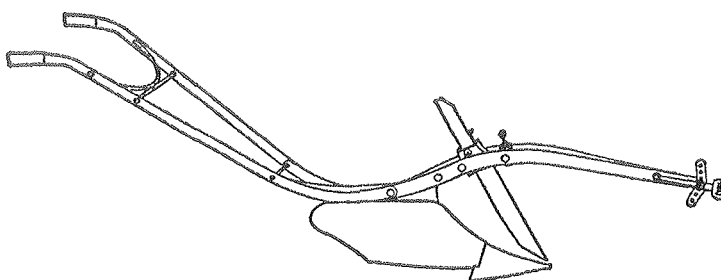




Institutionen för  
Markvetenskap  
Uppsala

# MEDDELANDEN FRÅN --- --- JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Swedish University of Agricultural Sciences,  
S-750 07 Uppsala  
Department of Soil Sciences,  
Bulletins from the Division of Soil Management



Nr 42

2003

Maria Ehrnebo

**Odlingssystemets effekt på markstrukturen –  
undersökning av ett konventionellt och ett  
ekologiskt odlingssystem**

*The effect of cropping systems on soil structure –  
a study of a conventional and an organic cropping  
system*

ISSN  
ISRN

1102-6995  
SLU-JB-M--42--SE

## Förord

Denna uppsats utgör mitt examensarbete inom agronomprogrammet, inriktning mark/växt, vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Studien har utförts på uppdrag av Hushållningssällskapet i Kristianstad i deras "Försök med miljövänliga och uthålliga odlingssystem".

Jag vill rikta ett stort tack till följande personer:

Ingemar Larsson och Göran Tuesson på Hushållningssällskapet i Kristianstad för gott samarbete. Min handledare Tomas Rydberg, avd f jordbearbetning, för optimism, intressanta diskussioner och engagemang i arbetet. John Löfkvist, avd f jordbearbetning, för all hjälp med praktiska och opraktiska saker. Alla andra på avdelningen för att ni har gjort min exjobbstitid så trivsamt.

Uppsala, mars 2003

*Maria Ehrnebo*

## Summary

Soil structure was studied in long-term trials with different cropping systems, which are run by the Rural Economy and Agricultural Society in Kristianstad. The field trials have been going on since 1987 and are located to three experimental sites in Skåne. The investigation of soil structure was concentrated to the experimental site Bollerup, but some measurements were also made at the experimental site Önnestad. At the experimental site Östra Ljungby, however, no measurements were made due to lack of time. A conventional and an organic cropping system were included in the study, both without livestock. The trial was designed as a plot trial, where each crop in the two rotations was grown every year. In Bollerup, the experimental plots were not randomly arranged, whereas in Önnestad they were arranged so that the different treatments were evenly distributed in the experimental field. There were no replications.

In order to get a complete picture of the soil structure in both cropping systems, several physical and biological properties were investigated. These were aggregate strength, hydraulic conductivity, penetration resistance, the amount of roots and the amount of earthworms. In Bollerup all of these properties were measured, whereas only penetration resistance and the amount of roots were measured in Önnestad. The aim of the study was to answer the question: Do conventional and organic cropping systems have different effects on soil structure?

When measuring aggregate strength, the content of clay and organic material in the topsoil was also measured. The conventional part of the experimental field had considerably higher contents of clay and organic material than the organic part due to a textural gradient in the field. The aggregate strength was slightly higher in the conventional cropping system than in the organic one. The hydraulic conductivity in the subsoil was considerably higher in the conventional cropping system than in the organic one. This difference was due to the fact that there was a textural gradient also in the subsoil. The conventional cropping system had a subsoil of coarser texture. The penetration resistance did not differ between the cropping systems at any of the experimental sites. The results from the analysis of root length indicated a greater root length in the organic cropping systems in Bollerup as well as Önnestad. At Bollerup, the root length at the level 10 – 15 cm in the organic system was twice that in the conventional system. The same relation applied to Önnestad at the level 30 – 35 cm. The number of earthworms was very low for both systems at Bollerup. The sampling did not reveal any great differences between the systems considering either the number of worms per m<sup>2</sup> or the biomass per m<sup>2</sup>. The same four species were found in both systems. No general difference between the cropping systems considering their effect on soil structure could be proved.

The arrangement of the experimental plots at Bollerup was inexpedient. The textural gradient in both topsoil and subsoil has affected not only the properties that were analysed in this study, but has in all probability also affected prior studies in the field trial. This makes it impossible to compare the two cropping systems. However, the systems can still be studied separately by repeated measurements during a longer period of time.



## Innehåll

Innehåll.....	1
Sammanfattning.....	2
Inledning.....	3
Litteraturgenomgång.....	4
Markstrukturens betydelse.....	4
Hur skapas en god markstruktur?.....	4
Bildning och stabilisering av makrostruktur.....	5
Hur påverkas strukturen av odlingsåtgärder?.....	7
Jämförelser mellan olika odlingsystem.....	7
Metod.....	9
Plats.....	9
Försöksupplägg, växtföljder och jordbearbetning.....	10
Undersökningsmetoder.....	11
Statistisk analys.....	12
Resultat.....	13
Aggregathållfasthet.....	13
Vattengenomsläpplighet.....	14
Penetrationsmotstånd.....	14
Rotanalys.....	16
Maskinventering.....	17
Diskussion.....	19
Aggregathållfasthet.....	19
Vattengenomsläpplighet.....	19
Penetrationsmotstånd.....	20
Rotanalys.....	20
Maskinventering.....	21
Metod.....	22
Sammantagen tolkning.....	23
Slutsatser.....	24
Litteratur.....	25

## Sammanfattning

Markstrukturen undersöktes i långliggande försök med olika odlingssystem som drivs av Hushållningssällskapet i Kristianstad. Fältförsöken har pågått sedan 1987 och är utlagda på tre platser i Skåne. Undersökningarna av markstruktur koncentrerades till försöksplatsen Bollerup, men vissa undersökningar gjordes även på försöksplatsen Önnestad. Däremot gjordes inga undersökningar på försöksplatsen Östra Ljungby p g a tidsbrist. I undersökningen ingick ett konventionellt och ett ekologiskt odlingssystem, båda utan kreatur. Försöken var upplagda som parcellförsök där varje gröda i de båda växtföljderna odlades varje år. I Bollerup var rutorna inte slumpvist utplacerade, medan de i Önnestad var placerade så att de olika behandlingarna var jämnt fördelade i försöksfältet. Upprepningar fanns inte.

För att få en så komplett bild som möjligt av markstrukturen i de två odlingssystemen undersöktes flera olika fysikaliska och biologiska faktorer. Dessa var aggregathållfasthet, vattengenomsläpplighet, penetrationsmotstånd, mängden rötter samt mängden dagmaskar. I Bollerup undersöktes samtliga av dessa faktorer medan endast penetrationsmotstånd och mängden rötter undersöktes i Önnestad. Syftet med studien var att besvara frågan: Har konventionella och ekologiska odlingssystem olika effekt på markstrukturen?

I samband med mätningen av aggregathållfasthet mättes även lerhalt och mullhalt i matjorden. Det konventionella ledet hade betydligt högre halter av ler och mull än det ekologiska p g a en jordartsgradient i försöksfältet. Aggregathållfastheten var något högre i det konventionella ledet än i det ekologiska. Vattengenomsläppligheten i alven var betydligt högre i det konventionella ledet än i det ekologiska. Skillnaden berodde på att det fanns en jordartsgradient även i alven. Jordarten i alven var lättare i det konventionella ledet. Penetrationsmotståndet skiljde sig inte åt mellan leden på någon av försöksplatserna. Resultaten av mätningarna av rotlängd tydde på en större rotlängd i de ekologiska leden i både Bollerup och Önnestad. I Bollerup var rotlängden på nivån 10 - 15 cm mer än dubbelt så stor i det ekologiska ledet, samma förhållande gällde för Önnestad på nivån 30 - 35 cm. Antalet dagmaskar var mycket lågt för båda leden i Bollerup. Inventeringen visade inga stora skillnader mellan leden vare sig med avseende på individer per m<sup>2</sup> eller biomassa per m<sup>2</sup>. Samma fyra arter återfanns i båda leden. Någon genomgående skillnad mellan odlingssystemen avseende deras effekt på markstrukturen kunde inte visas.

Att rutorna på försöksplatsen Bollerup inte var slumpvist utplacerade var olyckligt. Jordartsgradienten i matjorden och alven i försöksfältet har påverkat de egenskaper hos markstrukturen som undersöktes i den här studien, men har med största sannolikhet påverkat även tidigare mätningar som gjorts i försöket. Detta gör att det inte är möjligt att jämföra de två odlingssystemen med varandra. Däremot kan odlingssystemen studeras var för sig genom upprepade mätningar under en längre tidsperiod.

## Inledning

Sedan 1987 bedriver Hushållningssällskapet i f d Kristianstads län "Försök med miljövänliga och uthålliga odlingsystem". Fältförsöken, som är förlagda till tre olika platser i Skåne, har nu hunnit drygt halvvägs in i det tredje sexåriga växtföljdsomloppet. De odlingsformer som ingår i försöken är:

- Led A: Konventionell, kreaturslös odlingsform
- Led B: Konventionell odlingsform, med kreatur
- Led C: Ekologisk, biodynamisk odlingsform, med kreatur
- Led D: Ekologisk, icke-biodynamisk odlingsform, med kreatur
- Led E: Ekologisk, icke-biodynamisk odlingsform, utan kreatur.

Syftet med försöken är att jämföra hela de ingående systemen med varandra. Målet är "att kunna kvantifiera biologiska och ekonomiska skillnader mellan ekologiska och konventionella odlingsystem, tillämpade på tre platser med skiftande förutsättningar" (Ivarson *et al.*, 2001).

Som definition för de ekologiska odlingsformerna används KRAVs regler (kontrollföreningen för ekologisk odling). Det innebär bl a att lättlöslig konstgödsel och kemiska bekämpningsmedel inte används (KRAV, 2002). Odlingsåtgärderna i både de konventionella och de ekologiska odlingsystemen anpassas för att överensstämma med de metoder som tillämpas av de mest miljömedvetna odlarna inom respektive system. När ny kunskap blir känd, genom resultat från dessa försök eller från annan forskning och praktik, används den till att utveckla och justera odlingsystemen ytterligare. Detta har t ex fått till följd att en anpassning av växtföljder och gödslingsnivåer har gjorts fr o m det tredje växtföljdsomloppet för att minska risken för växtnäringsläckage.

Ända sedan försöken startade har regelbundna provtagningar och undersökningar gjorts för att utröna vilka effekter de olika odlingsformerna har haft. Bland de faktorer som undersökts ingår skördar, skördeprodukternas kvalitet, förekomst av ogräs och växtskadegörare, växtnäringsbalanser och kemiska markanalyser. Dessutom har ekonomiska jämförelser gjorts. Resultaten från dessa undersökningar redovisas i två omfattande rapporter (Gunnarsson, 1994 *et al.*; Ivarson *et al.*, 2001).

Syftet med föreliggande examensarbete var att ytterligare bidra till att skapa en helhetsbild av de olika odlingsystemen genom att undersöka deras effekt på några markfysikaliska och markbiologiska faktorer. Tillsammans kan dessa faktorer ge en uppfattning om markstrukturen i systemen. Avsikten var alltså att besvara frågan: Har konventionella och ekologiska odlingsystem olika effekt på markstrukturen?

# Litteraturgenomgång

## Markstrukturens betydelse

Markstruktur kan definieras som "den rumsliga heterogeniteten av olika komponenter och egenskaper hos en jord" (Dexter, 1988) eller lite enklare uttryckt som "storleken och placeringen av partiklar och porer i marken" (Oades, 1984). Markstrukturen har stor betydelse för hur lämpad marken är som växtplats. En god markstruktur innebär i praktiken att jorden har förmåga att leda bort överskottsvatten och förse växtrötterna med syre, är lättarbetad och tål yttre belastning (nederbörd, vattenmättnad, yttre tryck) samt ger möjlighet till en god etablering av en gröda och god rottillväxt (Arvidsson & Pettersson, 1995).

Överskottsvatten som inte leds bort utan blir stående i marken skadar grödan genom att blockera porer som annars kunde fungera som luftkanaler. Eftersom växtrötter konsumerar stora mängder syre, och eftersom syre diffunderar extremt långsamt i vatten får rötterna syrebrist. Anaeroba markförhållanden kan leda till kväveförluster och stående ytvatten kan orsaka läckage av partikelbunden fosfor. Om vatten inte kan transporteras snabbt genom marken tar det dessutom lång tid innan den torkar upp på våren, vilket ökar risken för packningsskador.

En jord med stabil struktur slammar inte igen i markytan vid t ex kraftig nederbörd, något som annars kan leda till skorpbildning. En kraftig skorpa hindrar groende plantor från att komma upp och ger ett försämrat gasutbyte mellan mark och luft.

God markstruktur innebär också att grödans rötter lätt kan tränga igenom markprofilen utan att marken bjuder för stort mekaniskt motstånd. Grödan måste kunna breda ut sitt rotsystem ordentligt för att nå vatten och näringsämnen.

En lättarbetad jord ger lantbrukaren goda möjligheter att bearbeta jorden utan en alltför stor energiinsats. Hur pass lättarbetad en viss jord är kan variera mycket från år till år, vid olika vattenhalter och efter olika förfrukter. Dessa förutsättningar har mycket större betydelse för slutresultatet av jordbearbetningen (t ex en såbädd) än vad valet av jordbearbetningsredskap har. Det bästa sättet att effektivisera jordbearbetningen är därför att optimera de egenskaper hos marken som gör den lättarbetad (Dexter, 1988).

## Hur skapas en god markstruktur?

Hur pass utvecklad en jords struktur är, beror till stor del på dess textur, dvs kornstorleksfördelning. Vid normala mullhalter har grus-, sand-, mo- och mjälajordar enkelkornstruktur. Primärpartiklarna är stora och bindningen mellan dem svag, vilket gör jordarna relativt homogena. Den här typen av jordar kallas enkelkornjordar. I jord som innehåller ler eller höga halter av humus kan däremot flera primärpartiklar fogas samman till stabila, väl avgränsade jordstycken, så kallat aggregat. Dessa jordar har en hög grad av "rumslig heterogenitet" och kallas



aggregatjordar. I följande litteraturoversikt kommer i huvudsak strukturbildningen i aggregatjordar att behandlas.

En lerjord (aggregatjord) innehåller mängder av fina lerpartiklar som har negativt laddade ytor och som binder positivt laddade joner som t ex kalium  $K^+$ . Den elektriska laddningen gör att lerpartiklarna binds hårt till varandra (Heinonen, 1985). Processen kallas koagulation och är det första steget i bildningen av aggregat. Aggregaten stabiliseras sedan genom uttorkning som drar samman partiklarna och gör bindningarna mellan dem starkare. Aggregaten stabiliseras också genom utfällningar av olika ämnen som järn- och aluminiumoxider, kalk, humus och olika organiska ämnen som bildats av rötter och markorganismer (Heinonen, 1985). På de här sättet bildas mikroaggregat som sedan kan utgöra byggstenar i större aggregat, s k makroaggregat. En schematisk bild av markens strukturuppbyggnad och -nedbrytning visas i figur 1.

Tisdall & Oades (1982) definierar mikro- och makroaggregat som mindre respektive större än 0,25 mm i diameter. Bindningen av mikroaggregat är relativt permanent och mikrostrukturen påverkas därför inte av olika odlingsåtgärder. Det gör däremot makrostrukturen. De undersökningar som gjorts i detta examensarbete har avsett makrostruktur och i den fortsatta texten avses med "markstruktur" alltid makrostruktur.

## **Bildning och stabilisering av makrostruktur**

### *Uptorkning genom växtrötter*

Växternas upptagning av vatten ur marken är en av grundförutsättningarna för att stabila makroaggregat ska bildas. Uptorkningen sker då heterogent i marken vilket gör att mindre jordpartiklar dras samman i tätare gytringar (D i figur 1). Med varje vätnings- och uptorkningscykel blir aggregaten tydligare och mer avgränsade tills ett jämviktsläge har uppnåtts (Dexter, 1988). Liknande effekt kan fås av tjalning. En uptorkningsprocess efter igenslamning eller packning sker mer homogent och leder vanligtvis till att en kompakt struktur med mer eller mindre sprickor bildas (C i figur 1).

### *Växtrötter, svamphyfer*

I de flesta jordar stabiliseras makrostrukturen till största delen av organiskt material. Aggregaten hålls samman av ett fint nätverk av levande eller delvis nedbrutna växtrötter och svamphyfer, särskilt effektivt är det fintrådiga och täta rotsystemet hos gräs (Tisdall & Oades, 1982). Chantigny *et al.* (1997) fann ett starkt samband mellan mängden svamphyfer och stabiliteten hos makroaggregat. Det organiska materialet är ständigt utsatt för nedbrytning av mikroorganismer och består i marken från några månader till ett år. Materialet måste därför ständigt förnyas av grödan vilket gör aggregeringen känslig för inverkan av olika odlingsåtgärder (Tisdall & Oades, 1982).

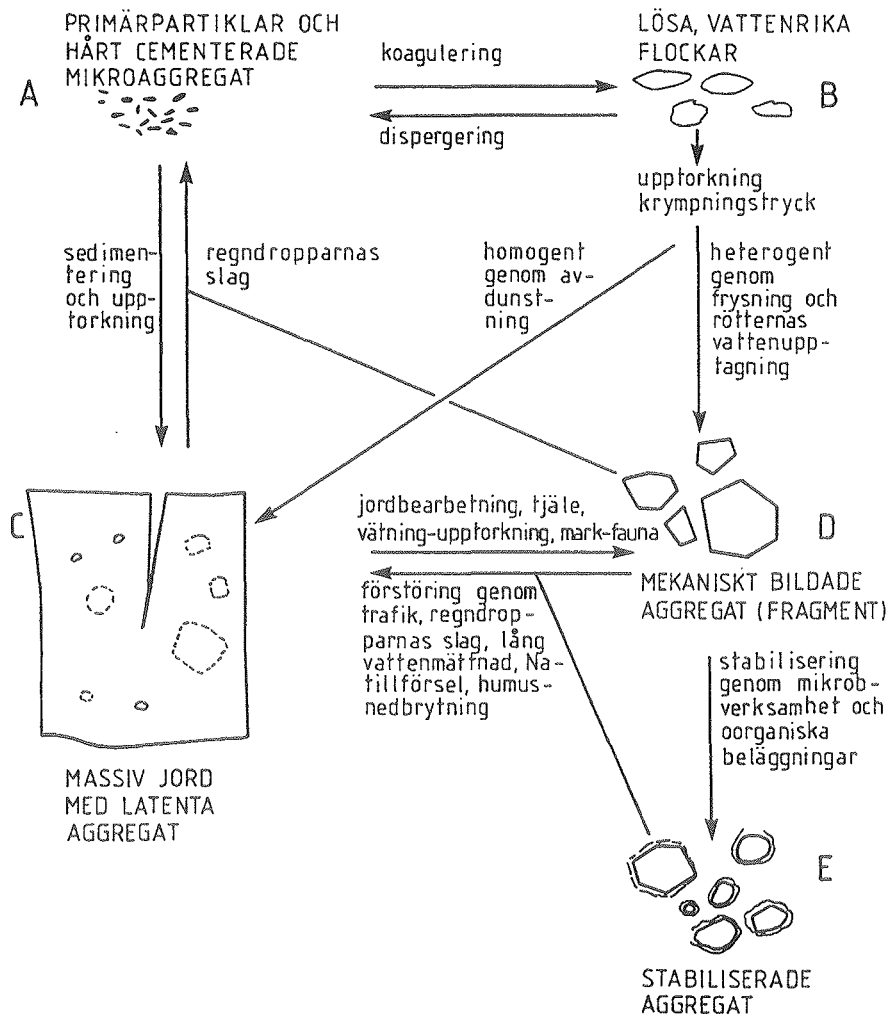


Fig. 1. Struktur tillstånd och strukturbildande processer i odlad jord (Heinonen, 1985).

### Organiska föreningar, järnoxider etc

Aggregaten kan även stabiliseras av ytbeläggning av olika organiska föreningar, framför allt polysackarider. Dessa bildas av mikroorganismer vid nedbrytning av organiskt material eller avges från rötter och mikroorganismer i rhizosfären. Polysackariderna bildas snabbt men bryts också ner snabbt och det är osäkert hur stor roll de spelar i stabiliseringen av makroaggregat (Tisdall & Oades, 1982). Mer motståndskraftiga ytbeläggningar kan bildas av långt nedbruten humus, Al-Fe-oxider och -hydroxider, karbonater och amorfa silikater (Heinonen, 1985; Tisdall & Oades, 1982).

## *Fauna*

Väl aggregerade jordar har för det mesta stora populationer av både makro- och mesofauna, men det är svårt att veta om den goda strukturen beror på faunan eller om djuren trivs på den goda strukturen (Oades, 1984). Klart är i alla fall att arbetet som olika arter av daggmaskar (*Lumbricus terrestris* m fl) utför i jorden har en positiv effekt på strukturen. Daggmaskar gräver sina gångar genom att äta sig fram. När jord passerar genom tarmen knådas partiklarna samman till aggregat som blir stabila genom att de inkapslas i slem. Daggmaskarnas gångar har stor betydelse för markens genomsläpplighet för vatten och utgör bra kanaler för grödans rötter att växa i (Lofs-Holmin, 1985; Blakemore, 2000). En hektar åker kan innehålla 4000 – 5000 km daggmaskgångar (Lofs-Holmin, 1985). Larsson (2002a) fann tydliga samband mellan daggmaskaktivitet och infiltrationskapacitet samt porositet i plogsula och alv.

## **Hur påverkas strukturen av odlingsåtgärder?**

Vallar har en positiv effekt på markstrukturen genom att dess rotsystem fungerar som ett stabiliserande nätverk samtidigt som det fördelar nedbrytbart organiskt material i marken. Allra bäst effekt ger en gräsvall som slås av med jämna mellanrum vilket ger maximal omsättning i rotsystemet (Oades, 1984). Genom att vallen är perenn utsätts inte heller marken för jordbearbetning vilket annars gör det organiska materialet mer åtkomligt för nedbrytning av mikroorganismer. Flera författare har funnit att perenna grödor ger en bättre markstruktur än annuella (Chantigny *et al.*, 1997; Haynes & Swift, 1990). Bearbetad svartråda är den odlingsåtgärd som är mest skadlig för strukturen (Oades, 1984).

Markfaunan gynnas av tillförsel av nedbrytbart material. För daggmaskar är mjuka blad av gräs och örter bättre föda än halm som ofta består av för stora bitar och därför inte är tillgängligt för maskarna. Perenna grödor innebär också att maskarna får arbeta ifred med sina gångar och växttäckets utgör ett skydd mot vädeväxlingar (Lofs-Holmin, 1985). Flera författare har funnit skillnader i både mikrobiologiska populationer och faunapopulationer mellan olika odlingssystem. Orsaken tros ligga i olika tillförsel av organiskt material (växtmaterial eller stallgödsel) snarare än att insatser av handelsgödsel och kemiska bekämpningsmedel skulle ha någon effekt på populationerna (Fraser *et al.*, 1988; Doran & Werner, 1990; Blakemore, 2000).

Markstrukturen påverkas också av jordbearbetning, framför allt av vid vilka tidpunkter marken bearbetas och hur tunga maskiner som används.

## **Jämförelser mellan olika odlingssystem**

### *Reganold, 1988*

Försök att jämföra markstrukturen i konventionella och ekologiska odlingssystem har gjorts tidigare. Reganold (1988) jämförde två granngårdar i Washington, U.S.A., där olika odlingssystem tillämpats. På den konventionellt brukade gården hade handelsgödsel och kemiska bekämpningsmedel använts sedan 1948 och växtföljden bestod till största delen av höstvetete och ärter. Den ekologiska gården

hade brukats utan handelsgödsel och med endast begränsad användning av kemiska bekämpningsmedel sedan marken först plöjdes 1909. Förutom höstvetete och ärter innehöll växtföljden även en grüngödslingsgröda vart tredje år. Jordarten var på båda gårdarna mjällig lättlera. På båda gårdarna användes plog, men på den konventionella gården användes även tallriksredskap regelbundet medan kultivator användes på den ekologiska gården.

Reganold fann att den ekologiskt brukade jorden hade högre mullhalt, en större mikrofauna samt högre halt polysackarider än den konventionellt brukade. Vidare märktes en tydlig skillnad i jordarnas struktur i markytan. Aggregaten i den ekologiskt brukade jorden var granulära och hade en lägre torr stabilitet än de skarpkantade aggregaten i den konventionellt brukade jorden. Den ekologiska gården hade också ett mäktigare matjordslager än den konventionella till följd av att erosionen inte varit lika kraftig. Av dessa resultat drog Reganold slutsatsen att det ekologiska odlingssystemet bättre kunde motverka erosion samt bevara bördigheten hos den undersökta jorden.

#### *Diez et al., 1991*

Diez *et al.* (1991) jämförde fem ekologiska gårdar med intilliggande konventionella gårdar under fyra år. Gårdarna var belägna i Bayern i södra Tyskland. De fem ekologiska gårdarna brukades utan handelsgödsel eller kemiska bekämpningsmedel. På alla gårdarna fanns djur och växtnäringen tillfördes därför i form av stallgödsel. Jordbearbetningen genomfördes med plog och en del andra redskap till i genomsnitt 23 cm. På de konventionella gårdarna varierade djurhållningen mer, vissa gårdar hade inga djur alls medan andra hade många djur per ha. Användning av stallgödsel var inte lika vanligt som på de ekologiska gårdarna. Jordbearbetningen utfördes uteslutande med plog till i genomsnitt 26 cm och traktorerna som användes på gårdarna var upp till dubbelt så stora som de största traktorerna på de ekologiska gårdarna. På de konventionella gårdarna odlades mer majs och sockerbetor och mindre baljväxter än på de ekologiska, men växtföljderna var inte extremt ensidiga.

Den genomförda undersökningen av markstrukturen visade knappast några skillnader mellan de konventionella och de ekologiska gårdarna. Aggregaten i matjorden skiljde sig inte åt varken till antal eller form. Dock var aggregatstabiliteten i den ytliga matjorden, mätt som genomsnittlig aggregatdiameter, något högre på de ekologiska gårdarna.

I jämförelsen mellan de konventionella och de ekologiska gårdarna ingick även en undersökning av dagmaskpopulationerna. Diez *et al.* fann ingen signifikant skillnad i antal individer per m<sup>2</sup>, däremot var biomassan signifikant större på de ekologiska gårdarna än på de konventionella. Det tyder på en högre andel juvenila djur och små arter på de konventionella gårdarna. På de ekologiska gårdarna dominerades artsammansättningen av den stora arten *Lumbricus terrestris*, på de konventionella gårdarna dominerade *Aporrectodea caliginosa* och *A. rosea*. I genomsnitt bestod populationerna på de ekologiska gårdarna av något fler arter än på de konventionella.

### *Blakemore, 2000*

Blakemore (2000) undersökte dagmaskpopulationerna på en gård i Suffolk, Storbritannien, där en del av marken odlats konventionellt, och en annan del ekologiskt sedan 1939. På den konventionella biten användes handelsgödsel och kemiska bekämpningsmedel men ingen stallgödsel tillfördes. I växtföljden ingick mest spannmål. Växtföljden på den ekologiska gården var mer varierad och innehöll bl a vall. Stallgödsel tillfördes men varken handelsgödsel eller kemiska bekämpningsmedel användes.

En inventering av dagmaskpopulationerna medelst grävning till 20 cm djup visade att de ekologiska skiftena hade signifikant fler individer per m<sup>2</sup> samt signifikant större biomassa per m<sup>2</sup> än de konventionella skiftena. Däremot var det ingen signifikant skillnad i artsammansättning. Blakemore undersökte också rötterna på höstvetepantor, varvid det visade sig att plantorna på den ekologiska delen av gården hade signifikant längre rötter än de konventionellt odlade plantorna.

## Metod

### Plats

Hushållningssällskapets "Försök med miljövänliga och uthålliga odlingssystem" (L4-3410) var utlagt på tre platser i Skåne: Bollerup, Önnestad och Östra Ljungby. De tre platserna skiljer sig åt vad det gäller jordmån och klimat och har därför olika odlingsförutsättningar. Av de tre försöksplatserna valdes Bollerup och Önnestad ut för undersökningar av markstruktur.

Bollerupsförsöket ligger i sydöstra Skåne. Jordarten är en något mullhaltig sandig lättlera. Sedan mitten av 1970-talet till försökets start ingick försöksfältet i en sexårig växtföljd med vall. Under perioden 1975 till 1985 tillfördes fastgödsel från nöt ett flertal gånger. Försöksfältet i Bollerup är det jämnaste av de tre och är också det som har högst avkastningspotential. (Ivarson *et al.*, 2001)

Önnestadsförsöket ligger ca en mil nordväst om Kristianstad i nordöstra Skåne. Jordarten är måttligt mullhaltig till mullrik lerig mo. Försöksfältet ingick från 1960 till försökets start i dåvarande lantbruksskolans drift. Växtföljden innehöll då vall, vårraps, stråsåd samt fabrikspotatis och tillförsel av stallgödsel skedde regelbundet. (Ivarson *et al.*, 2001)

Undersökningarna av markstruktur koncentrerades framför allt till Bollerup. Anledningen var att jorden där innehöll en högre andel ler än på de andra försöksplatserna och därför kunde antas ha en tydligare strukturutveckling än de andra lättare jordarna. Av de fem olika odlingsformerna som ingick i försöket valdes den kreaturslösa konventionella (led A) och den kreaturslösa, ekologiska odlingsformen (led E) ut för jämförelse. Flera tidigare undersökningar har visat att markstrukturen påverkas positivt av växtföljder med vall samt tillförsel av stallgödsel (Watts *et al.*, 1996; Ekwue, 1992). Mot bakgrund av dessa resultat

antogs att (i) strukturen i kreatursleden var bättre än i de kreaturslösa samt att (ii) en eventuell skillnad i markstruktur mellan konventionella och ekologiska odlingsformer skulle vara tydligare i leden utan kreatur än mellan leden med kreatur.

### Försöksupplägg, växtföljder och jordbearbetning

Försöket var upplagt som ett parcellförsök där varje gröda i de fem växtföljderna odlades varje år. Upprepningar fanns inte. Försöksrutornas storlek var 24 x 12 m i Bollerup och 12 x 15 m i Önnestad. I Bollerup var rutorna inte slumpvis utplacerade på försöksfältet, i Önnestad var rutorna placerade så att de olika behandlingarna var jämnt fördelade över försöksfältet. Rutornas placering framgår av bilaga 1.

Växtföljderna var anpassade till de olika försöksplatserna och de olika odlingssystemen, samtidigt hade man försökt hålla dem så lika som möjligt för att kunna göra jämförelser mellan systemen. Växtföljder för led A och E i Bollerup respektive Önnestad framgår av tabell 1 och 2. Växtföljderna i växtföljdsomlopp III hade justerats något och skiljde sig därför till viss del från de växtföljder som tillämpats under växtföljdsomlopp I och II. I Bollerup var den största skillnaden att ärtgrödan hade uteslutits från de nya växtföljderna i både led A och E på grund av problem med ärtrottröta. I led A ersattes den med havre och i led E med en blandning av blålupin och havre till mogen skörd. I Önnestad innehöll de nya växtföljderna sockerbetor. För att göra plats för dem togs höstraps bort från led A och åkerböna från led E. Grödornas inbördes ordning ändrades också. Gröngödslingen i led E bestod från växtföljdsomlopp II av rödklöver och engelskt rajgräs. Tidigare utgjordes gröngödslingen av en blandning av olika klöverarter och anlades i renbestånd i början av juli efter en mekanisk halvträda.

Tabell 1. Växtföljder på försöksplatsen Bollerup

Bollerup	
A	E
höstvetete + insådd, rödsvingel	höstvetete
vårkorn	åkerböna + insådd, rajgräs
höstraps	korn + insådd, gröngödsling
höstvetete	gröngödsling
sockerbetor	sockerbetor
havre	blålupin / havre till mognad

Tabell 2. Växtföljder på försöksplatsen Önnestad

Önnestad	
A	E
ärter	råg + insådd, gröngödsling
råg + insådd, rödsvingel	gröngödsling
sockerbetor	sockerbetor
korn + insådd, rajgräs	korn + insådd, rödklöver & rajgräs
potatis	potatis
råg + insådd, rödsvingel	ärter

Jordbearbetningen var lika i alla odlingsformer förutom då insådda fånggrödor orsakade vissa skillnader. I Bollerup tillämpades höstplöjning till samtliga grödor. I Önnestad tillämpades vårplöjning de flesta år till de vårsådda grödorna och höstplöjning till de höstsådda. Plöjningen utfördes till ca 25 cm djup.

### Undersökningsmetoder

För att få en så komplett bild som möjligt av markstrukturen i de olika odlingsystemen undersöktes flera olika fysikaliska och biologiska faktorer. Dessa var aggregathållfasthet, vattengenomsläpplighet, penetrationsmotstånd, mängden rötter samt mängden maskar. På Bollerup undersöktes samtliga av dessa faktorer medan endast penetrationsmotstånd och mängden rötter undersöktes på Önnestad.

#### Aggregathållfasthet

Jordprover togs ut från den ytliga matjorden på två platser i varje ruta i led A och E. Ur varje prov togs 30 st aggregat ut (8 – 16 mm), vilka sedan lufttorkades i 35°C i tre veckor. Hållfastheten för varje aggregat bestämdes genom att mäta kraften som krävdes för att få aggregatet att spricka när det trycktes ihop mellan två metallplattor. Hållfastheten (Y) beräknades ur kraften som lades på aggregatet (F) enligt:

$$Y = 0,6 * (F / D^2)$$

där D är aggregatets diameter (Dexter & Kroesbergen, 1985). Medelvärdet av stabiliteten för de 60 aggregaten från varje ruta beräknades. Eftersom aggregathållfastheten påverkas av jordens kornstorleksfördelning och mullhalt mättes även dessa egenskaper för de jordprover som tagits ut.

#### Vattengenomsläpplighet

På två ställen i varje ruta mättes genomsläppligheten i alven med hjälp av stålcyllindrar (diameter 40 cm, höjd 40 cm) som slogs ner i botten på 30 cm djupa gropar. I cylindrarna hölls vatten som hölls på en jämn nivå av 10 cm djup under en timme för att alven skulle bli vattenmättad. Efter en timme mättes hur mycket vattenytan i cylindrarna sjönk under 10 minuter. Ur detta beräknades alvens mättade genomsläpplighet i mm per minut. Medelvärdet av de två mätningarna i varje ruta beräknades.

### *Penetrationsmotstånd*

Markens penetrationsmotstånd mättes med en penetrometer (06.15 Penetrologger, Eijkelkamp Agrisearch Equipment, 2000). Penetrometern bestod av en konisk metallspets (tvärsnittsarea 1 cm<sup>2</sup>) som var fästad på ett cylindriskt skaft med en något mindre diameter än spetsen, samt en logger. Spetsen trycktes ner i marken till 50 cm djup varvid kraften som krävdes för detta registrerades för varje cm. Penetrationsmotståndet ( $Q_{pr}$ ) för varje djup beräknades enligt:

$$Q_{pr} = F_{pr} / A_{pr}$$

där  $F_{pr}$  är kraften och  $A_{pr}$  är metallspetsens tvärsnittsarea (Bengough & Mullins, 1990). I varje ruta gjordes 10 st penetrometerstick på en diagonal linje. Medelvärde för varje djup i varje ruta beräknades.

### *Rotanalys*

Mängden rötter på tre olika djup (10-15, 30-35 och 50-55 cm) mättes i sockerbeter, en gröda som fanns i båda leden på de två försöksplatserna. Ostörda jordprover (50 mm höga, 72 mm diameter) togs ut på två platser i varje ruta, sammanlagt togs sex prover per nivå och ruta. Sockerbetsrötterna tvättades noggrant och försiktigt fram ur jordproverna med vatten och placerades i ett grunt, genomskinligt kärl. Med hjälp av en scanner skapades därefter digitala bilder av rötterna. Ur bilderna kunde rötternas längd och diameter beräknas med bildanalysprogrammet RHIZO (version 5.0 a PRO) (Régeants Instruments, 2001) som installerats på en PC. Förutom sockerbetsrötterna syntes även en del skräp (halmrester, halvt nedbrutna rötter etc) på de digitala bilderna varav det mesta var smått (< 0,15 mm). Vid beräkningen av den totala rotlängden per prov inkluderades därför bara de rötter vars diameter var större än 0,15 mm. Medelvärde för rotlängden per jordprov beräknades för de tre djupen i varje ruta.

### *Maskinventering*

För att uppskatta dagmaskpopulationen användes den sk formalinmetoden. En plåt-cylinder (400 mm diameter) slogs ner i marken, varpå en formalinlösning hölldes i cylindern och tilläts tränga ner i jorden. Maskarna kröp då upp till ytan och kunde samlas in. 5 liter av en 0,275 % lösning användes till 0,125 m<sup>2</sup>. Dagmaskarna räknades, vägdes och vuxna maskar artbestämdes (maskar mindre än 5 cm var inte möjliga att artbestämma). Undersökningen gjordes på två ställen i varje ruta i led A och E.

### **Statistisk analys**

Medelvärde för varje variabel för varje led beräknades ur värdena för varje ruta. Resultaten för led A respektive E jämfördes med dubbelsidigt t-test. I de fall där de enskilda rutornas behandling hade betydelse för mätresultatet gjordes ett parat t-test där tre rutor i led A jämfördes med tre rutor i led E som fått samma behandling.



## Resultat

### Aggregathållfasthet

Mätningen av aggregathållfasthet gav liknande resultat för led A och E på Bollerup (tabell 3). Medelvärdet av aggregathållfastheten för alla rutor i respektive led var något högre i det konventionella ledet A (134 kPa) än i det ekologiska ledet E (126 kPa). Ett t-test visade dock att skillnaden inte var signifikant.

Medelvärdet av lerhalten i den ytliga matjorden var signifikant högre i det konventionella ledet A (16,6 %) än i det ekologiska ledet E (14,2 %). ( $P < 0,0001$ ). Även mullhalten skilde sig signifikant mellan leden. Medelvärdet av mullhalten var 2,53 % i det konventionella ledet A och 2,20 % i det ekologiska ledet E. ( $P = 0,0006$ ).

Tabell 3. Hållfasthet för aggregat 8-16 mm, lerhalt samt mullhalt i den ytliga matjorden, Bollerup. A = konventionellt led, E = ekologiskt led

Ruta	Aggregathållfasthet (kPa)	Lerhalt (%)	Mullhalt (%)
A 1	155,0	16,9	2,4
A 2	120,2	18,5	2,6
A 3	177,2	16,2	2,5
A 4	121,3	15,9	2,6
A 5	101,5	16,4	2,4
A 6	189,5	15,9	2,7
<b>Medel A</b>	<b>134,1</b>	<b>16,6</b>	<b>2,5</b>
E 25	169,4	15,0	2,2
E 26	105,6	14,7	2,3
E 27	115,8	14,2	2,1
E 28	140,4	13,8	2,3
E 29	79,0	13,9	2,1
E 30	147,5	13,6	2,3
<b>Medel E</b>	<b>126,3</b>	<b>14,2</b>	<b>2,2</b>

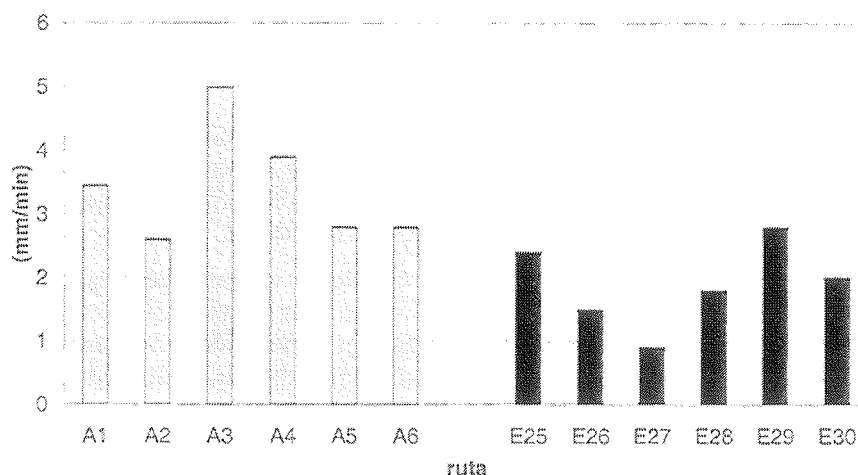


Fig 2. Vattengenomsläpplighet i alven (30 cm), Bollerup. A=konventionellt led, E=ekologiskt led.

### Vattengenomsläpplighet

Ett medelvärde för vattengenomsläpplighet i alven beräknades ur resultaten för varje ruta i de två leden på Bollerup (figur 2). Vattengenomsläppligheten i alven var signifikant högre i det konventionella ledet (A) än i det ekologiska ledet (E). Medelvärdet för led A var 3,43 mm/min och för led E 1,90 mm/min. ( $P = 0,0080$ ).

### Penetrationsmotstånd

#### *Bollerup*

Penetrationsmotståndet (0-50 cm) för varje ruta slogs ihop till ett medelvärde för alla sex rutor i led A respektive led E. Resultatet redovisas i form av djupkurvor i fig 3. Båda kurvorna visar ett maximum mellan 30 och 40 cm djup, dvs 10 cm under plöjningsdjup. Penetrationsmotståndet för led A och led E var inte signifikant åtskilt förutom på nivån under 40 cm djup. Eftersom penetrationsmotståndet påverkas av tidigare utförd jordbearbetning gjordes ett parat t-test där en ruta i led A jämfördes med en ruta i led E som haft samma gröda och därför fått samma jordbearbetning den senaste växtodlingssäsongen. Det parade t-testet visade emellertid inte heller några signifikanta skillnader mellan leden.

#### *Önnestad*

Även för Önnestad följs kurvorna för penetrationsmotstånd i led A och E tätt åt (fig 4). Penetrationsmotståndet för båda leden ökar endast långsamt med djupet ner till plöjningsdjup (25 cm) för att därefter öka snabbare. Varken oparat eller parat t-test visar några signifikanta skillnader mellan leden.

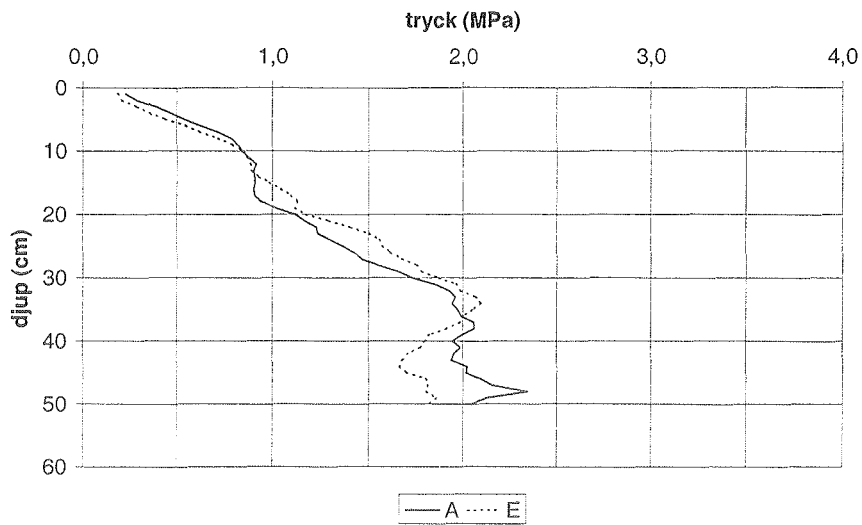


Fig. 3. Penetrationsmotstånd 0 – 50 cm för konventionellt (A) och ekologiskt led (E), Bollerup.

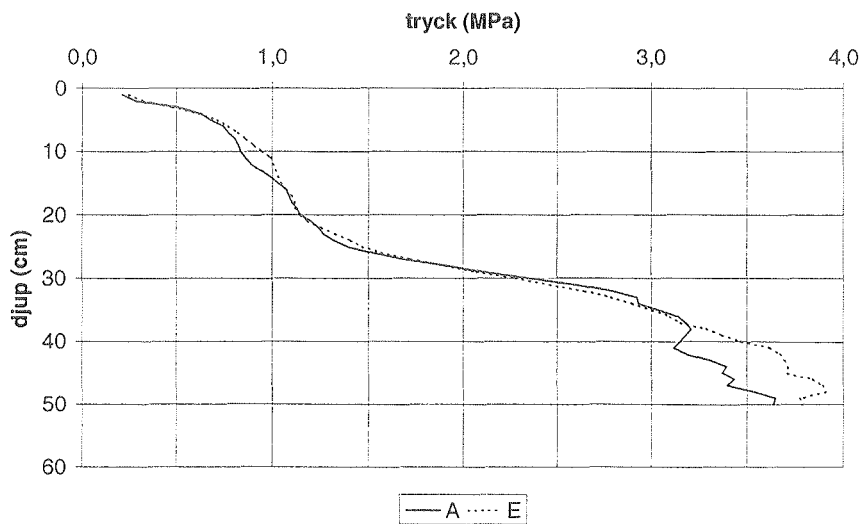


Fig. 4. Penetrationsmotstånd 0 – 50 cm för konventionellt (A) och ekologiskt led (E), Önnestad.

## Rotanalys

### *Bollerup*

Den genomsnittliga rotlängden för sockerbetor per prov på nivå 10-15 cm var signifikant större för det ekologiska ledet (E) än för det konventionella ledet (A) (fig 5). Medelvärdet för led E var 699 cm och för led A 329 cm. ( $P = 0,0022$ ). På nivå 30-35 cm samt nivå 50-55 cm fanns inga signifikanta skillnader mellan leden.

### *Önnestad*

Den genomsnittliga rotlängden per prov på nivå 30-35 cm var signifikant större för det ekologiska ledet (E) än för det konventionella ledet (A) (fig 6). Medelvärdet för led E var 249 cm och för led A 90 cm. ( $P = 0,0035$ ). På nivå 10-15 cm samt nivå 50-55 cm fanns inga signifikanta skillnader mellan leden.

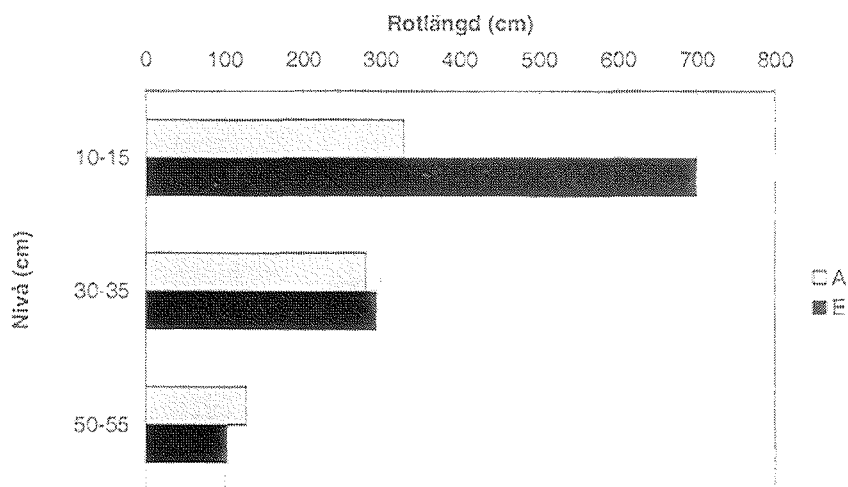


Fig. 5. Rotlängd per prov på tre nivåer för konventionellt (A) och ekologiskt led (E), Bollerup.

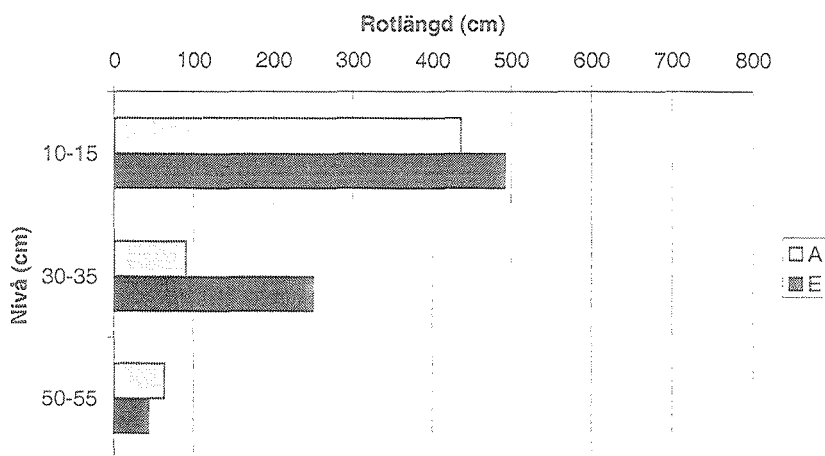


Fig. 6. Rotlängd per prov på tre nivåer för konventionellt (A) och ekologiskt led (E), Önnestad.

## Maskinventering

### *Antal individer och biomassa*

Inventeringen av dagmask gav inga signifikanta skillnader mellan led A och E, vare sig med avseende på antal individer per m<sup>2</sup> eller biomassa per m<sup>2</sup> (figur 7). Andelen individer som var mindre än 5 cm var 76 % i led A och 44 % i led E.

Förekomsten av dagmask varierade mycket mellan rutorna i de två leden. I de rutor där man hade skördat sockerbetor ett par veckor innan provtagningen (A 5 och E 29) återfanns inga dagmaskar alls. Inte heller i ruta E 25, som vid provtagningstillfället hade stubb efter höstvet, hittades några maskar. Flest dagmaskar återfanns i den äldsta grüngödslingsgrödan i ruta E 28 (40 individer per m<sup>2</sup>).

### *Artsammansättning*

Fyra olika dagmaskarter återfanns i båda leden: *Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea longa*, *A. caliginosa* och *A. rosea*. *L. terrestris* och *A. longa* gräver båda djupa, vertikala, halvpermanenta gångar. *L. terrestris* blir 90 - 300 mm lång och gräver vanligtvis ner till 1 m djup, vid gynnsamma förhållanden kan den gå ner till 2,5 m. *A. longa* blir 90 - 150 mm lång och gräver ner till ca 45 cm. *A. caliginosa* och *A. rosea* håller sig vanligtvis i de översta 10 - 20 cm av marken där de ständigt gräver nya, horisontella gångar i jakt på föda. *A. caliginosa* blir 40 - 100 mm och *A. rosea* 25 - 85 mm. (Edwards & Lofty, 1977) Antal individer av de olika arterna samt dessas andel av det totala antalet räknade maskar i varje led anges i tabell 4.

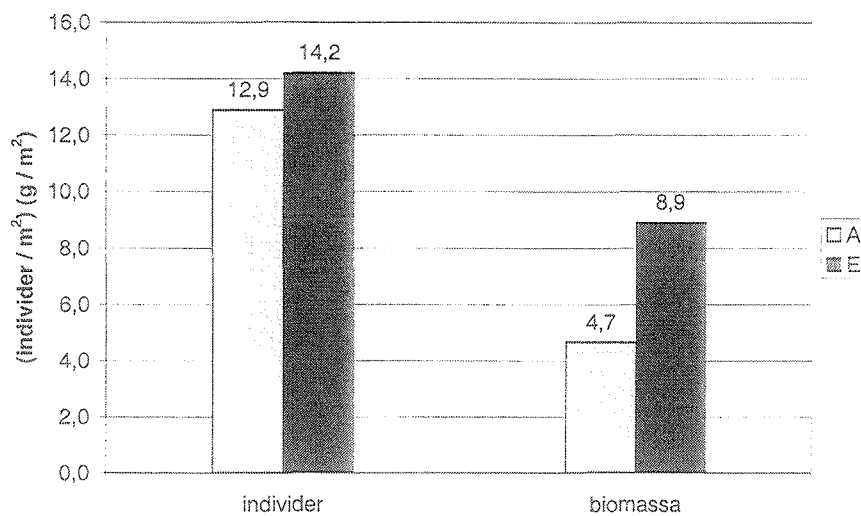


Fig. 7. Daggmaskförekomst (antal individer och mängd biomassa per m<sup>2</sup>) för konventionellt (A) och ekologiskt led (E) i Bollnäs.

Tabell 4. Daggmaskpopulationens artsammansättning för konventionellt (A) och ekologiskt led (E) i Bollnäs. Endast individer större än 5 cm har kunnat artbestämmas

art	A		E	
	antal individer	andel (%)	antal individer	andel (%)
<i>L. terrestris</i>	1	3,5	1	3,1
<i>A. longa</i>	4	13,8	9	28,1
<i>A. caliginosa</i>	3	10,3	5	15,6
<i>A. rosea</i>	1	3,5	1	3,1

## Diskussion

### Aggregathållfasthet

En hög aggregathållfasthet är negativt eftersom det gör jorden svårbearbetad och försämrar förutsättningarna för grödans rottillväxt. Vid låg hållfasthet för aggregat 8-16 mm är det däremot lätt att få en bra såbädd, eftersom aggregaten lätt faller isär vid belastning. En såbädd ska helst ha mer än 50 % aggregat < 5 mm i ytan (Håkansson et al., 2002).

Aggregathållfastheten är beroende av jordens lerhalt och mullhalt. Hög halt av ler ger hög aggregathållfasthet eftersom lerpartiklarna binds hårt till varandra (Arvidsson, 2000). En hög mullhalt ger däremot låg aggregathållfasthet. Det organiska materialet gör aggregaten mer heterogena och porösa, vilket gör dem känsligare för yttre belastning. Det organiska materialet kan även bilda beläggningar på mikroaggregaten vilket minskar risken för att lerpartiklar lossnar och bidrar till att kitta ihop jorden (Oades, 1984; Tisdall & Oades, 1982).

Undersökningen av matjorden i försöket i Bollerup visade att både lerhalten och mullhalten var signifikant högre i det konventionella ledet än i det ekologiska. Eftersom lerhalten inte påverkas av odlingsåtgärder, måste skillnaden mellan leden bero på en jordartsgradient i försöksfältet. Mullhalten är visserligen möjlig att påverka genom odlingsåtgärder, men i det här fallet är även skillnaden i mullhalt mellan leden kopplad till jordartsgradienten. I samband med att försöket startades 1986 gjordes en mullhaltsanalys och resultaten därifrån visar att det redan då fanns en signifikant skillnad i mullhalt mellan leden. Mullhalten är ofta högre i en lerjord än i en lättare jord under i övrigt lika betingelser (Persson & Ottabong, 1994).

Den högre lerhalten i det konventionella ledet ökar alltså aggregatens hållfasthet medan den högre mullhalten motverkar hållfastheten. Det verkar som om effekterna av den högre lerhalten och den högre mullhalten tar ut varandra eftersom ingen signifikant skillnad i aggregathållfasthet kunde ses mellan led A och led E. Den uppmätta aggregathållfastheten varierade mycket mellan rutorna i varje led till följd av vilken gröda som odlats och vilka bearbetningsåtgärder som utförts nyligen.

### Vattengenomsläpplighet

God genomsläpplighet i markprofilen är nödvändig för att överskottsvatten snabbt ska kunna ledas bort. Genomsläppligheten beror av mängden kontinuerliga makroporer som torksprickor, maskgångar och kanaler efter nedbrutna rötter. Porerna är även viktiga för luftcirkulationen i marken, hög genomsläpplighet innebär därför också att markstrukturen tillåter god syretransport till rötterna.

Mätningen i fält visade en signifikant skillnad i genomsläpplighet i alven mellan de två leden. Denna skillnad beror med stor sannolikhet på en jordartsgradient i alven på försöksfältet. Det konventionella ledet har lagts ut där alven är som mest genomsläpplig, det ekologiska ledet har lagts ut längs försöksfältets motstående sida (bilaga 1). Att jordarten skiljde sig åt kunde ses med blotta ögat när groparna

till genomsläpplighetsmätningarna grävdes, det märktes även vid mätningen av penetrationsmotstånd eftersom man då stötte på sten betydligt oftare i led A än i led E. Förekomsten av sten gjorde det dessutom svårt att slå ner stålcyldrarna till genomsläpplighetsmätningen vilket kan ha lett till mätfel p g a läckage.

En annan förklaring till skillnaden i genomsläpplighet hade varit tänkbar ifall den intensivare gödslingen i led A hade lett till att grödorna fått ett mer utvecklat rotsystem. Ett stort rotsystem ger fler torksprickor och lämnar efter sig fler rotgångar än ett litet. Rotanalysen för sockerbeter visar dock inga tendenser till att grödorna i led A skulle ha en större rotmängd i alven än de i led E och teorin kan därmed avskrivas. Eftersom maskinventeringen inte visade någon skillnad i antal dagmaskar mellan leden kan inte heller det vara en förklaring till skillnaden i genomsläpplighet.

### **Penetrationsmotstånd**

Ett högt penetrationsmotstånd tyder på en kompakt markprofil där det är svårt för växten att breda ut rotsystemet. Penetrometerspetsen är konstruerad för att efterlikna en rotspets. Är marken lucker och penetrationsmotståndet lågt, tar sig även roten lätt fram genom marken.

Även om penetrationsmotståndet på olika djup skiljer sig en del mellan enskilda rutor så finns det inga signifikanta skillnader mellan medelvärdena för led A och E ner till 40 cm djup vare sig i Bollerup eller Önnestad. På Bollerup är emellertid penetrationsmotståndet under 40 cm djup i led A signifikant högre än i led E. Denna skillnad beror antagligen på att alven i led A innehåller mer sten.

Mätresultatet kan ha påverkats av att de ekologiska leden i både Bollerup och Önnestad hade fler bevuxna rutor än de konventionella leden vid mättillfället. Växande grödor tar upp vatten ur marken, och ju lägre vattenhalt i marken desto högre blir penetrationsmotståndet. Särskilt gröngödslingsgrödorna som ingår i de ekologiska leden kan med sina väl utvecklade rotsystem och jämförelsevis stora bladmassa ta upp mycket vatten. Detta kan ha gjort att penetrationsmotståndet i de ekologiska leden blev något högre än det skulle ha blivit om markens vattenhalt varit densamma över hela försöksfälten.

### **Rotanalys**

Rotlängden är ett direkt mått på hur markstrukturen påverkar växten. Finns det mycket rötter tyder det på att det är lätt för växten att breda ut sitt rotsystem, vilket i sin tur tyder på en god markstruktur. Finns det lite rötter kan man anta att markstrukturen är mindre gynnsam. I det här fallet undersöktes rotutbredningen hos sockerbeta.

Rotlängden kan påverkas av tillgången på näring. Låg tillgång på näring påverkar inte bara den ovanjordiska biomassan (skottet) utan även den underjordiska (rotsystemet). Tillräcklig tillgång på näring gynnar ett kraftigt och utbrett rotsystem (Tisdale *et al.*, 1999). Man kan anta att tillgången på lättillgänglig näring är större i de konventionella leden än i de ekologiska p g a användningen av handelsgödsel.



Tidigare mätningar i försöken har också visat att sockerbetsskördarna i genomsnitt är högre i de konventionella leden, även resultatet från skörden 2002 visar samma förhållande. De högre skördarna borde innebära att även grödornas rotsystem är kraftigare, men trots det återfanns signifikant mer sockerbetsrötter i det ekologiska ledet E på nivån 10-15 cm i Bollerup och på nivån 30-35 cm i Önnestad. På övriga nivåer fanns inga signifikanta skillnader mellan leden. Att rotlängden är större i de ekologiska leden beror antagligen på en gynnsammare markstruktur. Det stämmer överens med resultat från Blakemore (2000) som fann att höstvetete som odlats ekologiskt hade signifikant längre rötter än höstvetete som odlats konventionellt på samma gård.

En orsak till den större rotlängden på 10-15 cm djup i Bollerup kan vara att aggregatstabiliteten i markytan är något lägre i rutan med sockerbeter i led E (E 29) än sockerbetsrutan i led A (A 5). Den låga aggregatstabiliteten gör att jorden lätt faller sönder till aggregat av lämplig storlek, vilket underlättar rotsystemets utbredning. Ytterligare en orsak skulle kunna vara att ruta E 29 har ett något högre penetrationsmotstånd i plogsulan än ruta A 5. Växten kan kompensera den låga genomträngligheten i plogsulan genom att öka mängden rötter i matjorden. Att rotlängden på nivån 30-35 cm inte är större i det ekologiska ledet kan även det bero på den tydligare plogsulan.

## Maskinventering

Daggmaskar trivs där markstrukturen är god, men bidrar även själva till strukturutvecklingen. En stor daggmaskpopulation tyder därmed på god struktur. Antalet individer per m<sup>2</sup> kan betecknas som "mycket lågt" för båda leden i Bollerup. Mängden biomassa var "mycket låg" för det konventionella ledet och "låg" för det ekologiska ledet (Larsson, 2002b).

Eftersom så få individer återfanns vid inventeringen av daggmask kan egentligen inga slutsatser dras om populationerna i de två leden. De låga individtalen kan delvis förklaras med den låga mullhalten i försöksfältet. Markfaunan är beroende av markens organiska material och vid mullhalter under 3 % är markfaunan oftast fattig (Larsson, 2002b). Mullhalten i försöksfältet i Bollerup ligger mellan 2,0 och 2,6 %.

Att försöket är upplagt som ett parcellförsök med relativt små försöksrutor komplicerar tolkningen av resultaten ytterligare. Olika arter av daggmask kan förflytta sig minst 20 m under en natt (Blakemore, 2000) och försöksrutor där det för tillfället finns gott om föda kan dra till sig stora mängder mask. Flest maskar per m<sup>2</sup> återfanns också i den äldsta gröngödslingsgrödan i led E (ruta E 28).

Mängden organiskt material som är tillgängligt för daggmaskarna som föda är den enskilt viktigaste faktor som påverkar daggmaskpopulationerna i åkermark (Edwards & Lofty, 1977). Fleråriga klövervallar är det i särklass bästa för daggmaskarna och även andra baljväxtgrödor har en gynnsam effekt (Larsson, 2002ab). Med tanke på att den ekologiska växtföljden innehåller fler grödor av det här slaget än den konventionella, kunde man ha väntat sig att det ekologiska ledet skulle ha ett större antal individer per m<sup>2</sup>. Inventeringen visade emellertid ingen

signifikant skillnad i individtätthet mellan leden. Inte heller Diez *et al.* (1991) fann skillnader i antal individer av dagmask mellan ekologiska och konventionella odlingssystem, det gjorde däremot Blakemore (2000).

Skillnaden i biomassa per m<sup>2</sup> mellan leden i Bollerup var större än skillnaden i antal individer, men inte heller den var signifikant. I motsats till detta uppmätte både Diez *et al.* (1991) och Blakemore (2000) signifikant större biomassa i ekologiska odlingssystem än i konventionella. Att led E hade en större biomassa per m<sup>2</sup> än led A, trots att antalet individer var ungefär lika för de båda leden, tyder på att maskarna i led E var större. Det bekräftas även av att andelen individer under 5 cm var lägre i led E än i led A. Orsaken till detta kan antingen vara att led E hade färre juvenila djur eller att det hade fler individer av stora arter. Resultatet av artbestämningen tyder på det sistnämnda. Led E hade mer än dubbelt så många individer av den stora arten *Apporectodea longa* (90-150 mm) som led A.

I övrigt skiljde sig inte leden nämnvärt åt vad gäller artsammansättning. Samma fyra arter återfanns i båda leden och med undantag för *A. longa* utgjorde de olika arterna ungefär samma andel av den totala mängden räknade dagmaskar i varje led. Med endast fyra funna arter kan artkomplexet betecknas som "fattigt" (Larsson, 2002b). Inte heller Blakemore (2000) och Diez *et al.* (1991) fann någon skillnad i antalet arter mellan ekologiska och konventionella odlingssystem. Diez *et al.* (1991) fann emellertid en viss skillnad i vilka arter som dominerade.

## Metod

Som tidigare nämnts observerades skillnader i jordarten i matjord och alv mellan det konventionella och det ekologiska ledet i Bollerup. Det finns en jordartsgradient i försöksfältet och som försöket är upplagt har alla rutor i led A hamnat i den del där matjorden innehåller mest ler och mull och där alven är som mest genomsläpplig. Skillnaden i matjorden påverkar aggregathållfastheten och rottillväxten, skillnaden i alven påverkar penetrationsmotståndet, genomsläppligheten och rottillväxten. Sammantaget innebär jordartsgradienten att grödorna i de två leden har olika förutsättningar, vilket med säkerhet har påverkat även tidigare mätningar som har gjorts i försöket, t ex av skördenivåer. Problemet hade kunnat undvikas genom att låta rutornas placering på försöksfältet vara slumpmässig. På försöksplatsen Önnestad är rutorna placerade så att de olika behandlingarna är jämnt fördelade över försöksfältet, men där är strukturutvecklingen inte så tydlig på den lätta jordarten. Därför gjordes endast två mätningar där (penetrationsmotstånd och rotanalys).

Undersökningarna visar stor variation mellan rutorna i samma led, vilket beror på att rutorna vid mättillfället var bevuxna med olika grödor och att de därför nyligen bearbetats och skötts olika. Det fanns t ex flest maskar i den äldre grön gödslingsgrödan och aggregathållfastheten var lägst i rutorna med sockerbetor. Med så stor variation mellan rutorna är det svårt att se tydliga skillnader mellan leden. Den här undersökningen syftade emellertid till att mäta den sammanlagda effekten på markstrukturen av alla ingående grödor och åtgärder i ett odlingssystem. Mer rättvisande resultat skulle kunna fås om mätningarna upprepades under flera år.

Vad gäller urvalet av försöksled hade det naturligtvis varit mest intressant att göra mätningar i samtliga rutor i alla de fem led som ingår i försöket. Man hade därmed fått en uppfattning om i vilken utsträckning vall och användning av stallgödsel påverkar markstrukturen. Nu var istället undersökningarna tvugna att begränsas till två odlingssystem om projektet inte skulle ta längre tid än de tjugo veckor som är tidsramen för ett examensarbete.

### **Samman tagen tolkning**

Den här studien syftade till att mäta den sammanlagda effekten på markstrukturen av alla ingående grödor och åtgärder i de två odlingssystemen. Har syftet uppnåtts? Är det möjligt att utifrån de uppmätta resultaten dra slutsatser om odlingssystemens inverkan? Svaret blir både ja och nej. Eftersom rutorna inte är slumpvis placerade i Bollerup, går det inte att avgöra i vilken grad uppmätta skillnader mellan leden beror på platsbundna skillnader i försöksfältet och i vilken grad de beror på att odlingssystemen har olika effekt på markstrukturen. Det är med andra ord inte möjligt att på något sätt jämföra det konventionella och det ekologiska ledet i Bollerup med varandra.

Om syftet däremot är att endast undersöka odlingssystemen var för sig, utan att jämföra dem med varandra, kan man ha god nytta av mätresultaten. Genom att upprepa mätningarna under en längre tidsperiod är det möjligt att följa hur vart och ett av odlingssystemen utvecklas med tiden. Markstrukturen i ett odlingssystem kan jämföras med hur markstrukturen var i samma system 10 – 20 år tidigare. Ökar eller minskar genomsläppligheten? Blir hållfastheten högre eller lägre? Tyvärr har det inte tidigare gjorts några undersökningar av markstrukturen i försöket i Bollerup.

Det kan också diskuteras om det alls är meningsfullt att jämföra de två odlingssystemen med varandra. Det är kanske mer motiverat att försöka utveckla vart och ett av odlingssystemen så att de fungerar så väl som möjligt utifrån deras olika förutsättningar.

## Slutsatser

- Någon genomgående skillnad mellan odlingssystemen avseende deras effekt på markstrukturen kunde inte visas.
- I Önnestad var rotlängden på nivån 30-35 cm signifikant större i det ekologiska ledet än i det konventionella.
- I försöksfältet i Bollerup fanns en jordartsgradient. Det konventionella ledet var utlagt i den del av fältet där matjorden innehöll mest ler och mull, och där jordarten i alven var som lättast. Det ekologiska ledet var utlagt i den andra änden av fältet.
- Det faktum att försöksrutornas placering i fältet i Bollerup inte är slumpmässig innebär att det inte går att avgöra i vilken grad uppmätta skillnader mellan leden beror på platsbundna skillnader i försöksfältet och i vilken grad de beror på att odlingssystemen har olika effekt på markstrukturen.

## Litteratur

- Arvidsson, J. 2000. Mullhalt och fysikaliska egenskaper i bördighetsförsöken. I *Rapporter från jordbearbetningsavdelningen* 98, 42-47. SLU.
- Arvidsson, J. & Pettersson, O. 1995. Jordpackning och markstruktur. *Aktuellt från lantbruksuniversitetet – mark/växter* 435. SLU.
- Bengough, A.G. & Mullins, C.E. 1990. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *Journal of Soil Science* 41, 341-358
- Blakemore, R.J. 2000. Ecology of earthworms under the 'Haughley Experiment' of organic and conventional management regimes. *Biological Agriculture and Horticulture* 18, 141-159.
- Chantigny, M.H., Angers, D.A., Prévost, D., Vézina, L.P. & Chalifour, F.P. 1997. Soil aggregation and fungal and bacterial biomass under annual and perennial cropping systems. *Soil Science Society of America Journal* 61, 267-272.
- Dexter, A.R. 1988. Advances in characterization of soil structure. *Soil & Tillage Research* 11, 199-238.
- Dexter, A.R. & Kroesbergen, B. 1985. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. *Journal of Agricultural Engineering Research* 31, 139-147.
- Diez, T., Beck, T., Borchert, H., Capriel, P., Krauss, M. & Bauchhenß, J. 1991. Vergleichende Bodenuntersuchungen von konventionell und alternativ bewirtschafteten Betriebschlägen – 2. Mitteilung. *Landwirtschaftliches Jahrbuch* 4, 409-443. Bayerisches Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau.
- Doran, J.W. & Werner, M.R. 1990. Management and soil biology. I *Sustainable Agriculture in Temperate Zones* (red. Francis C.A., Flora C.B. & King L.D.), 205-229. Wiley and Sons. New York.
- Edwards, C.A. & Lofty, J.R. 1977. *Biology of earthworms*. 2nd edition. Chapman and Hall. London & New York.
- Ekwue, E.I. 1992. Effect of organic and fertiliser treatments on soil physical properties and erodibility. *Soil & Tillage Research* 22, 199-209.
- Fraser, D.G., Doran, J.W., Sachs, W.W. & Lesoing, G.W. 1988. Soil microbial populations and activities under conventional and organic management. *Journal of Environmental Quality* 25, 135-152.
- Gunnarsson, A., Nilsson, C., Nilsson, H., Pettersson, P., Stenberg, B. & Sönne, B. 1994. Försök med olika odlingsformer. *Meddelande från södra jordbruksförsöksdistriktet* 41. SLU.
- Haynes, R.J. & Swift R.S. 1990. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *Journal of Soil Science* 41, 73-83.
- Heinonen, R. 1985. Markstrukturbildningens teori. *Fakta – mark/växter* 27. SLU.
- Håkansson, I., Myrbeck, Å. & Etana, A. 2002. A review of research on seedbed preparation for small grains in Sweden. *Soil & Tillage Research* 64, 23-40.

- Ivarson, J., Gunnarsson, A., Andersson, I., Fogelfors, H., Folkesson, Ö., Hansson, E. & Lundkvist, A. 2001. Försök med konventionella och ekologiska odlingsformer 1987-1998. *Meddelande från södra jordbruksförsöksdistriktet* 53. SLU.
- KRAV. 2002. KRAV – regler 2002. *Kontrollföreningen för ekologisk odling*. Uppsala.
- Larsson, H. 2002a. Daggmaskar lyfter skörden. *Betodlaren* 3 (2002), 44-47.
- Larsson, H. 2002b. Daggmaskar. I *4T Tillväxt Till Tio Ton, Slutrapport*.
- Lofs-Holmin, A. 1985. Vad gör daggmaskarna i jorden? *Fakta – markväxter* 15. SLU.
- Oades, J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76, 319-337.
- Persson, J. & Otabbong, E. 1994. Åkermarkens bördighet. I *Markens bördighet*, 9-69. Naturvårdsverket. Stockholm.
- Reganold, J.P. 1988. Comparison of soil properties as influenced by organic and conventional farming systems. *American Journal of Alternative Agriculture* 4 (1988) 144-154.
- Tisdale, S.L., Havlin, J.L., Beaton, J.D. & Nelson, W.L. 1999. *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. 6th edition. Prentice Hall. Upper Saddle River.
- Tisdall, J.M. & J.M. Oades. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33, 141-163.
- Watts, C.W., Whalley, W.R., Longstaff, D.J., White, R.P., Brooke, P.C. & Whitmore, A.P. 1996. Aggregation of a soil with different cropping histories following the addition of organic materials. *Soil Use and Management* 17, 263-268.

## Bilaga 1 - Fältplaner

### Bollerup

Tabell 1:1. Fältplan för försöksplatsen Bollerup, skördeår 2002

Höstvete + insådd, rödsvingel	<b>A1</b>	<b>B7</b>	<b>C13</b>	<b>D19</b>	<b>E25</b> Höstvete
Vårkorn	<b>A2</b>	<b>B8</b>	<b>C14</b>	<b>D20</b>	<b>E26</b> Åkerböna + insådd, rajgräs
Höstraps	<b>A3</b>	<b>B9</b>	<b>C15</b>	<b>D21</b>	<b>E27</b> Korn + insådd, gröngödsling
Höstvete	<b>A4</b>	<b>B10</b>	<b>C16</b>	<b>D22</b>	<b>E28</b> Gröngödsling
Sockerbetor	<b>A5</b>	<b>B11</b>	<b>C17</b>	<b>D23</b>	<b>E29</b> Sockerbetor
Havre	<b>A6</b>	<b>B12</b>	<b>C18</b>	<b>D24</b>	<b>E30</b> Blålupin/ havre

## Önnestad

Tabell 1:2. Fältplan för försöksplatsen Önnestad, skördeår 2002

<b>C6</b>	<b>D12</b>	<b>E18</b> Ärter	<b>B24</b>	<b>A30</b> Råg + insådd, rödsvingel
<b>E5</b> Gröngödsling	<b>B11</b>	<b>D17</b>	<b>A23</b> Råg + insådd, rödsvingel	<b>C29</b>
<b>D4</b>	<b>A10</b> Sockerbetor	<b>C16</b>	<b>E22</b> Sockerbetor	<b>B28</b>
<b>C3</b>	<b>E9</b> Råg + ins rödklöver, rajgräs	<b>B15</b>	<b>D21</b>	<b>A27</b> Ärter
<b>B2</b>	<b>D8</b>	<b>A14</b> Korn + insådd, rajgräs	<b>C20</b>	<b>E26</b> Korn + ins rödklöver, rajgräs
<b>A1</b> Potatis	<b>C7</b>	<b>E13</b> Potatis	<b>B19</b>	<b>D25</b>



## MEDDELANDEN FRÅN JORDBEARBETNINGSAVDELNINGEN

Nr	År	
1	1992	Johan Arvidsson, Sixten Gunnarsson, Lena Hammarström Inge Håkansson, Tomas Rydberg, Maria Stenberg, Bo Thunholm: 1990 års jordbearbetningsförsök. 40 s.
2	1992	Mats Tobiasson: EKOODLAREN - En studie av ett kombinationsredskap för sådd och ogräshackning, utförd våren och sommaren 1991. Examensarbete. 19 s.
3	1993	Mats Tobiasson: Såbillar för reducerad bearbetning. Undersökningar av nya såbillar för odlingssystem med reducerad bearbetning, utförda 1991 och 1992. 23 s.
4	1993	Anna Borg: Flöden av kväve och fosfor i Forshällaåns avrinningsområde - beräkning av olika källors bidrag till växtnä ringsläckaget. Examensarbete. 45 s. <i>Flows of nitrogen and phosphorus in the Forshällaån watershed - estimations of the contributions from different sources to the leaching of plant nutrients. 45 pp.</i>
5	1993	Thomas Grath: <i>Effects of soil compaction on physical, chemical and biological soil properties and crop production.</i> 101 pp.
6	1993	Estela Pasuquin: <i>Tillage influences on soil conditions and crop response under dry weather in the Philippines and in Sweden.</i> 62 pp.
7	1994	Hans Pettersson: Radhackning i stråsäd med ny hackutrustning. Examensarbete. 28 s. <i>Rowhoeing in cereals with new hoeing equipment. 28 pp.</i>
8	1994	Jörgen Lidström och Lars Olsson: Nya såmaskiner för reducerad bearbetning. Examensarbete. 57 s. <i>New drills for reduced tillage. 57 pp.</i>
9	1994	Sara Lindén: Tidig start och tillväxt avsockerbetor Examensarbete. 37 s. <i>Early start and growth of sugarbeets. 37 pp.</i>
10	1994	Sasa Ristic och Tomas Rydberg. Optimering av bearbetningsintensitet och jordpackning samt studier av markfysikaliska orsaker till ojämna bestånd i oljevaxter. 13 s.
11	1994	Jennie Andersson: Vattenhaltsmätningar med TDR (time domain reflectometry) och neutronsond i försök med tidig sådd av korn. 37 s. <i>Soil moisture measurements with TDR (time domain reflectometry) and neutron probe in a field experiment of early sown barley. 37 pp.</i>

Nr	År	
12	1994	Anders Gustafsson: Totalinnehåll och djupfördelning av organisk substans i mångåriga plöjningsdjupsförsök. Examensarbete. 25 s. <i>Total content and vertical distribution of organic matter in long-term experiments with different ploughing depths. 25 pp.</i>
13	1995	Sixten Gunnarsson och Göran Kritz. Olika bearbetningssystem i potatisodlingen. 12 s. <i>Different tillage systems and potato growth. 12 pp.</i>
14	1995	Daniel Johansson: Groning och plantetablering vid låga temperaturer i kärlförsök och i fältförsök med tidig sådd. 35 s. <i>Germination and plant development at low temperature in pot and field experiments. 35 pp.</i>
15	1995	Åse Littorin Johansson: Radhackning i stråsäd. 28 s. <i>Row hoeing in cereals. 28 pp.</i>
16	1995	Johan Arvidsson: Återpackning vid sådd i plöjningsfri odling. 12 s. <i>Recompaction in ploughless tillage. 12 pp.</i>
17	1995	Inge Håkansson, Editor: <i>Reports of project works by participants in the course "Soil Tillage and Related Soil Management Practices". 73 pp.</i>
18	1995	Johan Arvidsson & Virginius Feiza: Låga ringtryck i odling med och utan plöjning. 20 s. <i>Low inflation pressure in conventional and ploughless tillage. 20 pp.</i>
19	1995	Anna Lena Carlsson: Näring, kadmium och bakterier i hushållsavlopp - En fältstudie av ett urinsorterande avloppssystem med lecabädd i Östhammar. 50 s. <i>Plant nutrients, cadmium and bacteria in household wastewater - A field study of a urine separation system combined with a leca-filter in Östhammar. 50 pp.</i>
20	1996	Carl Blackert: Plöjningsfri odling och strukturkalkning på lerjordar. Effekter på markfysikaliska egenskaper och avkastning. 29 s. <i>Ploughless tillage and structural liming on clay soils. Effects on soil physical characteristics and yield. 29 pp.</i>
21	1996	Johan Bengtson: Concorde - En utvärdering av ett redskap för harvning och sådd. 26 s. <i>Concorde - An evaluation of an implement for harrowing and sowing. 26 pp.</i>

Nr	År	
22	1996	Rickard Ivarsson: Plöjningsfri odling och strukturkalkning på lerjordar. Effekter på markbiologiska, markkemiska och markfysikaliska egenskaper, samt ogräs och skörd. 51 s. <i>Ploughless tillage and structural liming on clay soils 51 pp</i>
23	1996	Sasa Ristic: Tryck och tryckverkningar under olika traktorhjul. 24 s. <i>Soil compaction under different tractor wheels. 24 pp.</i>
24	1998	Thomas Wildt Persson: Markfysikaliska undersökningar på sockerbetsodlande gårdar. 37 s. <i>Soil physical investigations in sugar beet fields. 37 pp.</i>
25	1998	Lennart Olsson och Patrik Persson: Förändring i markvattenhalt vid odling av sockerbetor och vårstråsäd. 20 s. <i>Changes in soil water content in sugarbeet and spring-sown cereal crops. 37 pp.</i>
26	1999	John Löfkvist: Såbäddens betydelse för sockerbetans uppkomst och tillväxt. 45 s. <i>The importance of the seed bed for the emergence and growth of the sugar beet. 45 pp.</i>
27	1999	Urban Svantesson: Markfysikaliska undersökningar på sockerbetsodlande gårdar 1998. 39 s. <i>Soil physical investigations in sugar beet fields 1998. 39 pp.</i>
28	1999	Erika Sjöberg, Lennart Olsson & Patrik Persson: En modell för beräkning av markens packningskänslighet under vegetationsperioden – mätningar och simuleringar på två skånska moränjordar. 32 s. <i>A model for calculation of soil compactability during the growing period – measurements and simulations on two moraine soils in southern Sweden.</i>
29	1999	Maria Stenberg, Helena Aronsson, Tomas Rydberg, Börje Lindén och Arne Gustafson: Inverkan av olika bearbetningstidpunkter på kväveminaliseringen under vinterhalvåret och på kväveutlakningen i odlingssystem med och utan fånggröda. Resultat 1993-1999 från fältförsök R2-8405 i Halland. 18 s. <i>Influence of early or late autumn tillage on nitrogen Mineralization and nitrogen leaching in cropping systems with and without a catch crop. 18 pp.</i>
30	1999	Åsa Myrbeck: Växtnäringsflöden och balanser på gårdar med olika driftsinriktningar – En studie av 1300 svenska gårdar. 53 s. <i>Nutrient flues and balances in defferent farming systems – A study of 1300 Swedish farms. 53 pp.</i>

Nr	År	
31	2000	Magnus Melin: Sockerbetans uppkomst och tillväxt i olika såbäddar – en parstudie. 34 s. <i>The emergence and growth of sugarbeet in different seed Beds – a pair study. 34 pp.</i>
32	2000	Annika Hamilton Malmros: I huvudet på en sockerbetsodlare – en intervjuundersökning om beslutsgrunder hos sockerbetsodlare i Skåne. 59 s. <i>In the head of a sugar-beet grower – interviews to study the basis for decision-making among sugar-beet growers in Skåne. 59 pp.</i>
33	2000	Lars Pålsson: Försök med Kvernelands såplog. 32 s. <i>Field trials with the Packomat Seeder. 32 pp.</i>
34	2001	Nina Nordström: Jordbearbetningstidpunkt på hösten – inverkan på skörd, markstruktur och kväveutlakning. 23 s. <i>Time of primary tillage in the autumn – influences on yield, soil structure and nitrogen leaching. 23 pp.</i>
35	2001	Asayesh Tawfik: Packningseffekt på korn- lupin- och lucernrötter, och rötternas effekt på vattengenomsläpplighet. 20 s. <i>Effects of soil compaction on root growth of barley, lupin and alfalfa, and the influence of roots on soil hydraulic conductivity. 20 pp.</i>
36	2001	Projektarbeten i kursen jordbearbetning och hydroteknik, maj 2001. 40 s <i>Project works in the course soil management and hydrotechnics, Maj 200. 40 pp.</i>
37	2001	Jonas Moberg: Långsiktiga förändringar av jordbruksmarkens fysikaliska egenskaper – en studie av 10 svenska åkermarksprofiler 18 s.
38	2001	Johan Karlsson: Fröplacering och vertikal rörelse för en fjädrande såbill på Väderstads rapidsåmaskin. 25 s.
39	2002	Fredrik Andersson: Grund bearbetning med Väderstads Rexius Carrier 48 s. <i>Shallow cultivation with Väderstads Rexius Carrier. 48 pp.</i>
40	2002	Projektarbeten i kursen jordbearbetning och hydroteknik, maj 2002. 35 s. <i>Project works in the course soil management and hydro-Technics, May 2002. 35 pp.</i>

- 41            2002            Elisabeth Bölenius: Packning av jordbruksmark – inverkan av dubbelmontage, banddrift och dragkraftsuttag. 33 s.
- 42            2003            Maria Ehrnebo: Odlingsystemets effekt på markstrukturen - undersökning av ett konventionellt och ett ekologiskt odlingsystem 26 s.  
*The effect of cropping systems on soil structure- a study of a conventional and an organic cropping system 26 pp.*