98	95	98	98	93
2003	Vårkorn	95	95	93	93	95	98	93	95	93	95
2004	Havre	42	48	45	50	57	60	47	52	38	37
2005	Vårvete	87	90	98	98	97	100	92	95	93	87
Medel		73	73	77	75	77	79	73	75	73	71

**Bilaga 3 Mineralkväve skiktvis vid respektive provtagningstidpunkt****Tabell 15.** Mineralkväve ( $\text{NO}_3^-$  och  $\text{NH}_4^+$ ) i marken vid **gulmognad** i skikten 0-30, 30-60, 60-90 cm samt i hela markprofilen

Datum	Nivå	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
980827	0-30	7,8	8,2	5,8	7,0	7,1	7,2	8,5	7,5	8,6	7,6
	30-60	1,7	1,8	1,7	1,5	1,8	2,1	1,8	1,9	1,7	1,6
	60-90	1,6	1,9	1,7	1,7	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,3
	0-90	11,2	11,8	9,2	10,2	10,7	11,0	12,0	11,0	11,8	10,5
990909	0-30	8,7	6,8	7,9	7,0	6,2	6,3	8,4	8,6	9,7	8,5
	30-60	2,7	2,3	2,6	2,4	2,3	2,5	1,9	3,7	2,5	1,9
	60-90	2,5	2,1	2,3	1,8	2,0	2,2	1,9	3,9	1,9	1,9
	0-90	13,9	11,1	12,8	11,2	10,5	11,0	12,2	16,2	14,1	12,3
000816	0-30	12,0	9,0	9,6	10,8	11,6	7,8	10,5	9,1	10,6	9,7
	30-60	2,6	1,7	2,6	2,3	2,2	2,2	2,6	2,7	2,5	2,5
	60-90	3,0	1,4	2,7	2,9	2,7	3,2	2,8	3,3	3,0	3,2
	0-90	17,6	12,1	14,9	16,0	16,5	13,2	15,9	15,1	16,1	15,4
010824	0-30	6,4	6,7	4,9	5,4	5,5	5,9	5,5	5,8	5,8	6,4
	30-60	1,5	1,7	1,1	1,2	1,8	1,5	1,4	1,6	1,8	1,4
	60-90	1,1	1,2	1,3	1,2	1,7	1,3	1,3	1,1	1,1	0,9
	0-90	9,0	9,6	7,3	7,8	9,0	8,7	8,2	8,5	8,7	8,7
020828	0-30	9,9	11,9	8,9	10,7	7,5	6,5	10,6	9,5	9,4	10,6
	30-60	2,3	2,0	1,9	1,7	1,9	1,9	1,9	2,8	1,7	1,3
	60-90	1,7	1,4	1,5	1,7	1,2	1,4	1,8	2,0	1,2	1,3
	0-90	13,9	15,3	12,3	14,1	10,6	9,8	14,3	14,3	12,3	13,2
030827	0-30	20,2	27,9	12,4	16,6	6,8	7,3	19,7	17,8	22,9	17,3
	30-60	5,5	6,8	3,0	3,5	2,3	2,2	4,1	7,1	6,2	2,9
	60-90	4,6	4,8	2,3	1,8	1,7	1,5	3,0	4,3	3,7	2,2
	0-90	30,3	39,5	17,7	21,9	10,8	11,0	26,8	29,2	32,8	22,4
040820	0-30	10,9	11,2	9,9	9,6	7,3	9,3	10,1	10,2	10,1	9,1
	30-60	3,2	4,2	6,8	4,1	2,2	4,4	2,9	2,9	2,5	3,2
	60-90	3,6	5,5	3,0	2,7	2,0	2,2	2,1	2,6	2,2	2,8
	0-90	17,7	20,9	19,7	16,4	11,5	15,9	15,1	15,7	14,8	15,1
Medel	0-30	10,8	11,7	8,5	9,6	7,4	7,2	10,5	9,8	11,0	9,9
	30-60	2,8	2,9	2,8	2,4	2,1	2,4	2,4	3,2	2,7	2,1
	60-90	2,6	2,6	2,1	2,0	1,9	1,9	2,1	2,7	2,1	1,9
	0-90	16,2	17,2	13,4	13,9	11,4	11,5	14,9	15,7	15,8	13,9

**Tabell 16.** Mineralkväve ( $\text{NO}_3^-$  och  $\text{NH}_4^+$ ) i marken vid **tidig höstplöjning** i skikten 0-30, 30-60, 60-90 cm samt i hela markprofilen

Datum	Nivå	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
980918	0-30	7,4	8,3	6,4	7,6	7,1	7,1	7,8	7,8	8,4	7,6
	30-60	2,3	2,9	2,0	2,1	2,1	2,4	2,5	2,4	2,5	2,7
	60-90	1,8	2,1	1,7	1,8	1,6	1,8	1,7	1,9	1,6	1,7
	0-90	11,4	13,3	10,1	11,5	10,8	11,2	12,0	12,2	12,5	12,0
991005	0-30	6,8	7,5	6,4	7,3	6,0	6,5	7,8	6,6	7,2	7,6
	30-60	2,7	4,0	2,6	3,0	2,4	1,7	2,5	2,5	2,5	3,0
	60-90	1,6	2,4	1,6	1,9	1,6	1,4	1,5	2,0	1,7	1,7
	0-90	11,1	13,9	10,6	12,2	10,0	9,6	11,8	11,0	11,4	12,3
000908	0-30	11,8	12,4	9,4	10,2	7,1	8,0	10,7	10,0	11,8	12,7
	30-60	2,9	3,2	2,8	2,5	2,8	2,4	2,5	3,2	3,0	2,9
	60-90	2,2	2,0	1,6	1,4	1,6	1,9	1,5	2,3	1,5	1,5
	0-90	16,9	17,7	13,8	14,1	11,5	12,4	14,7	15,5	16,3	17,1
010911	0-30	8,7	7,8	6,3	6,8	5,9	5,0	7,1	6,7	7,3	10,7
	30-60	1,7	2,1	1,5	1,3	1,4	1,1	1,2	1,7	1,2	2,1
	60-90	1,5	1,4	2,2	1,0	1,1	1,3	1,2	1,3	1,2	1,5
	0-90	11,9	11,2	9,9	9,1	8,5	7,3	9,5	9,7	9,7	14,4
020925 <sup>1</sup>	0-30	19,2	21,9	6,8	11,4	6,5	6,4	15,6	8,3	13,4	19,6
	30-60	3,6	4,1	2,6	2,2	3,2	2,1	2,5	3,0	2,2	3,4
	60-90	3,1	3,0	2,2	2,0	3,4	1,9	2,0	2,5	3,6	3,6
	0-90	25,9	29,0	11,6	15,6	13,1	10,4	20,0	13,8	19,1	26,6
031007 <sup>1</sup>	0-30	36,3	41,6	12,4	19,0	5,8	7,5	27,9	22,1	28,2	26,1
	30-60	12,2	15,4	4,8	4,6	2,1	2,1	6,1	7,2	6,7	5,2
	60-90	6,2	7,4	2,7	3,5	1,7	1,6	3,7	4,4	3,9	3,5
	0-90	54,7	64,4	19,8	27,0	9,7	11,2	37,6	33,7	38,8	34,8
04 <sup>2</sup>	0-30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Medel <sup>3</sup>	0-30	28,2	30,1	23,8	26,8	21,6	22,8	28,1	26,2	29,2	30,6
	30-60	8,3	10,7	7,8	8,0	7,6	6,8	7,8	8,4	8,3	9,2
	60-90	5,9	6,9	5,4	5,3	5,2	5,5	5,0	6,5	5,1	5,3
	0-90	42,4	47,7	36,9	40,1	34,4	35,1	40,8	41,1	42,6	45,1

<sup>1</sup>. Provtagningsstidningstidpunkten sammanfaller ej med den tidiga höstplöjningen utan skedde ett par veckor senare. Dessa värden har därför inte använts i de diagram som finns i rapporten.

<sup>2</sup>. Utebliven provtagning år 2004 vid denna tidpunkt.

<sup>3</sup>. Medelvärde av år 1998, 1999, 2000 och 2001 (se punkt 1.).

**Tabell 17.** Mineralkväve ( $\text{NO}_3^-$  och  $\text{NH}_4^+$ ) i marken vid **sen höstplöjning** i skikten 0-30, 30-60, 60-90 cm samt i hela markprofilen

Datum	Nivå	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
971024	0-30	16,0	16,3	9,3	11,7	8,1	7,1	11,0	12,2	16,0	14,1
	30-60	4,3	4,1	4,7	5,8	6,5	2,9	4,5	6,1	6,1	5,4
	60-90	1,6	2,1	2,6	2,6	3,1	1,9	1,9	2,7	1,8	1,8
	0-90	21,8	22,5	16,6	20,1	17,7	11,8	17,4	21,0	23,9	21,2
981030	0-30	9,2	10,2	8,1	9,1	8,2	8,1	8,2	8,3	8,9	7,5
	30-60	3,6	4,3	2,9	3,5	2,7	1,9	2,9	2,6	3,3	3,3
	60-90	3,0	3,2	2,0	2,3	1,8	2,1	2,1	1,8	2,3	2,1
	0-90	5,7	17,7	13,0	14,9	12,6	12,0	13,2	12,6	14,5	12,9
991029	0-30	10,8	10,0	7,4	9,8	5,7	7,4	10,5	10,1	10,5	12,3
	30-60	2,9	2,9	2,1	3,6	2,6	2,1	3,0	2,9	3,3	2,7
	60-90	2,4	1,9	1,7	1,5	1,9	1,8	1,9	1,8	2,0	1,5
	0-90	16,1	14,8	11,2	14,9	10,2	11,2	15,4	14,8	15,7	16,5
001024	0-30	6,4	6,7	4,9	5,4	5,5	5,9	5,5	5,8	5,8	6,4
	30-60	1,5	1,7	1,1	1,2	1,8	1,5	1,4	1,6	1,8	1,4
	60-90	1,1	1,2	1,3	1,2	1,7	1,3	1,3	1,1	1,1	0,9
	0-90	9,0	9,6	7,3	7,8	9,0	8,7	8,2	8,5	8,7	8,7
011024	0-30	11,4	10,6	7,7	7,2	6,3	5,5	6,9	8,1	9,5	11,7
	30-60	3,3	2,8	1,5	1,8	1,8	1,5	1,3	2,4	2,1	2,3
	60-90	2,0	1,9	1,4	1,9	1,7	1,5	1,5	2,0	1,4	1,8
	0-90	16,7	15,3	10,6	10,9	9,8	8,5	9,7	12,5	13,0	15,8
021112	0-30	29,6	27,6	8,5	9,0	9,6	6,2	12,2	9,8	12,8	19,3
	30-60	6,5	9,0	4,3	2,8	1,5	1,6	6,3	5,3	7,4	9,7
	60-90	2,7	3,2	2,5	2,2	1,4	1,5	2,3	2,8	2,3	2,7
	0-90	38,8	39,8	15,3	14,0	12,5	9,3	20,8	17,9	22,5	31,7
031030	0-30	45,7	49,8	12,7	17,4	6,6	7,9	27,1	25,9	30,0	26,9
	30-60	14,6	13,4	5,3	6,7	1,6	1,7	7,2	8,9	8,4	6,9
	60-90	7,8	7,4	3,4	3,3	1,4	1,3	3,9	4,7	4,7	3,1
	0-90	68,1	70,6	21,4	27,4	9,6	10,9	38,2	39,5	43,1	36,9
041029	0-30	14,5	10,6	5,7	6,6	6,1	7,2	9,2	8,3	11,7	8,1
	30-60	8,8	5,8	1,9	2,3	1,0	1,1	3,9	5,7	5,0	5,4
	60-90	3,9	3,1	1,5	2,0	0,5	1,4	2,7	3,1	3,4	3,5
	0-90	27,2	19,5	9,1	10,9	7,6	9,7	15,8	17,1	20,1	17,0
Medel	0-30	17,9	17,7	8,0	9,5	7,0	6,9	11,3	11,0	13,1	13,3
	30-60	5,7	5,5	3,0	3,5	2,4	1,8	3,8	4,4	4,7	4,6
	60-90	3,1	3,0	2,1	2,1	1,7	1,6	2,2	2,5	2,4	2,2
	0-90	25,4	26,2	13,1	15,1	11,1	10,3	17,3	18,0	20,2	20,1

**Tabell 18.** Mineralkväve ( $\text{NO}_3^-$  och  $\text{NH}_4^+$ ) i marken i **december** i skikten 0-30, 30-60, 60-90 cm samt i hela markprofilen

Datum	Nivå	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
971202	0-30	19,6	21,3	14,1	16,4	15,7	13,2	15,7	15,5	13,9	14,9
971202	30-60	8,4	9,8	7,8	7,2	8,5	4,4	8,3	8,9	10,5	9,4
971202	60-90	3,5	4,2	4,1	3,4	4,5	2,8	3,9	4,5	4,3	4,6
971202	0-90	31,5	35,4	26,1	26,9	28,7	20,5	27,9	27,9	28,8	28,9
981201	0-30	14,4	16,8	12,7	16,8	16,8	13,8	14,3	15,0	15,3	13,8
981201	30-60	4,2	4,6	4,4	5,5	5,3	4,2	4,3	4,3	6,0	3,7
981201	60-90	1,8	2,2	2,5	2,6	2,1	1,7	2,0	2,1	2,6	1,9
981201	0-90	20,3	23,6	19,6	25,0	20,8	19,7	20,6	21,4	23,8	19,5
991202	0-30	13,4	12,8	14,6	16,3	12,0	12,4	16,9	15,1	17,7	17,3
991202	30-60	3,9	4,4	4,5	4,8	4,5	4,7	5,1	5,7	6,2	4,1
991202	60-90	1,9	2,3	2,4	3,0	2,1	2,4	2,1	2,7	2,4	2,1
991202	0-90	19,3	19,5	21,5	24,0	18,6	19,4	24,1	23,5	26,4	23,5
001219	0-30	8,8	9,3	8,6	8,4	8,8	8,1	9,3	9,8	9,7	11,2
001219	30-60	4,3	4,5	3,7	3,3	4,4	3,8	4,3	5,4	5,8	3,7
001219	60-90	2,7	2,6	2,4	2,3	2,9	2,8	2,2	3,2	3,0	2,3
001219	0-90	15,8	16,4	14,7	14,0	16,0	14,7	15,8	18,4	18,6	17,2
011212	0-30	12,0	11,6	9,3	10,3	10,9	8,8	10,3	9,9	12,2	11,7
011212	30-60	5,5	6,2	3,1	3,2	3,1	2,6	3,8	5,4	5,6	5,8
011212	60-90	2,8	3,2	2,2	1,8	1,8	1,9	2,0	2,7	3,2	2,4
011212	0-90	20,3	21,0	14,6	15,3	15,8	13,3	16,1	18,0	21,1	20,0
02 <sup>1</sup>	0-30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	30-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
031203	0-30	17,0	18,6	10,6	13,1	7,8	8,9	15,9	13,9	17,0	17,5
031203	30-60	21,2	24,9	8,3	10,4	3,2	3,9	14,8	15,3	17,5	16,1
031203	60-90	7,1	10,3	4,8	5,4	2,0	2,2	6,7	5,9	6,6	4,9
031203	0-90	45,3	53,8	23,7	28,9	13,0	15,1	37,5	35,1	41,1	38,5
041207	0-30	12,6	13,2	9,5	10,6	9,2	8,6	11,8	11,2	13,0	13,5
041207	30-60	10,3	11,9	5,0	5,6	3,6	3,4	7,6	8,7	9,7	8,5
041207	60-90	4,2	5,4	3,1	3,1	2,2	2,3	3,6	4,0	4,3	3,2
041207	0-90	27,1	30,4	17,7	19,4	15,0	14,3	23,1	23,8	26,9	25,2
Medel	0-30	14,0	14,8	11,4	13,1	11,6	10,5	13,5	12,9	14,1	14,3
	30-60	8,3	9,5	5,3	5,7	4,6	3,9	6,9	7,6	8,8	7,3
	60-90	3,4	4,3	3,1	3,1	2,5	2,3	3,2	3,6	3,8	3,1
	0-90	25,7	28,6	19,7	21,9	18,3	16,7	23,6	24,0	26,7	24,7

<sup>1</sup>. Utebliven provtagning år 2002 vid denna tidpunkt

**Tabell 19.** Mineralkväve ( $\text{NO}_3^-$  och  $\text{NH}_4^+$ ) i marken **tidig vår** i skikten 0-30, 30-60, 60-90 cm samt i hela markprofilen

Datum	Nivå	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
980415	0-30	16,8	17,9	16,0	17,6	20,7	17,3	18,2	18,2	21,4	16,6
	30-60	11,2	10,1	7,3	8,1	8,9	7,9	9,4	8,7	10,5	10,5
	60-90	8,7	8,8	6,3	6,9	7,1	5,6	7,8	7,4	8,5	7,5
	0-90	36,6	36,8	29,6	32,7	36,7	30,8	35,4	34,2	40,3	34,6
990416	0-30	12,5	12,0	10,9	13,3	12,4	10,4	10,0	11,1	11,3	10,8
	30-60	6,7	7,2	4,6	7,8	7,6	6,1	5,2	5,5	6,5	8,3
	60-90	4,7	4,8	4,1	5,9	5,8	4,9	4,2	4,0	5,5	5,8
	0-90	23,9	23,9	19,6	27,0	25,8	21,4	19,3	20,6	23,3	24,9
000330	0-30	14,3	15,0	12,1	13,5	14,5	13,3	12,7	11,5	13,9	13,9
	30-60	6,4	7,6	5,1	7,2	6,3	5,6	6,1	6,3	7,3	8,8
	60-90	3,8	5,3	3,5	4,6	3,8	3,5	4,2	4,4	5,0	5,2
	0-90	24,5	27,8	20,8	25,3	24,5	22,4	23,0	22,3	26,3	27,9
010424	0-30	16,6	14,1	11,9	14,5	14,5	14,3	11,7	13,9	12,1	14,3
	30-60	2,6	5,3	3,8	3,1	2,5	2,8	2,8	2,6	4,7	5,0
	60-90	2,2	2,4	1,7	2,1	1,8	2,1	1,8	1,8	2,3	1,8
	0-90	21,4	21,8	17,4	19,8	18,8	19,1	16,3	18,3	19,1	21,1
020412	0-30	7,8	12,5	13,3	15,9	10,8	6,2	15,7	9,8	11,1	12,4
	30-60	14,2	7,7	3,0	4,0	7,8	10,6	3,4	6,6	9,4	10,5
	60-90	5,6	4,6	2,5	3,4	3,0	2,5	3,2	2,9	4,8	5,8
	0-90	26,4	24,4	18,9	23,3	20,9	18,4	22,2	18,8	24,7	28,2
030422	0-30	23,2	23,7	21,2	20,4	18,3	16,8	18,6	21,6	21,1	23,3
	30-60	14,2	14,4	4,7	6,6	3,6	3,3	7,9	7,2	10,1	14,1
	60-90	7,0	7,5	3,6	4,9	3,0	2,7	5,3	5,9	6,6	6,6
	0-90	44,3	45,6	29,5	31,9	24,8	22,8	31,8	34,7	37,8	44,0
040407	0-30	15,8	17,0	13,9	17,4	17,5	16,0	15,3	13,4	16,8	15,3
	30-60	18,9	18,5	7,7	10,3	4,3	5,5	11,7	14,4	13,8	16,8
	60-90	12,8	15,1	6,2	7,3	3,0	4,1	9,2	8,0	10,9	11,7
	0-90	47,6	50,5	27,7	35,0	24,8	25,6	36,2	35,8	41,5	43,8
Medel	0-30	15,3	16,0	14,2	16,1	15,5	13,5	14,6	14,2	15,4	15,2
	30-60	10,6	10,1	5,2	6,7	5,9	6,0	6,6	7,3	8,9	10,6
	60-90	6,4	6,9	4,0	5,0	3,9	3,6	5,1	4,9	6,2	6,3
	0-90	32,1	33,0	23,4	27,8	25,2	22,9	26,3	26,4	30,4	32,1

**Förteckning över utgivna rapporter i serie B Mark och växter:**

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



## Förteckning över utgivna rapporter på Avdelningen för Precisionsodling:

1. Lundström, C., Roland, J., Tunared, R. och Lindén, B. 2004. Jämförelser mellan jordbearbetningssystem på lätt och styv lera – produktion, ekonomi och risk för kväveförluster i två försök med sexåriga växtföljder. Resultat från undersökningar vid Östads säteri i Västergötland 1996 – 2003. Rapport 1.
2. Stenberg, M., Delin, K., Roland, B., Söderström, M., Stenberg, B., Wetterlind, J. och Helander, C.A. 2005. Utveckling av hållbara och produktiva odlingssystem - karakterisering av lerjord. *Developing sustainable and productive cropping systems – characterisation of a clay soil*. Rapport 2.
3. Stenberg, M., Myrbeck, Å., Lindén, B., Rydberg, T. 2005. Inverkan av tidig och sen jordbearbetning under hösten på kväveminaliseringen under vinterhalvåret och på utlakningsrisken på en lerjord. Rapport 3.

**Avdelningen för precisionsodling, Institutionen för markvetenskap, SLU, Skara**, (tidigare Institutionen för jordbruksvetenskap Skara) bedriver forskning med precision i odlingen som mål. Detta forskningsarbete tar sikte på att utveckla metoder för bättre utnyttjande av markens resurser samt styrning av processer som inverkar på grödornas tillväxt, framför allt genom bättre växtnäringshushållning, bl.a. platsspecifikt för tillämpning inom precisionsjordbruket. Forskning bedrivs främst i fältstudier och fältförsök. Huvudsyftet med denna forskning är att förstärka den ekonomiska uthålligheten i svenskt lantbruk genom att förbättra grödornas avkastning och jordbruksprodukternas kvalitet och samtidigt utnyttja våra naturliga tillgångar på ett miljövänligt och resursbevarande sätt. Forskning, utbildning och information präglas av helhetssyn och sker i nära samarbete med näringsliv, myndigheter och rådgivning. Lanna försöksstation är en viktig resurs för avdelningen, övriga institutioner vid SLU samt andra samarbetspartners.

I serien **Rapporter** redovisas forsknings- och försöksresultat från Avdelningen för precisionsodling, SLU, Skara. Rapporter gjorda 2003 och tidigare finns publicerade som Rapporter, Serie B Mark och växter, från Institutionen för jordbruksvetenskap 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>