



SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET  
Institutionen för markvetenskap  
Försöksavd för hydroteknik  
730 07 UPPSALA 7

*Bibliotek*

# Biologisk alvluckring

## - effekter av rödklöver och lusern på markstruktur och sockerbetsskörd

Niklas Björkman



Examensarbete

Handledare: Kerstin Berglund

Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Soil Sciences  
Division of Agricultural Hydrotechnics

Avdelningsmeddelande 00:2  
Communications

Uppsala 2000

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--00/2--SE





# Biologisk alvluckring

## - effekter av rödklöver och lusern på markstruktur och sockerbetsskörd

Niklas Björkman



Examensarbete  
Handledare: Kerstin Berglund

---

Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Soil Sciences  
Division of Agricultural Hydrotechnics

Avdelningsmeddelande 00:2  
Communications

Uppsala 2000

ISSN 0282-6569

ISRN SLU-HY-AVDM--00/2--SE

---



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>REFERAT</b> .....	6
<b>INLEDNING</b> .....	7
<b>Bakgrund</b> .....	7
<b>Allmänt om markstruktur</b> .....	7
Begreppet markstruktur .....	7
Strukturbildning .....	8
<b>Rotutveckling</b> .....	11
<b>Biologisk alvluckring</b> .....	13
<b>Organiska materialets betydelse för markstrukturen</b> .....	13
<b>Tillförsel av organiskt material</b> .....	14
Gröngödsling .....	14
Slåttervall .....	14
<b>Nedbrytning av organiskt material</b> .....	15
<b>Daggmaskarnas betydelse för markstrukturen</b> .....	16
<b>Organiska materialet och aggregatstabiliteten</b> .....	17
Makroaggregatbildning – aggregat >250 µm i diameter .....	19
Mikroaggregatbildning – aggregat <250 µm i diameter .....	19
Hur starka är de organiska bindemedlen i marken? .....	21
<b>Hur mäter man markstruktur?</b> .....	23
<b>MATERIAL OCH METODER</b> .....	25
<b>Försöksplatser</b> .....	25
<b>Försöksplan</b> .....	25
<b>Fältobservationer</b> .....	26
<b>Fältarbete</b> .....	26
Infiltrationsmätningar i alven (vatten) .....	26
Jordprovsuttagning .....	26
Profilstudie .....	26
Vattenhaltsmätning .....	27
Maskstudie i fält .....	27
Infiltrationsmätningar i matjorden (formalin) .....	27
<b>Laboratoriearbete</b> .....	28
Kemiska analyser .....	28
Aggregatstabilitet .....	28
<b>Skörd</b> .....	29
<b>Statistik</b> .....	29
<b>RESULTAT</b> .....	30
<b>Bedömning av förfrukter</b> .....	30
<b>Skörderesultat</b> .....	32
<b>Fältundersökningen</b> .....	33
Infiltrationsmätningar .....	33
Vattenhalter i fält .....	36
Rötternas och maskgångarnas djupfördelning .....	36

Daggmaskförekomst .....	38
Maskgångar.....	40
Profiliakttagelser.....	40
<b>Laboratorieanalyser .....</b>	<b>41</b>
pH i matjord och alv .....	41
Organiskt kol och totalkol .....	43
Jordart och kornstorleksfördelning .....	45
<b>Aggregatstorleksfördelning.....</b>	<b>45</b>
Förändringar mellan de olika nedbrytningsstegen .....	46
<b>Aggregatstabilitet.....</b>	<b>48</b>
<b>Samband mellan skörd och stabila aggregat.....</b>	<b>48</b>
<b>DISKUSSION .....</b>	<b>51</b>
<b>Bedömning av förfrukter .....</b>	<b>51</b>
<b>Plöjningskommentarer .....</b>	<b>51</b>
<b>Metoder i fält .....</b>	<b>51</b>
Infiltrationsmätningar .....	51
Profiliakttagelser.....	52
<b>Aggregatanalysmetoden .....</b>	<b>52</b>
Våtsiktning och pipettering.....	52
Bestämning av organiskt material .....	52
<b>Skörd .....</b>	<b>53</b>
<b>Försökens heterogenitet.....</b>	<b>53</b>
<b>Markstruktur .....</b>	<b>53</b>
<b>Slutsatser.....</b>	<b>54</b>
<b>LITTERATURFÖRTECKNING .....</b>	<b>55</b>
<b>BILAGA 1. FÄLTPLAN.....</b>	<b>58</b>

## ABSTRACT

Soil structure can be defined as the arrangement of particles in soils. Size of particles, type of minerals and organic matter is of great importance for the development of soil structure and its stability. A good soil structure also has pores of different sizes and consequently a good infiltration of water and air which is very important for plant-growth and for a good harvest. The purpose of this work is to examine how much one year of ley of either red clover (*Trifolium pratense*) and meadow fescue (*Festuca pratensis*) or alfalfa (*Medicago sativa*) and meadow fescue (*Festuca pratensis*) compared to winter wheat affects soil structure and in the end the harvest of the following sugar beets.

The mean sugar yield at the experimental sites was high with a relatively big variation between the experimental sites. There were overall no significant differences in sugar yield depending on the preceding crop. However, the number of sugarbeet plants was significantly lower after winter wheat than after alfalfa as preceding crop. At one experimental site the winter wheat as preceding crop gave significantly higher sugar yield compared to alfalfa. The other experimental sites showed no significant differences in sugar yield.

Measurements of infiltration rate in the topsoil showed that the infiltration rate generally was much higher after red clover and alfalfa than after winter wheat. The infiltration rate in the subsoil showed no significant differences between treatments but the tendency was the same as in the topsoil. The infiltration rate showed no correlation with the yield of sugar beets, however in some plots at one experimental site there were both lower infiltration rates and lower yield of sugar beets compared to other plots.

The number of earthworms in the topsoil was generally many times larger after red clover and alfalfa than after winter wheat. The number of roots and wormholes at different depth in a profile were correlated. The amount of organic material in the soil showed no difference between the treatments. The amount of organic material and the water stability of soil aggregates did not affect the yield of sugar beets.

Measurements of pH in water in the topsoil showed that low pH could have affected the sugar yield in a few plots at one of the experimental sites. Comparison with other measured parameters showed that the same plots with low infiltration rate in the subsoil also had low pH and lower yield of sugarbeets than other plots.

The reason why the two leys as preceding crops to sugarbeets did not have a more positive effect on the soil than the winter wheat, can depend on the time the ley was grown. One year of ley might affect the soil structure as much as winter cereals e.g. winter wheat. Longer time (more than one year) could have a stronger effect on the amount of organic material in the soil and the effects could prevail for a longer time. Also a better pore size distribution could be achieved.

## REFERAT

Markstruktur kan definieras som det sätt, vilket markens primärpartiklar är inbördes lagrade och förenade med varandra. Primärpartiklarnas storlek, mineralsammansättning och det organiska materialet har stor betydelse för den struktur som uppkommer och dess stabilitet. En god markstruktur har också porer av varierande storlek som ger god infiltration av vatten och luft. Detta examensarbete syftar till att undersöka vilka effekter en ettårig trädesvall med rödklöver och ängssvingel alternativt lusern och ängssvingel har jämfört med höstvetete på markens struktur och till sist på skörden av efterföljande sockerbeter.

Medelskörden i försöken var hög men med en relativt stor variation mellan försöksplatserna. Vid en sammanställning över alla försök fanns det inga signifikanta skillnader i sockerskörd mellan de tre förfrukterna. Sockerbetornas plantantal var däremot signifikant lägre efter höstvetete jämfört med lusernvall som förfrukt. Om man ser på de enskilda försöksplatserna så gav höstveteteledet på en av försöksplatserna signifikant högre sockerskörd jämfört med lusernvall som förfrukt. Övriga gårdar visade inga signifikanta skillnader i skörd, dock visade det sig att sockerskörden varierade olika mycket inom fälten hos de tre gårdarna.

Infiltrationsmätningar i matjorden med formalin visade att infiltrationen generellt var mycket större efter rödklöver och lusern än efter höstvetete. Vid infiltration med vatten i alven gav de tre förfrukterna inga signifikanta skillnader, tendensen var dock densamma som för matjorden. Infiltrationen hade generellt sett ingen inverkan på sockerbets-skörden, dock fanns det enstaka skörderutor på en av försöksplatserna som hade både lägre infiltration av vatten i alven och lägre sockerskörd jämfört med övriga skörderutor.

Antalet dagmaskar i matjorden var flera gånger större efter rödklöver och lusern än efter höstvetete. Mängden rötter och maskgångar på olika djup i profilen visade en tendens att följa varandra. Andelen organiskt material i jorden skiljde sig inte nämnbart mellan de olika förfruktsleden. Mängden organiskt material påverkade inte heller sockerskörden i så stor grad. Ej heller aggregatstabiliteten påverkade sockerskörden.

pH i matjorden kan ha påverkat sockerskörden i några få rutor på en av försöksplatserna. Vid jämförelse med andra mätta parametrar konstaterades att samma skörderutor som hade låg infiltration av vatten i alven också hade lågt pH och lägre skörd än övriga skörderutor.

Att trädesvallarna inte visat så stor effekt på markstrukturen jämfört med höstvetete kan bero på den tid trädesvallarna legat. Med en ettårig trädesvall uppnås endast effekter på markstrukturen som motsvarar en höstsådd gröda t.ex. höstvetete. De ovanjordiska delarnas tillförsel kan ha varit större i vallgrödorna men var inte av avgörande betydelse för markstrukturen. Den underjordiska tillförseln av organiskt material hos vallväxterna var ungefär likvärdig med höstvetets. Skulle man däremot ha trädesvallen liggande en längre tid (mer än ett år) skulle effekten antagligen bli större med avseende på halten organiskt material och effekterna skulle bestå en längre tid. Även en bättre porstorleksfördelning skulle uppnås.



## INLEDNING

### Bakgrund

Den svenska sockerskörden har under senare år ökat långsammare än i flera av Europas övriga sockerbetsproducerande länder (Hummel-Gumaelius, 1996). Skördenivån varierar också stort mellan odlare med till synes lika förutsättningar. I syfte att finna faktorer som begränsar tillväxt och skörd i sockerbetsodlingen startade Sveriges Betodlares Centralförening och Danisco Sugar AB i samarbete med Sveriges Lantbruksuniversitet projektet 4T - Tillväxt Till Tio Ton. Det långsiktiga målet är att höja sockerskörden per hektar med bibehållna odlingskostnader. Som en del i 4T startades 1997 ett växtföljdsförsök för att studera om det går att använda EU-träda som markstrukturbyggare.

För att få del av s.k. direktstöd inom EU krävs att jordbrukarna tar en viss del av åkerarealen ur livsmedels- och foderproduktion, dvs. de har så kallad uttagsplikt. Jordbrukare som söker ersättning för en areal som motsvarar mer än 92 ton spannmål måste ta minst 10 procent av arealen ur livsmedels- och foderproduktion. Åkermarken kan tas ur produktion antingen genom att den läggs i träda eller att man odlar en industri- eller energigröda. Storleken på den areal som ska tas ur livsmedels- och foderproduktion beräknas på den totala areal som jordbrukaren söker arealersättning för, dvs. ersättningsberättigade grödor och uttagen areal. Andelen uttagen areal har varierat mellan åren. För 1999 och år 2000 är den uttagna arealen minst 10 procent och de uttagna skiftena ska vara minst 0,3 ha stora. Den trädade arealen får inte användas till någon jordbruksproduktion (SJV, 2000).

På växtodlingsgårdar utan vall och stallgödsel är uttagen areal inom ramarna för EU: s arealersättning en av få möjligheter att förbättra markens struktur och funktion. Det kräver att arealen med träda används kreativt och inte lämnas orörd i stubb och ogräs. En träda med en blandning av djuprotade baljväxter och gräs som används som gröngödsling kan avsevärt höja markens avkastningsförmåga genom att markens struktur förbättras. Syftet med detta examensarbete var att i en treårig växtföljd undersöka om en ettårig vall med rödklöver och ängssvingel alternativt lusern och ängssvingel ger en sådan förbättring av markstrukturen jämfört med höstvet, att det har effekter på skörden av de efterföljande sockerbetorna.

### Allmänt om markstruktur

#### Begreppet markstruktur

Markstruktur kan definieras som det sätt på vilket markens primärpartiklar är inbördes lagrade och förenade med varandra (Wiklander, 1976). Strukturen i jorden och jordens stabilitet beror till stor del på jordarten, dvs. dess kornstorleksfördelning, mineralsammansättning och innehåll av organiskt material (humus). En viktig faktor i strukturbildningen är lerinnehållet med dess kolloidala egenskaper, som gör att sammansatta partiklar, eller aggregat bildas. Aggregaten kan variera mycket i storlek och vara mer eller mindre stabila (Hillel, 1980). I en sandjord, som saknar ler eller humus, råder enkelkornstruktur och mineralpartiklarna är inte sammanfogade till aggregat. Humuspartiklar,

marklösningens saltkoncentration och vilka katjoner som dominerar är också av betydelse för markstrukturbildningen.

En mark med en ur växtodlingssynpunkt gynnsam struktur innehåller porer av varierande storlek. Normalt sett består en mineraljord av ca 50 volymprocent fast material och 50 volymprocent porer. Porerna behövs för att lagra växttillgängligt vatten, transportera både vatten och luft och för att underlätta rottillväxten. För att uppfylla dessa krav bör en odlingsjord innehålla porer med en bred storleksfördelning eftersom varje typ av funktion hänger samman med en viss porstorlek (tabell 1). Generellt kan man säga att växtlighetens krav är att 10 % av jordvolymen bör vara porer större än 25  $\mu\text{m}$  för att innehållet av markluft ska räcka, och att den största delen av porvolymen bör ligga mellan 0,2 och 25  $\mu\text{m}$  för att trygga lagringen av växttillgängligt vatten (Dexter, 1988).

**Tabell 1.** Samband mellan partikelstorlek (aggregatstorlek), porstorlek och porernas funktion (Oades, 1984)

Partikeldiameter ( $\mu\text{m}$ )	Pordiameter ( $\mu\text{m}$ )	Funktion
< 2	< 0,2	Bundet vatten, oåtkomligt för växten.
2 – 250	0,2 – 25	Lagring av växttillgängligt vatten.
250 – 1000	25 – 100	Kapillär vattentransport, markluft.
> 1000	> 100	Markluft, snabb dränering, rottillväxt.

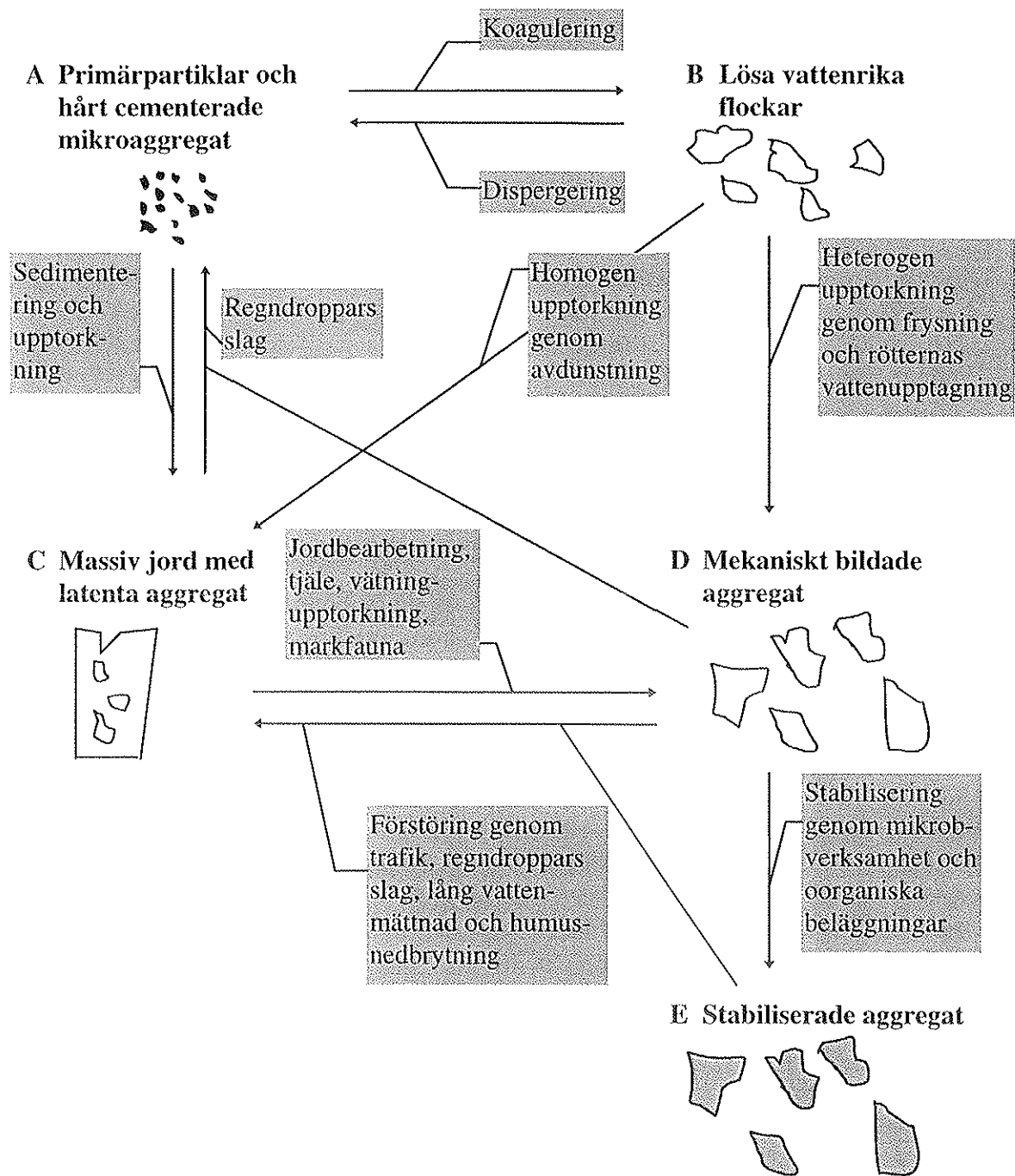
Vanligtvis delar man upp aggregaten i mikro- och makroaggregat, med ett gränsvärde vid 250  $\mu\text{m}$  i diameter (Tisdall & Oades, 1982; Baldock m.fl., 1994). Makroaggregaten består i huvudsak av mindre aggregat och partiklar som binds samman till större aggregat. För att få optimal porstorleksfördelning bör majoriteten av makroaggregaten vara i storleksordningen 1-10 mm i diameter (Tisdall & Oades, 1982). Detta ger stora porer (>100  $\mu\text{m}$ ) mellan aggregaten som underlättar snabb infiltration och dränering av vatten samt underlättar växtrötternas tillväxt och syreförsörjning. Aggregaten bör inom sig innehålla porer (0,2-100  $\mu\text{m}$ ), dels för att aeroba mikromiljöer skall finnas och dels för att lagra växttillgängligt vatten.

### Strukturbildning

Processer som påverkar markens strukturbildning är antingen positiva eller negativa. I odlad jord påverkar olika yttre faktorer såsom jordbearbetning, jordpackning, tjäle, upptorkning, vätning m.m. de olika processerna i jorden. Dessa har beskrivits av Heinonen (1985) på ett översiktligt sätt (fig. 1). Här följer en översikt med Heinonens beskrivning som grund:

#### *Koagulering (A→B)*

Första steget i strukturbildningen består i att primärpartiklar och hårt cementserade mikroaggregat koagulerar till lösa, vattenrika flockar. Vid denna delprocess bildas inte några aggregat, eftersom lerpartiklarnas negativa laddningar stöter bort varandra (repulsion). Avståndet mellan lerpartiklarna blir därmed för stort för att hopbindning mellan dem ska kunna ske.



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

*Upptorkning - krympning (B→C, B→D)*

Vid jordens upptorkning bildas ett krympningstryck, dvs. det efter avdunstning kvarvarande vattnet och dess ytspänning gör att lerpartiklarna attraheras så hårt till varandra att den repulsiva elektriska laddningen, s.k. repulsionströskeln, övervinns. Lerpartiklarna, eller lerplattorna, lägger sig tätt intill varandra och attraktionen dem emellan sker genom katjonbryggor. En jords upptorkning genom avdunstning efter att jorden

igenstammats, packats eller ältats leder vanligen till att en kompakt mer eller mindre sprucken jord bildas (C). Om upptorkningen sker heterogent i mikroskala genom exempelvis markens frysning genom tjälning eller växtrötternas vattenupptag, blir resultatet mekaniskt bildade aggregat (D).

#### *Stabilisering (D→E)*

Inom jordbruket är det viktigt att behålla en gynnsam markstruktur för att ge grödorna optimala växtförhållanden år efter år. I en lerjord är det en stor fördel att ha stabila aggregat som är tåliga mot framförallt jordpackning och väta. Eftersom ler och organiskt material är polyanjoner kan de bilda bryggor med polyvalenta katjoner. Polyvalenta katjoner är t.ex. Ca, Mg, Al, Fe samt små mängder av t.ex. Mn, Zn och Cu. Aluminium och järn bildar hydrolyserade föreningar med positiv nettoladdning, s.k. polykatjoner. Vattenhaltiga oxider av Al och Fe cementerar ihop partiklar i vattenstabila aggregat med diameter större än 100 µm, speciellt i jordar som innehåller mer än 10 % seskvioxider (Al- och Fe-oxider). Aluminiumsilikater och kalciumkarbonater agerar också som cementerande medel. Oorganiska bindemedel kan anses vara permanenta och om de dominerar kommer förekomsten av organiska bindemedel endast vara av marginell betydelse för aggregatbildningen (Tisdall & Oades, 1982).

I en ostörd jord, t.ex. en naturlig gräsmark, är aggregatstabiliteten stor eftersom aggregatens bindningar har kunnat bildas ostört under mycket lång tid. Samma effekt kan till en viss del uppnås efter några års vallodling. Återkommande jordbearbetning gör emellertid att aggregatstabiliteten minskar. I en odlad jord beror strukturen huvudsakligen mer på markens lerhalt och biologiska aktivitet än på dess innehåll av aggregatförstärkande ämnen (Heinonen, 1985).

Markfaunan (t.ex. dagmaskar) och växtrötterna spelar en viktig roll i markstrukturbyggningen, dels eftersom deras framfart är strukturfrämjande i sig och dels för att de stimulerar mikroorganismernas aktivitet. Mikroorganismerna ökar åtminstone på kort sikt aggregatstabiliteten genom att producera slem- och andra bindeämnen (Tisdall & Oades, 1982). Mikroberna kan också ses som negativt laddade kolloider, liksom leret och humusen, p.g.a. sina negativt laddade yttre membran, och bidrar därför även de till aggregatbyggningen. Med andra ord är regelbunden tillförsel av organiskt material, t.ex. stallgödsel eller växtrester, av stor vikt för både aggregatbyggningen och -stabiliteten, eftersom det allmänt gynnar markfaunans och mikroorganismernas aktivitet, och därmed även markstrukturen.

I växtodlingsförsök har man tillfört jorden olika konstgjorda aggregatbindande ämnen. Man har bl.a. använt sig av rostutfällningar och olika syntetiska organiska polymerer. Speciellt bränd och släckt kalk (CaO och Ca(OH)<sub>2</sub>) i stora mängder har visat sig ge positiva effekter på markstrukturen (Berglund, 1971; Oades, 1984). Ca<sup>2+</sup>-jonen, med sin höga laddning och svaga hydration, binds hårdare till lerpartiklarnas yta och byter plats med andra katjoner med lägre laddning genom jonutbytesprocesser. Lerpartiklarnas orientering förändras och en "kant mot plan" orientering uppstår från en tidigare "parallell" orientering. Vattnet stängs inne i håligheter eller porer som bildas och kan inte fungera som smörjmedel längre. Leran verkar därför torrare och smetigheten har försvunnit, även om vattenhalten är densamma (Berglund, 1971). Ett antal andra aggregatbefrämjande preparat har haft god verkan men endast ett fåtal av dessa har varit ekonomiskt försvarbara (Heinonen, 1985).

### *Nedbrytning av aggregat ( $D \rightarrow C$ , $E \rightarrow C$ )*

På odlad mark körs ofta maskiner och redskap med stor tyngd som ger upphov till packning och ältning av jorden. Detta ger vid upptorkningen en kompakt, mer eller mindre sprucken jord som inte är gynnsam för växtodling. Liknande struktur kan uppstå om jorden under en längre tid utsätts för vattenmättnad eller ihållande regn. Sönderfall av makroaggregat till mikroaggregat sker, och från dessa kan lerpartiklar frigöras (dispergeras) som vid upptorkning kan producera ej önskvärda strukturer som t.ex. ytskorpa (Oades, 1984). Det dispergerade leret blockerar porer som är tillgängliga för transport av vatten eller luft samt porer som lagrar vatten.

När jorden sedan åter torkar bildas en massiv struktur eller skorpa som kan bli mycket hård och svår för växten att forcera, även luftväxlingen blir minimal. De svåraste problemen med skorpa uppstår på lättleror och mjälajordar, där tiden mellan sådd och uppkomst är mest kritisk. Svällning och dispergering är i stort sett en funktion av utbytbara joner bundna till leret, t.ex. Na, Mg och elektrolytkoncentrationen (Tisdall & Oades, 1982). Skorpbildning kan även uppstå när natrium tillförs marken i stora mängder. Detta eftersom  $\text{Na}^+$ -jonen har en liten jondiameter, svag laddning och binder mycket vatten, vilket gör att jorden sväller och att aggregaten förstörs (Heinonen, 1985). Problemet med natrium är i Sverige mycket litet, utom möjligen i sockerbetsodlingen där Na-gödsling förekommer. Även mikroorganismernas nedbrytning av humus kan påverka markstrukturen negativt, eftersom det organiska materialet har en betydande roll i att hålla samman aggregaten.

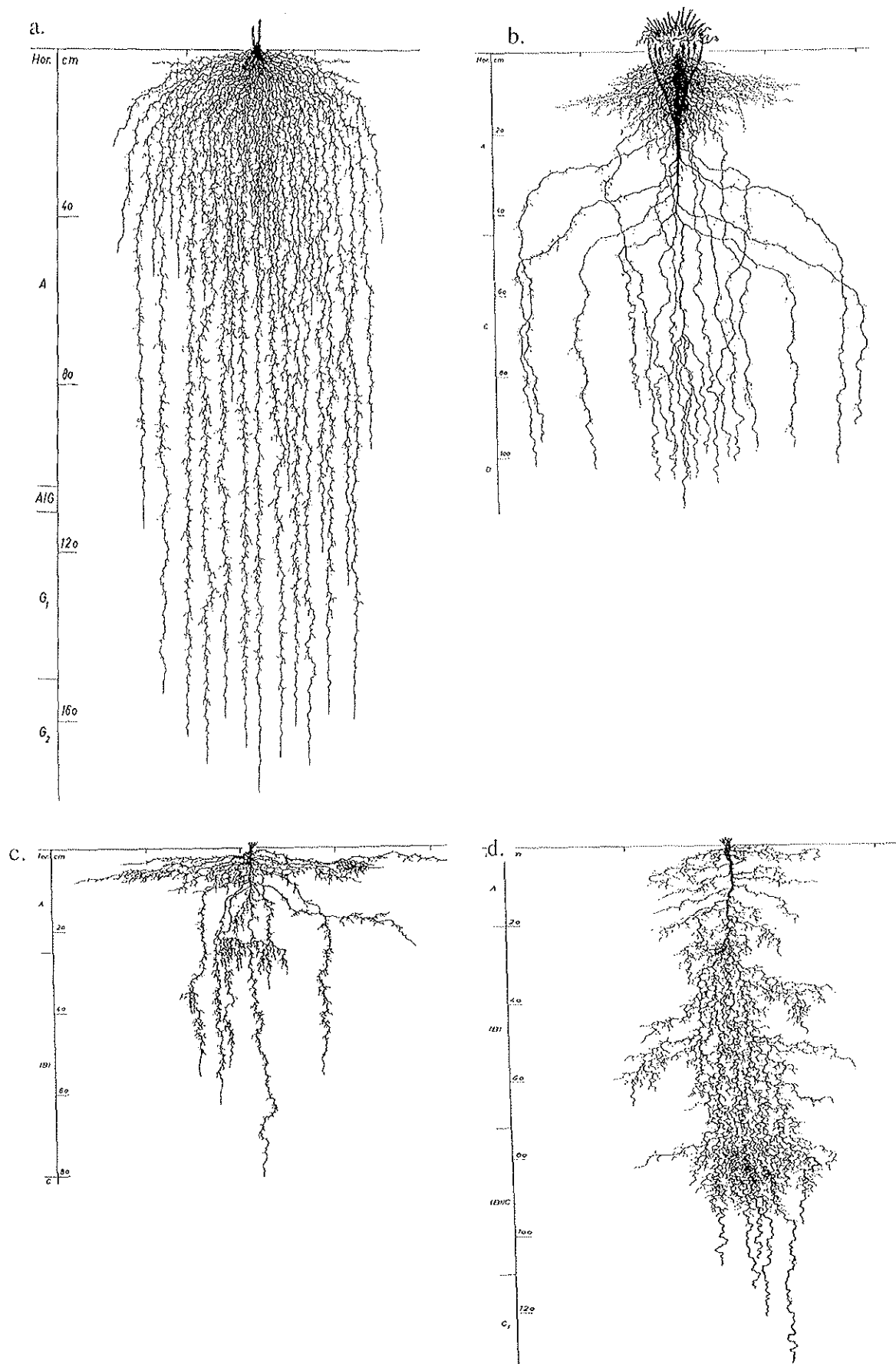
### *Återställning ( $C \rightarrow D$ )*

Om strukturen har försämrats som beskrivet ovan, vilket ofta sker i odlad jord som utsätts för packning och oskyddat får ta emot regn, har en ny gröda svårt att etablera sig. För återställning av strukturen och för att skapa en god såbädd med en gynnsam aggregatstorleksfördelning, krävs ett antal jordbearbetningar före sådd. Naturliga processer kan även återbilda förstörda aggregat och om så sker minskar behovet av jordbearbetning. Sådana processer kan vara upprepade vätnings- upptorkningscykler eller markens tjälning, och effekterna av dessa är som störst i styva lerjordar (Heinonen, 1985). Strukturkalkning kan förbättra motståndskraften mot skorpa i jordar med detta problem samt även bibehålla en för växterna gynnsam struktur med god luftväxling.

## **Rotutveckling**

Rotsystemets utseende hos enhjärtbladiga och tvåhjärtbladiga växter skiljer sig åt i flera avseenden. Hos tvåhjärtbladiga växter bestäms hela rotsystemets utseende av primärrotens utvecklingsmönster. Från primärroten utvecklas normalt de sekundära rötterna. Graden av dominans hos primärroten över antalet och positionerna av sekundära och tredje ordningens rötter bestämmer hela rotsystemets utseende (figur 2b-d). De enhjärtbladiga växterna, t.ex. de olika sädeslagen, har en primärrot som är viktig speciellt för växtens allra tidigaste stadier efter groningen. Rötter utvecklas också ovanför primärroten och de deltar snabbt i utvecklingen av hela rotsystemet (Mac Key m.fl., 1980). En enhjärtbladig växt kan, om den tillåts växa tillräckligt länge, utveckla ett tätt nät av fina rötter som når till ett stort djup (figur 2a).





**Figur 2.** Rotutveckling hos a) vete, b) sockerbeta, c) rödklöver och d) lusern (Kutschera, 1960). Observera att djupskalan skiljer sig något mellan figurerna.

## Biologisk alvluckring

Markens bördighet påverkas starkt av dess fysiska egenskaper. Utvecklingen av jordbruket, med användandet av allt tyngre maskiner, har på många jordar bidragit till en ogynnsam packning i alven. Bennie (1996) menar att rotfördelningen i en jordprofil är en funktion av djup, tjocklek och mekaniskt motstånd hos de packade jordlagren. Om de packade jordlagren ligger nära markytan kommer de att reducera den vertikala rottillväxten, vilken resulterar i ett grundare rotdjup. När det mekaniska motståndet i jordlagret är så pass stort att det förhindrar rottillväxten, kommer hela rotsystemet att begränsas till övre delen av profilen. Effekten blir att det kortare, grundare och sämre utvecklade rotsystemet utnyttjar en mindre jordvolym för upptag av vatten och näringsämnen, vilket hämmar tillväxten hos växtens övriga delar (Bennie, 1996).

Dock har vissa växtarters rötter förmåga att förbättra de markfysikaliska egenskaperna i alven. Detta sker genom rötternas luckrande förmåga samt rötternas bidrag till en större halt organiskt material på djupet. För att betraktas som en s.k. alvluckringsgröda krävs en stabil pålrot som har förmåga att tränga genom packad jord. När en rot träffar på ett kompakt lager, ökar den sin diameter. En större rot diameter utövar ett större tryck mot den packade jorden (Matarechera m.fl., 1992). Hittills har man endast resultat från laboratorieförsök. Dessa tyder på att tvåhjärtbladiga växter (ärt, lusern och lupin) med stor rot diameter penetrerade en packad jord bättre än enhjärtbladiga växter (gräs), som har smalare rötter (Matarechera m.fl., 1991). Man har även funnit att förmultnade rötter av lusern producerar stabila makroporer, medan vete inte producerar stabila makroporer (Mitchell m.fl., 1995). Vid Avdelningen för jordbearbetning vid Sveriges Lantbruksuniversitet testas olika grödor i fältförsök där jorden packats med dumper (Arvidsson m.fl., 2000). De presumtiva alvluckrarna som undersöks är cikoria (*Cichorium intybus*), lusern (*Medicago sativa*), lupin (*Lupinus luteus*), rödklöver (*Trifolium pratense*) och rörsvingel (*Festuca arundinacea*).

## Organiska materialets betydelse för markstrukturen

Som tidigare nämnts har det organiska materialet stor betydelse för bildandet av aggregat och aggregatens stabilitet. Lynch & Bragg (1985) anser dock att jordaggregat bildas i huvudsak av fysiska krafter medan stabiliseringen påverkas av åtskilliga faktorer varav de viktigaste är organiskt material, järn- och aluminiumoxider samt lerinnehåll. Aggregatstabiliteten ändras som respons på växtföljder och mängden organiskt material i jorden. I en studie av resultat från långliggande försök har Reeves (1997) konstaterat att långvarig ensidig öppen odling resulterar i minskning av halten organiskt kol i jorden. Minskningens hastighet och storlek beror på klimat och jordtyp och kan påverkas genom exempelvis val av jordbearbetningssystem. Enligt Mattsson (1993) minskar halten organiskt material vid bearbetning av orörd mark men ökar med långvarig vall. I en åkerjord som används för öppen konventionell växtodling, med intensiv jordbearbetning, sker nedbrytningen av organiskt material snabbt och tämligen fullständigt. Mullhalten ställer in sig på en nivå som är i jämvikt med odlingssystemet och är ofta relativt låg jämfört med halten i en naturlig och permanent bevuxen mark. Odlingssystem med vall och stallgödsel håller mullhalten uppe (Mattsson, 1993).

## **Tillförsel av organiskt material**

För att bibehålla eller öka mängden organiskt material i jorden vet man att flerårig vallodling, årlig tillförsel av stallgödsel och reducerad jordbearbetning är verksamma åtgärder. Att återföra halm och andra skörderester har inte alltid visat sig räcka för att bibehålla eller öka halten organiskt material i marken. Plöjningsdjupet får inte vara för stort så att det organiska materialet späds ut för mycket i jordvolymen eller lägger sig som ett tjockt ogenomträngligt lager. Man är också beroende av att halmen bryts ned relativt snabbt. En snabb omsättning kan man få om man tillsätter kväve tillsammans med halm och skörderester vid inplöjningen på hösten (Mattsson, 1992), men risken för kväveutlakning är därmed stor. Under långvarig vallodling ackumuleras det organiska materialet och om vallen klipps i intervaller som är långa nog för att tillåta rotsystemet att återhämta sig uppnås maximal död och tillväxt av rotsystemet, vilket kommer att resultera i maximal organisk tillförsel till jorden (Oades, 1984). Skördenivån har också stor inverkan på mängden organiskt material som tillförs jorden.

### Gröngödsling

Gröngödslingvallen kan anläggas på flera olika sätt. Den kan sås in som mellangröda att växa på vintern, eller odlas som huvudgröda i en eller flera säsonger. I det tidigare fallet blir gödslingseffekten reducerad, och funktionen liknar mer en fånggröda. I båda fallen anläggs vallen lämpligen på våren, som insådd eller vanlig sådd. Detta för att få en så god uppkomst och etablering som möjligt inför vintern.

Sammanställningen av ingående växter i vallen med olika kvävefixerande egenskaper, tidpunkter under året för olika åtgärder, och hur och av vilken efterföljande gröda gröngödslingen utnyttjas spelar stor roll för resultatet. Även klimatförhållandena spelar roll för vallens tillväxt, näringsupptag och slutligen dess mineralisering. Att kontrollera kvävemineraliseringen och försöka optimera att kvävet befinner sig i oorganisk form (nitrat) under de tider som växternas näringsupptag är som störst eller mest kritisk, vanligen under våren, är mycket viktigt. Man kan därmed sänka sina gödslingkostnader med bibehållen skörd.

Enligt MacRea & Mehuys (1985) påverkar inte det organiska materialet alla fysiska parametrar. Jordens aggregatstabilitet och skrymdensitet (volymvikt) är de parametrar som med störst sannolikhet är påverkbara. Det anses att det är sällan som halten organiskt material ökar genom gröngödsling. Om de fysiska egenskaperna hos jorden förbättras, behöver det inte medföra en förbättring i tillväxt hos den odlade grödan. En växtsäsong med onormala väderförhållanden kan vara enda tillfället där en ökad skörd är möjlig.

### Slåttervall

Vallar anläggs ofta för att ligga i ett antal år, oftast 2 eller 3 år. Ju längre en vall ligger desto mer naturlig blir jorden både i sin struktur och i sitt innehåll av organiskt material. En klöverdominerad vall ger i regel ett ojämnt bestånd sedan klöveren gått ut och bör

brytas efter två år. En klövergräsvall med starkt inslag av gräs bör däremot normalt kunna ligga kvar i tre år, eftersom de dominerande slåttergräsen ger bäst avkastning andra och tredje året. En ren gräsvall bör, med riklig gödsling som är nödvändig för att gräsvallen ska ge god avkastning, kunna ligga kvar i fyra till fem år. Detsamma gäller luservallar i gynnsamma lägen (Hansson, 1990).

Andelen stabila aggregat ökar under goda gräsvallar. Det mesta av aggregatbildningen sker i jordens ytlager eftersom organiska rester ackumuleras där. Ökningen av stabila aggregat under vallodling är relaterad till rotlängd och till VA-mycorrhizahyfer (Tisdall & Oades, 1982). Wiklert (1962) visade vid profilstudier i en styv lerjord att en långvarig vall, i detta fall en 10-årig gräsvall, bildade en homogen fördelning av makroaggregat djupare ned i profilen än mark som hållits i öppet bruk under 10 år, eller burit ängsgröe i 4 år. I ett långliggande växtföljdsförsök (30 år) visade Ericson (1994) att en stor vallandel i växtföljden jämfört med en mindre vallandel ger en ökning i halten organiskt kol och även en ökning i efterföljande skörd av korn. En långvarig vall ger också enligt Tisdall & Oades (1982) en ökning i andelen stabila aggregat (figur 4, sid 22).

När vallen bryts får mikroorganismerna stor tillgång på syre och förökas kraftigt, vilket medför att innehållet av organiskt material (d.v.s. mullhalten) minskar och strukturen försämras. Genom en ettårig vall finns risken att man inte hinner öka det organiska materialet så pass mycket att det kan ge en långvarig effekt i aggregatstabilitet och infiltration och därmed jordens struktur. Skulle en ettårig vall fungera som strukturbyggare skulle det snabbt och billigt ge en förbättring av jordar med sämre struktur och ge en högre avkastning.

### **Nedbrytning av organiskt material**

Så snart växtresterna kommer i kontakt med marken påbörjas nedbrytningen och humifieringen. Nedbrytare är en mängd olika organismer, bl.a. insekter, maskar, protozoer, alger, svampar och bakterier. Organismerna utviner genom nedbrytningen energi för sina egna livsprocesser (Wiklander, 1976). Det döda organiska materialets nedbrytning är starkt beroende av dess innehåll av tillgängligt kväve, eller av kväve (ammonium eller nitrat) som tillförts utifrån. Detta beror på att mikroorganismernas vävnad har en C:N-kvot av omkring 10:1. Normalt har plantmaterial en C:N-kvot på 40-80:1. Om kväve tillsätts jorden, kan en större mikrobiell biomassa uppnås och nedbrytningen sker fortare. Efter att växtrester tillsatts jorden genom en eller annan process, kommer nivån av markkväve att sjunka snabbt eftersom det inkorporeras i mikrobiella biomassan (Begon m.fl., 1990).

När kväve inte finns tillgängligt saktar nedbrytningsprocessen av, och icke nedbrutet material ackumuleras. I motsats till växter har djurkroppar ungefär samma C:N-kvot som mikrobiella biomassan, och därför är inte nedbrytningen av djur begränsad av tillgången på kväve. Djurkroppar tenderar därför att brytas ned mycket snabbare än växtmaterial (Begon m.fl., 1990). Mikrobiell nedbrytning av växtrester i jorden resulterar i två huvudtyper av organiska restprodukter, 1) resistent föreningar t.ex. fetter, lignin och vaxer; 2) andra föreningar, som kan vara antingen produkter från nedbrytningen av växter och andra vävnader eller vara färskt material syntetiserat av jordens mikroorganismer (Lynch & Bragg, 1985).

Slutliga nedbrytningsprodukten är humus, en mörkfärgad, heterogen kolloidal blandning. Humus kan separeras i olösligt humin och lösliga humuskolloider. Humuskolloider kan vidare delas upp i fulvosyror och huminsyror. Byggstenarna i humuskolloiderna är polysackarider (högmolekylärt kolhydrat uppbyggt av monosackaridenheter, hit hör bl.a. stärkelse, kitin och cellulosa) proteiner och många andra substanser vars uppbyggnad man inte säkerställt, dock vet man att de innehåller ett stort antal aromatiska ringar (Lynch & Bragg, 1985).

Det organiska materialet som finns i jorden karakteriseras av dess ålder och dess kvalitet. Växtresternas struktur bestämmer hur nedbrytarna uppfattar dess kvalitet. Kvaliteten kan sägas vara ett mått på tillgängligheten av det organiska materialet för nedbrytarna och ett sätt att mäta det är i dess kemiska uppbyggnad. Kvaliteten försämras med åldern eftersom materialet blir mer och mer resistent mot mikrobiella attacker (Bosatta & Ågren, 1997).

Nedbrytarnas tillväxt per enhet kol beror på kvaliteten hos växtresterna. Kol av en kvalitet, som har blivit upptaget av nedbrytarna, kommer att ha omvandlats till ett antal olika kvaliteter när det återförs till substratet, men i genomsnitt omvandlas det till en lägre kvalitet, dvs. sämre kvalitet för mikroorganismerna (Bosatta & Ågren, 1997). Kol och kväve ackumuleras i jorden tills en balans (steady state) eventuellt är nådd mellan tillförsel och mineralisering. Abiotiska faktorer, som t.ex. temperatur, påverkar balansläget så att det vid en låg temperatur finns mer organiskt kol kvar i jorden jämfört med vid hög temperatur beroende på att populationen mikroorganismer i jorden ökar när temperaturen ökar och därmed ökar också nedbrytningen. Man kan förmoda att texturen i huvudsak påverkar hur tillgänglig näringen (C och N) är för nedbrytarna och påverkar därmed balansläget. Lagringen av kväve i jorden är mer känslig för textur än vad kol är. Samtidigt har det observerats att jordar med högt lerinnehåll tenderar att ha lägre N-mineraliseringshastigheter än jordar med lägre lerinnehåll (Bosatta & Ågren, 1997).

Jordbearbetning orsakar minskning av det organiska materialet. Där jorden bearbetas regelbundet är aggregaten exponerade regelbundet för fysisk nedbrytning genom snabb uppfuktning och regndroppars slag så väl som redskapens nedbrytande krafter. Nettoeffekten är exponering av tidigare otillgängligt organiskt material för mikroorganismerna och stimulering av oxidering, vilket ger förlust av organiskt material. Minskningen i organiskt material följs vanligtvis av en minskning i mängden vattenstabila aggregat (Tisdall & Oades, 1982).

### **Daggmaskarnas betydelse för markstrukturen**

Daggmaskarna är viktiga på många sätt. Förutom att de bryter ned organiskt material bildar de gångar som ökar infiltrationen av vatten och luft samt bidrar till dräneringen. Maskarna blandar jord och icke nedbrutna växtdelar som de drar med sig i sina gångar och använder det som föda. Enligt Wiklander (1976) kan daggmaskar transportera ända upp till 10 kg växtrester per m<sup>2</sup> ner i sina gångar, varvid den ännu ofullständigt sönderdelade organiska substansen blir mer tillgänglig för markens mikroorganismer för fortsatt omvandling. Daggmaskar ökar både storleken och stabiliteten hos jordaggregat, speciellt i orörda jordar (Brady, 1974). Daggmaskarna föredrar en fuktig miljö i humus-



och näringsrik jord av neutral eller svagt sur reaktion och jorden ska ha relativt god luftväxling. De finns därför sällan i torra sandjordar eller svagt dränerade jordar i låglänta områden.

Daggmaskarna måste ha organiskt material som föda, därför tar de sig till ställen där stallgödsel och växtrester har tillsatts jorden. Finns inget användbart växtmaterial tillgängligt, kan heller inga daggmaskar hålla sig kvar. Ju mer dött organiskt material som finns tillgängligt desto fler maskar kan livnära sig. Tilläggas bör att daggmaskarna äter material som har hög vattenhalt och som redan blivit angripet av mikroorganismer och på så sätt mjuknat (Buch, 1987). Maskarna äter inte allt med samma aptit, som exempel kan nämnas att kväverikt animaliskt avfall i allmänhet omsätts bättre och snabbare än vegetabiliskt (Buch, 1987). Daggmaskarna kan stabilisera jordens struktur genom att den intagna jorden uppblandas i dess mage med humifierat organiskt material (Tisdall & Oades, 1982). Av ekskrementerna transporteras omkring 4 kg per m<sup>2</sup> upp till markytan. När döda maskar nedbryts tillförs jorden betydande mängder kväve (Wiklander, 1976). Buch (1987) skriver att man har beräknat att en enda daggmask kan innehålla upp till 10 mg nitrat, och att 4 miljoner maskar per hektar och år (400 maskar per m<sup>2</sup>) lämnar ca 220 kg kväve genom nedbrytning av sina döda kroppar och via ekskrementer.

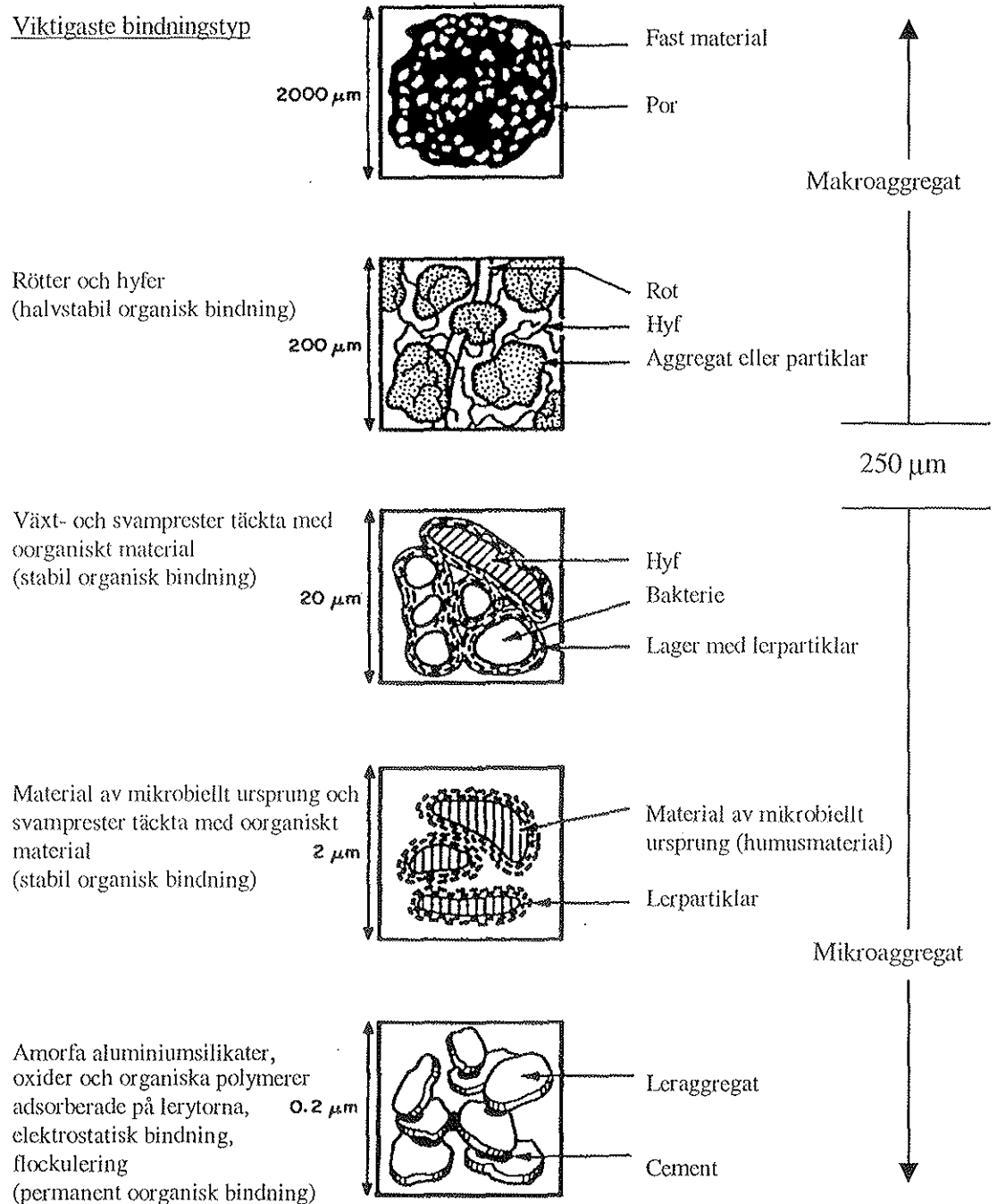
I maskarnas gångar kan växtrötter växa och nå där utan större ansträngning till större djup. Dessutom är maskgångarna invändigt klädda med maskarnas näringsrika ekskrementer, och växterna får härigenom optimal näringstillförsel. Varhelst i jorden som rötterna träffar på avlagda maskhögar, bildar de ytterst fina rothår som genomväver denna maskhumus i alla riktningar. Maskarnas ekskrementer bildar också ett idealiskt substrat för mikroorganismer. Svampar och andra mikroorganismer kan genom ekskrementen förökas och fördelas snabbare över en större yta i jorden samt uppnå en bättre nedbrytning av det organiska materialet (Buch, 1987).

### **Organiska materialet och aggregatstabiliteten**

Ett jordaggregat byggs upp av strukturenheter av olika storlekar som hålls ihop av diverse bindemedel (se figur 3). Aggregaten kan delas upp i mikro- och makroaggregat definierade som mindre och större än 250 µm i diameter (Tisdall & Oades, 1982).

Det organiska materialet är en av de viktigaste beståndsdelarna i aggregatens bildning och stabilitet. Miljöfaktorer som påverkar aggregatstabiliteten efter tillförsel av organiskt material är desamma som de som påverkar den mikrobiella populationens aktivitet. Man har funnit att pH i området 4,75 till 7,5 inte har någon märkbar effekt på aggregatbildningen (Lynch & Bragg, 1985). Stabiliteten är ibland bättre relaterad till fritt organiskt material än till totalt organiskt kol (C), därför att denna fraktion agerar som ett substrat för mikrobiologiska produktionen av organiska bindemedel (glue) och/eller därför att denna fraktion är ett mått på rötter och hyfer (Tisdall & Oades, 1982). Förmågan hos mikroorganismer att medverka vid stabiliseringen verkar vara generell men en del mikroorganismer kan vara mer effektiva än andra. Mikroorganismerna kan medverka på två olika sätt: a) vissa mikroorganismer kan mekaniskt binda samman jordpartiklar genom att producera fibriller, som kan nå tiotals nm från organismens vägg ut till en närliggande yta; b) andra kan producera effektiva bindemedel av antingen slem eller sekret genom syntes eller genom nedbrytning av organiskt material.

Sekretet innehåller i huvudsak polysackarider (Lynch & Bragg, 1985). Det är troligt att svampar är involverade i hopbindning av större jordpartiklar och att bakterier kan vara involverade i stabiliseringen av mikroaggregat i lerfraktionen (Lynch & Bragg, 1985).



**Figur 3.** Modell över aggregatens uppbyggnad fördelat på olika storleksklasser och de verkande bindemedlen. Gränsen mellan mikro- och makroaggregat ligger vid 250  $\mu\text{m}$  (Tisdall & Oades, 1982).

För att mikroorganismerna ska kunna stabilisera aggregat måste de ha tillgång till färskt, icke nedbrutet, organiskt material. C:N-kvoten hos substratet påverkar effektiviteten i aggregatbildningen och nedbrytningen. I en undersökning av Lynch & Bragg (1985) ökade andelen vattenstabila aggregat när halm från vete tillfördes jorden, men aggregatbildningen minskade när kväve tillsattes tillsammans med halmen. Detta är förmodligen en effekt av det extra tillgängliga kvävet som ökade det mikrobiella utnyttjandet av de kolrika bindningsmedlen, som redan fanns i jorden.

#### Makroaggregatbildning – aggregat >250 µm i diameter

I jordar där organiskt material är det huvudsakliga bindemedlet (jordar med låg lerhalt) är makroaggregatbildningen i huvudsak kontrollerad av odlingssystemet, dvs. växtföljd, jordbearbetningssystem m.m. Mängden makroaggregat kan ökas genom tillsättning av nedbrytbart organiskt material. Bästa fördelningen av organiskt material och blandning med oorganiska kolloider uppnås genom rotsystemet, speciellt det fina buskiga hos gräs. Rötterna formar ett nät med trådar av en diameter på 10 µm och större. Dessa rötter växer i de grövre porerna och är således fördelade runt större aggregat.

Maximal stabilisering av makroaggregat uppnås om gräset klipps i intervaller som är långa nog för att tillåta rotsystemet att återhämta sig. På detta sätt uppnås maximal död och tillväxt av rotsystemet, vilket kommer att resultera i maximal organisk tillförsel till jorden. Perioder med svarträda har motsatt effekt (Oades, 1984).

Stabiliteten hos makroaggregat beror i hög grad på rötter och hyfer och växande rotsystem. När rötter och svamphyfer dör kommer stabiliteten hos makroaggregaten att minska i ungefär samma hastighet som nedbrytningen av växtmaterial i jorden, till en början snabbt och sedan mer långsamt. Nedbrytningen av makroaggregat (>250 µm) skapar aggregat från omkring 20-250 µm diameter och de är mer stabila än större aggregat.

I jordar med stort innehåll av organiskt kol (>2%) består stabila aggregat >2000 µm (2 mm) i diameter av aggregat och partiklar, som i huvudsak hålls ihop av ett fint nätverk av rötter och hyfer. Om jordar innehåller lite organiskt kol (<1%) hålls aggregaten endast ihop av temporära bindemedel (sidan 21). Eftersom stabiliteten hos partiklar >2000 µm i diameter är relaterad till tillväxten hos rötter och hyfer, bestäms stabiliteten av odlingssystemet (figur 4) (Tisdall & Oades, 1982).

Oorganiska bindemedel som t.ex. aluminiumsilikater och kristallina järnoxider stabiliserar också aggregat >2000 µm diameter men i mindre utsträckning än organiskt material. Ett tvärsnitt av ett vattenstabilt aggregat med en diameter >2000 µm visade att aggregatet är poröst och i huvudsak består av partiklar av omkring 20-250 µm i diameter (Tisdall & Oades, 1982).

#### Mikroaggregatbildning – aggregat <250 µm i diameter

Mikroaggregat är relativt stabila och påverkas kortsiktigt mycket mindre av odlingssystemet än makroaggregaten (Oades 1984). Aggregaten stabiliseras av olika komplexa

bindningar mellan det organiska materialet och mineralpartiklarna. Bland annat hålls aggregaten samman av polysackarider, framför allt slem producerat av bakterier, men även rötter och svamphyfer bidrar (Tisdall & Oades, 1982). Flervärda katjoner (Fe, Al, Ca) medverkar också till stabiliseringen av mikroaggregaten genom att bilda bryggor mellan det organiska materialet och leret (Tisdall & Oades, 1982). De organiska bindningarna är ofta skyddade av adsorberat finler. Stabiliteten motverkas av att växter, bakterier och svampar producerar organiska anjoner och syror som adsorberas till lerpartiklar, ökar deras negativa laddning och därmed verkar dispergerande (Oades, 1984). Mikroaggregaten kan också stabiliseras av aluminiumsilikater och olika oxider. Tillförsel av släckt  $\text{Ca(OH)}_2$  eller bränd kalk ( $\text{CaO}$ ) har visat sig snabbt öka mängden stabila mikroaggregat i markens ytskikt (Kindvall, 1999).

#### *Aggregat 20-250 $\mu\text{m}$ i diameter*

Aggregat 20-250  $\mu\text{m}$  i diameter är stabila mot snabb uppfuktning och förstörs ej av jordbearbetning. De består till stor del av partiklar 2-20  $\mu\text{m}$  i diameter sammanhållna av olika bindemedel, däribland stabila organiska material, kristallina oxider och aluminiumsilikater. Aggregaten är mycket stabila, delvis därför att de är små, men också eftersom de hålls ihop av många olika typer av bindemedel som förstärker varandra (Tisdall & Oades, 1982).

#### *Aggregat med diametern 2-20 $\mu\text{m}$ och $<2 \mu\text{m}$*

Stabila aggregat i storleken 2-20  $\mu\text{m}$  i diameter består av partiklar  $<2 \mu\text{m}$  i diameter hopbundna så starkt av stabila organiska bindningar att de inte kan brytas när jorden bearbetas. Man har funnit att en stor del av den mikrobiella biomassan finns i fraktionen 2-20  $\mu\text{m}$ . Elektronmikrografi av sektioner i jordrotzonen (där rötterna har ett avstånd på max 3 mm emellan varandra) visar individuella bakterier eller kolonier av bakterier omgivna av en kapsel, uppbyggd av kolhydrater, till vilken partiklar av finler verkar vara hårt bundna (Tisdall & Oades, 1982). Lerpartiklarna kan bygga in bakterien fullständigt. När bakteriekolonin har dött och dess innehåll har nedbrutits finns endast karaktäristiska fiberkomponenter kvar från bakteriekapseln (Tisdall & Oades, 1982).

Vissa svamphyfer producerar ett lager av amorft material, förmodligen polysackarider till vilket partiklar av ler kan vara hårt bundet (Tisdall & Oades, 1979). Hyffragmenten kan härstamma från VA-mycorrhizasvampar som binds till levande växter eller från saprofytiska svampar, som växer fort i jorden efter tillförsel av nedbrytningsbart material. Precis som hos bakteriekolonier kan ytterliggare nedbrytning av hyffragment leda till en matrix av fysiskt skyddat organiskt material inom ett stabilt aggregat (Tisdall & Oades, 1982).

Partiklar i en storlek av  $<2 \mu\text{m}$  i diameter består ofta av lera som flockulerat och hålls samman av van der Waals krafter, vätebindningar och elektrostatisk attraktion. En del partiklar har visat sig vara aggregat av väldigt fint material som hålls samman av organiskt material och järnoxider. Organiskt material är förmodligen bundet på ytorna av lerpartiklarna och hålls hårt av de olika bindningarna som finns mellan organiska materialet och lermineralet (Tisdall & Oades, 1982).

## Hur starka är de organiska bindemedlen i marken?

De organiska bindemedlen som är involverade i stabilisering av aggregat kan delas upp i tre huvudgrupper baserat på ålder och nedbrytning av det organiska materialet. De olika bindemedlen bestämmer åldern, storleken och stabiliteten hos aggregaten. De tre grupperna av organiska bindemedel som nämns är *instabila*, *temporära* och *stabila bindeämnen* (Tisdall & Oades, 1982).

### *Instabila bindeämnen*

Instabila bindeämnen är enligt Tisdall & Oades (1982) organiskt material som är snabbt nedbrutet av mikroorganismer. De viktigaste är polysackarider, som inkluderar:

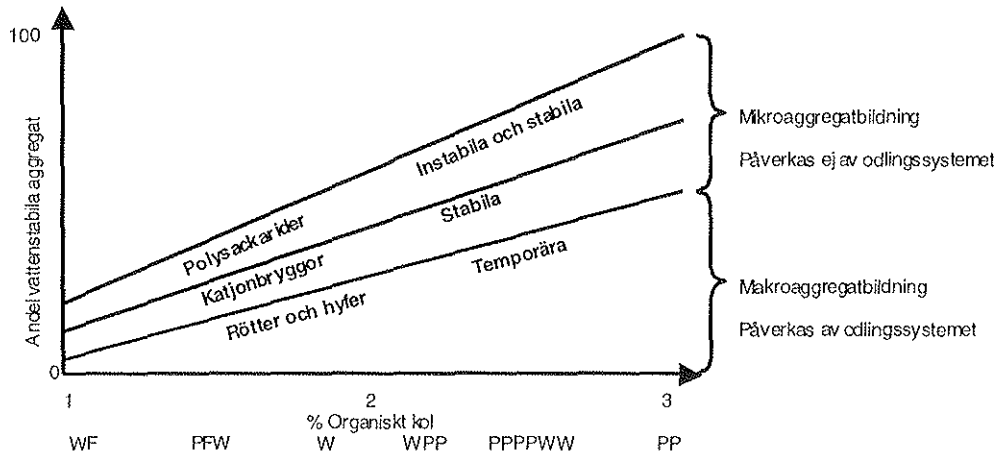
- 1) mikrobiella polysackarider som producerats när organiskt material tillförts till jorden.
- 2) polysackarider som härrör från rötter och den mikrobiella biomassan i rotzonen.

Polysackarider bildas snabbt och nedbryts snabbt. De förekommer framför allt som bindemedel i stora (>250 µm i diameter) halvstabila aggregat. Lätt tillgängligt substrat t.ex. glukos ökar andelen stabila aggregat relativt snabbt men aggregaten är instabila (varar i åtskilliga veckor) eftersom bindemedlet snabbt nedbryts. Mindre lätt tillgängligt material, som t.ex. rajgräsvävnad, leder till en gradvis ökning i stabila aggregat som håller sig i månader (Tisdall & Oades, 1982). Mer svårnedbrytbart material som t.ex. cellulosa ger en långsam och relativt begränsad effekt på aggregatstabiliteten som emellertid varar i flera månader. Under växternas tillväxt sker en ökning i stabila aggregat som är stabila i flera månader, eftersom rötter och associerade hyfer nedbryts långsamt. Vissa av polysackariderna kan skyddas från mikrobiell nedbrytning genom att förena sig med metalljoner, tanniner (garvsyror) eller lerytor. Sådana material och deras bindande inverkan kan då bli stabila under åtskilliga år (Tisdall & Oades, 1982). Polysackariderna binder hop partiklar i lerstorlek till aggregat som är i storleksordningen 10 µm i diameter och är inte involverade i stabiliseringen av stora aggregat. Polysackarider har sålunda en mindre relativ betydelse i jordar med stort innehåll av organiskt material t.ex. efter många års vall.

### *Temporära bindemedel*

Temporära bindemedel är rötter och hyfer, speciellt VA-mycorrhizahyfer. Sådana bindemedel byggs upp i jordar inom några veckor eller månader när rotsystemet och därtill förenade hyfer tillväxer. De finns kvar i månader eller kanske år och påverkas av odlingsystemet, som t.ex. jordbearbetning, växtföljd m.m. (figur 4) (Tisdall & Oades, 1982). Temporära bindemedel stabiliserar makroaggregat >250 µm i diameter. Detta beror förmodligen på att rötter och svamphyfer är relativt stora. De kan växa i stora porer, vilka i väl-dränerade jordar sannolikt innehåller luft även under våta perioder.





**Figur 4.** Effekt av växtföljd på stabila mikro- och makroaggregat. Mängden stabila makroaggregat ökar med mängden organiskt kol i jorden, bildningen av stabila mikroaggregat ökar långsammare eftersom de ej påverkas av odlingsystemet. En långvarig vall ger bäst tillskott av organiskt material medan öppen odling med vete tillsammans med träda inte är att föredra. W=Vete, F=Träda, P=Vall (Tisdall & Oades, 1982).

*Rötter:* Rötterna tillför inte bara nedbrytbart organiskt material till jorden och försörjer en stor mikrobiell population, utan en del växrötter (speciellt gräsrötter) agerar även själva som bindemedel. Rötterna formar ett nät av trådar med en diameter på 10  $\mu\text{m}$  och större. Dessa rötter växer i de grövre porerna och är således fördelade runt större aggregat. Hyfer, speciellt VA-mycorrhiza kan ses som en förlängning av detta rotsystem. De bildar mycel med hyfer som har en diameter upp till 10  $\mu\text{m}$  och växer i det finare por-systemet och runt mindre aggregat (Oades, 1984). Rötterna snärjar in fina partiklar till stabila makroaggregat även när rötterna har dött. Rotrester som lösgjorts till jorden är i form av fina laterala rötter, rothår, avömsade celler från rotspetsen, döda celler, sekret (mucilage), lysates och flyktiga och vattenlösliga material (Tisdall & Oades, 1982).

*Hyfer:* Svamparnas hyfer inverkar både på bildandet av aggregat och stabiliseringen av dessa. Genom sin framfart i jorden kan hyferna föra partiklar i kontakt med varandra och i kontakt med bindemedel. Graden av stabila aggregat kan korreleras väl med hyfernas längd. Effekten av svampar på stabiliteten kan vara rent fysisk, men där hyfer har observerats binda ihop jordpartiklar, verkar mindre aggregat också vara fästade vid hyferna. Svampar kan vara effektiva stabilisatorer eftersom spridningen av hyfer mellan aggregat och in i stora porer distribuerar deras bindemedel genom jorden. Deras verkan vid stabilisering av aggregat kan även vara mer indirekt, eftersom de kan utgöra substrat för andra mikroorganismer (Lynch & Bragg, 1985). Man tror att svamparnas medverkan vid stabilisering av aggregat i fält begränsas till perioder när lättnedbrytbart material har tillförts jorden i stora kvantiteter som leder till en ökning av hyftillväxt.

I de flesta fall där aggregatstabiliteten i fält, där det finns växter, rapporterats bero på mikrobiella fibertrådar, var det förmodligen frågan om VA-mycorrhiza svampar (Tisdall & Oades, 1982). Jordaggregatens vattenstabilitet, speciellt hos makroaggregat, beror på hyfernas längd. Svampproducerade vidsträckta hyfer har rapporterats ha en längd som överstiger 10 mm från roten. Man vet inte hur länge dessa svampar lever kvar i jorden

när deras värd har dött, men man vet att hyfer kan finnas kvar i jordar åtskilliga månader efter att växterna dött även om hyferna inte är livsdugliga (Tisdall & Oades, 1982). Saprophytiska svampar som är sterila i kulturmedium kan också anses vara temporära bindemedel eftersom vissa av dessa kan isoleras från jorden under hela året (Tisdall & Oades, 1982).

*Andra temporära bindemedel:* Även om svampar bildar mer än 50 % av den mikrobiella biomassan i jorden och bidrar mer än bakterier till organiska materialet i jorden, så utvecklas organiska bindningar också från nedbrutna bakterieceller i rotzonen eller runt organiska rester (Tisdall & Oades, 1982). Bakteriernas roll i bildningen av aggregat är oklar, men man vet att de kan bindas till jord och andra ytor. Man har funnit att polysackarider är huvudbeståndsdelen vid bakteriernas aggregatstabilisering (Lynch & Bragg, 1985).

### *Stabila bindemedel*

Stabila bindemedel består av nedbrutna aromatiska humusämnen i förening med amorft Fe, Al och aluminiumsilikat. Organiskt material bundet till mineral utgör i storleksordningen 52-98 % av den totala mängden organiskt material i jorden (Tisdall & Oades, 1982). Stabila bindemedel härrör förmodligen ifrån de motståndskraftiga fragmenten av rötter, hyfer, bakterieceller och kolonier (dvs. temporära bindemedel) som utvecklats i rotzonen (Tisdall & Oades, 1982). Dessa bindemedel stabiliserar framför allt mikroaggregat, dvs. aggregat <250 µm i diameter. Sekret som bildas under nedbrytning av organiska fragment samverkar med leret som inkapslar det organiska materialet. Fragment av växtmaterial agerar som innandöme hos många mikroaggregat och skyddas från snabb nedbrytning av omgivande oorganiskt material. Eventuellt kan växtresterna oxideras och lämna ett hålrum omgivet av aggregerade partiklar stabiliserade av mikroorganismerna, som utnyttjar växtresterna, och deras metaboliska produkter (Tisdall & Oades, 1982).

### **Hur mäter man markstruktur?**

Begreppet markstruktur är ganska diffust och det kan vara svårt att definiera vad som är en bra eller en dålig struktur. Ännu svårare är det att beskriva vilken eller vilka faktorer som är avgörande för om strukturen i en viss jord är bra eller dålig. Genom att undersöka ett antal olika markfysikaliska parametrar kan man på olika sätt åskådliggöra markstrukturen.

För att beskriva strukturen är det vanligt att man i markvetenskapliga studier gör en texturanalys vilket ger en övergripande bild av markens uppbyggnad. Vid en sådan analys tas enligt standardiserade metoder emellertid det organiska materialet och karbonater bort, för att man ska få fram primärpartiklarna. Eftersom det ofta är de sammansatta partiklarna (aggregaten) som har störst betydelse för jordens egenskaper i fält (hydraulisk konduktivitet, skorpbildning, erosionsbenägenhet och bearbetningsbarhet) är en vanlig texturanalys inte alltid användbar för beskrivning av strukturen (Dexter, 1988). Det kan i stället vara bättre att utföra mekanisk analys utan att ta bort organiskt material och karbonater, för att få en bild av hur den verkliga kornstorleksfördelningen ser ut.

Om man dessutom gör analysen både med och utan att ta bort de aggregerande ämnena, kan man se hur stor andel av lerpartiklarna som är bundna direkt till varandra i mikroaggregat.

Aggregatens stabilitet i vått tillstånd är en viktig egenskap. Om denna stabilitet är hög ökar markens bärighet och dessutom minskar lerans benägenhet att smeta vid packning och ältning (Heinonen, 1985). Även markens erosionsbenägenhet minskar. Genom mekanisk och kemisk behandling av stigande intensitet som bryter ned aggregaten, kan man med hjälp av efterföljande mekanisk analys avgöra aggregatens stabilitet (Churchman & Tate, 1986).

Eftersom flockulering (motsats till dispergering) är grunden för all aggregatbildning, är det en viktig faktor när det gäller att bevara en god markstruktur. Bestämning av mängden ler som dispergerar vid en viss behandling borde därför vara ett bra mått på aggregatens och strukturens stabilitet. Ju mindre andel ler som dispergerar desto högre stabilitet. Den mängd ler som frigörs kallas för "dispersible clay", d.v.s. dispergerbart ler, och är ett vanligt mått på strukturstabilitet (Shanmuganathan & Oades, 1983; Oades, 1984; Baldock m.fl., 1994).

Även en torr jords stabilitet är viktig. För att förhindra jordpackning eller underlätta jordbearbetning är aggregatens torra hållfasthet eller sprödhet av betydelse. Dessa storheter kan mätas genom att bestämma den kraft som behövs för att krossa aggregaten. Testet är relativt enkelt och kan användas på aggregat av olika storlek och med oregelbunden form, metoden är dock begränsad till att användas på makroaggregat.

En ostörd jord är mer stabil än en störd och det gör att när man transporterar jordprover från fält till laboratorium försvagas generellt sett strukturen. Det kan därför vara bra att kunna mäta strukturen direkt i fält. Med hjälp av en penetrometer kan man mäta markmotståndet, d.v.s. det tryck som behövs för en stång att tränga ned i jorden. Trycket kan sägas motsvara växtrotens tryck vid dess penetrering av jorden. Markmotståndet vid penetrometarmätningar beror dock på en mängd olika faktorer, inte bara markfysiska, och kan därför vara svårtolkat (Dexter, 1988).

Mätning av strukturskillnader kan göras genom mätningar av vatteninfiltrationen i marken, varvid man får ett bra mått på om strukturen är bra eller inte. Man kan förvänta sig att det finns en optimal infiltrationsförmåga som också innebär optimal skörd, dvs. för låg eller för hög infiltration sänker skörden. Vid för låg infiltration är andelen små porer stor och jorden blir lätt vattenmättad med syrebrist som följd. Vid mycket hög infiltrationsförmåga är andelen porer mycket stor, jorden dränerar lätt och det blir för lite vatten kvar till växterna.

Såbäddens strukturegenskaper kan undersökas i fält genom en såbäddsundersökning (Kritz, 1983). Då bestäms bl.a. vattenhalter, aggregatstorleksfördelning, sådjup och såbottens jämnhet. Undersökningen ger en god bild av det sådda fröets gröningsmiljö och möjlighet till etablering.

## MATERIAL OCH METODER

### Försöksplatser

De fyra försöksplatser som har undersökts är Gullåkra, mellanlera (lerhalt 29 %), beläget mellan Lund och Malmö, Högestorp, en mellanlera (lerhalt 30 %) i närheten av Eslöv, Karlsfält en styv lera (lerhalt 44 %) mellan Helsingborg och Båstad samt Norrevång, lättlera (lerhalt 24 %), strax utanför Hammenhög.

### Försöksplan

Försöken anlades 1997 för att undersöka hur de olika trädesvallarna påverkade skörden av sockerbetor hösten 1999. Av intresse var också att undersöka rödklövervallens respektive lusernvallens strukturuppbyggande förmåga jämfört med höstvete, dels genom tillförseln av organiskt material och dels genom rödklöver- och lusernrötternas luckrande verkan.

Varje försöksplats delades upp i tre försöksled, a, b och c med förfrukterna rödklövervall, lusernvall och höstvete (tabell 2) och med 8 skörderutor inom varje försöksled. Några upprepningar mellan behandlingarna fanns inte. Fältplaner återfinns i bilaga 1.

**Tabell 2.** Försöksled och behandlingar

Försöksled	1997	kg/ha	Sort	1998	1999
a. rödklöver	vårsäd + insådd			gröngöds-	sockerbetor
	30 % <i>rödklöver</i>	5,4	Fanny	lingsvall	
	70 % ängssvingel	12,6	Sv. Sena		
b. lusern	vårsäd + insådd			gröngöds-	sockerbetor
	30 % <i>lusern</i>	6,6	Vertus	lingsvall	
	70 % ängssvingel	15,4	Sv. Sena		
c. höstvete	vårsäd			höstvete	sockerbetor

I rödklövervallen användes den medelsena rödklöversorten Fanny, som är en tetraploid, vinterhärdig, uthållig sort och den högst avkastande rödklövern i Götaland och stora delar av Svealand. Förstaskörden är något lägre än de diploida sorterna men i återväxtskördarna presterar sorten Fanny en väsentligt högre skörd. Fanny har något svag resistens mot stjälnematod (Wallgren m.fl., 1995). I lusernvallen användes lusernsorten Vertus, som ger hög avkastning i Götaland och södra Svealand och har god resistens mot vissnesjuka och stjälnematoder (Wallgren m.fl. 1995). Alla fält- och laboratorieundersökningar genomfördes under 1999. Maskstudien genomfördes även hösten 1998.

## Fältobservationer

Danisco Sugar genomförde den löpande kontrollen av försöken. Detta skedde under 1997 genom bedömning av insådd och etablering av insådderna. Under 1998 graderades i trädesvallarna baljväxternas respektive grässets marktäckning och baljväxternas höjd bestämdes före var och en av de tre avslagningarna. Under 1999 kontrollerades sockerbetornas etablering. Planräkningar gjordes vid två tillfällen, den första i maj och den andra 3 månader senare. Bedömning av radtäckning gjordes vid två tillfällen, i slutet på juni och 10-14 dagar senare. Graderingarna av sockerbetorna redovisas ej i detta arbete.

## Fältarbete

### Infiltrationsmätningar i alven (vatten)

Vid varje skörderuta genomfördes en vatteninfiltrationsmätning vilket innebar 8 mätningar per försöksled. Jord avlägsnades ned till alven och en ring med en diameter på 40 cm och en höjd på 25 cm slogs ned i alven ca 2-5 cm. Vatten fylldes upp till 10 cm. Denna nivå bibehölls sedan i 15 minuter varefter en mätning skedde av vattenytans höjdnivå. Efter 5 minuter mättes nivån återigen och skillnaden mellan de två mätningarna återspeglar den mättade infiltrationen efter 15 minuter. Den mättade infiltrationen mättes återigen efter 30 minuter och efter 1 timme. Vattenytan hölls konstant mellan mätningarna.

### Jordprovsuttagning

Ett jordprov togs ut vid varje skörderuta, dvs. 8 per försöksled. Vid provtagningen togs tre spadstick runt infiltrationsringen och blandades i en hink varpå ett representativt prov togs ut för analys på laboratorium av aggregatstabilitet, halt av organiskt material (organiskt kol), totalkol samt pH i vatten. Ett alvprov togs med jordborr vid varje skörderuta. Alvprov från 4 skörderutor i varje led blandades så att 2 alvprov per led erhöles och analys gjordes på laboratorium av pH, jordart och aggregatstabilitet.

### Profilstudie

Under augusti månad genomfördes en profilstudie i varje led, d.v.s. tre per försöksplats. I varje profil uppmättes matjordsdjup, antalet vertikala maskgångar på en horisontell yta, rot- och maskgångsfördelning på djupet, hur skarp gränsövergången mellan matjord och alv var, graden av halminblandning samt halmens förmultningsgrad. För de parametrar som inte kunde räknas eller mätas användes en tregradig betygskala där 1 fick representera det ur växtperspektiv mest negativa betyget och 3 det mest positiva betyget.

*Halm.* Halminblandning betygsattes enligt följande: 1 = dålig inblandning d.v.s. tydligt halmiskt, 2 = medel samt 3 = god inblandning av halmen i matjorden.

Halmens förmultningsgrad bedömdes med: 1 = dåligt omsatta växtrester, 2 = mellanting mellan god och dålig samt 3 = väl förmultnade växtrester.

*Gränsövergång.* Gränsövergång mellan matjord och alv angavs som 1 = skarp (< 2 cm), 2 = medel (2-5 cm) samt 3 = diffus (> 5 cm).

*Allmänt omdöme.* Här angavs om profilen gav ett kompakt intryck (betyg 1), medel (2) eller ett luckert och poröst intryck (3). Detta angavs på nivåerna 15-20 cm, 30-35 samt 45-50 cm.

*Rotutveckling och maskgångar.* Rötterna räknades med hjälp av en ram som trycktes in i sidan på profilen. Ramen var 4\*4 dm med ett kors i mitten så att den delades upp i 4 sektioner med vardera sidan 2 dm. På så vis fås rotantalet i 2 dm skikt. Ramen placerades om möjligt över två angränsande betor på så sätt att de båda betorna hamnade i mitten av varsin ramsektion. Endast rötter större än 0,5 mm räknades. I samma ram räknades även maskgångar större än 2 mm. Tre upprepningar gjordes bredvid varandra i varje profil.

*Vertikala maskgångar.* Maskgångar räknades på en horisontell yta av 2dm\*2dm med tre upprepningar på ett djup av 30-35 cm.

#### Vattenhaltsmätning

Vattenhaltsmätning i fält gjordes med en Thetaprobe, som mätte vattenhalten i volymsprocent genom att utnyttja att dielektricitetskonstanten är mycket större för vatten än för det fasta materialet i marken (Miller & Gaskin, 2000).

#### Maskstudie i fält

Under höstarna 1998 och 1999 utförde Hans Larsson m.fl. vid Institutionen för växtskyddsvetenskap vid Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp, maskinventering i försöken genom utdrivning med formalin. I oktober 1998 gjordes maskinventering på Gullåkra och Högestorp med fyra upprepningar per led, d.v.s. i skörderutorna 1, 3, 5 och 7. Under oktober 1999 inventerades alla försöksplatser med tre upprepningar per led, d.v.s. i skörderutorna 2, 4 och 6. Maskarnas arter, vikt och längd undersöktes vid varje tillfälle.

#### Infiltrationsmätningar i matjorden (formalin)

Hösten 1999 gjordes samtidigt som maskinventeringen, infiltrationsmätningar i matjorden. 5 liter formalin tillfördes en yta på 0,125 m<sup>2</sup> och tiden det tog för formalinet att sjunka ner i matjorden mättes. Detta blev ett mått på den omättade infiltrationen i matjorden.

## Laboratoriearbete

### Kemiska analyser

#### *pH.*

I samtliga jordprover (matjord och alv) mättes pH-värdet i vatten. En del jord och två delar avjoniserat vatten mättes upp i provrör. Proven skakades i 1 timme och fick sedan stå i 1 timme. Därefter mättes pH i den klara vätskan. För varje prov gjordes två upprepningar.

#### *Bestämning av kolinnehåll och mängd organiskt material*

Halten organiskt bundet kol bestämdes kemiskt enligt metod beskriven av Walkley & Black (1934) i samtliga matjordsprover. Det i jordprovet organiskt bundna kolet oxiderades med kaliumbikromat ( $K_2Cr_2O_7^{2-}$ ) som oxidationsmedel, varefter överskottet av bikromat ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) bestämdes genom titrering med ferroammoniumsulfatlösning ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ). Halten organiskt bundet kol är ett mått på halten organiskt material i provet.

Jordprovets innehåll av organiskt kol och totalkol bestämdes med LECO<sup>®</sup> CNS-2000 Analyser vid Avdelningen för växtnäringslära, Institutionen för markvetenskap, SLU, Uppsala. De framkomna resultaten användes som referens vid jämförelse med metod enligt Walkley & Black (1934). LECO<sup>®</sup> CNS-2000 används för att bestämma kol, kväve och svavelinnehåll i ett brett spektra av organiska ämnen. Bestämning av kolinnehållet bygger på förbränning, där kolet i en ugn med tillförsel av ren  $O_2$  omvandlas till  $CO_2$ . Gasen av det okända provet passerar en infraröd detektor där dess energiinnehåll bestäms och jämförs i den inbyggda datorn med en linjär kalibreringskurva. Det okända provets kolinnehåll beräknas, och anges i viktsprocent av lufttorrt material. Genom att beräkna differensen mellan totalkolet och det organiska kolet kunde halten karbonatkol bestämmas.

### Aggregatstabilitet

Aggregatstabiliteten undersöktes med en aggregatanalysmetod, i vilken aggregaten utsattes för gradvis ökande nedbrytning (Churchman & Tate, 1986; Oades & Waters, 1991). Efter varje nedbrytningssteg analyserades kornstorleksfördelningen. Målet var att se vad som orsakat aggregeringen och hur stabila aggregaten var. De lufttorkade jordproven pressades genom en sikt med maskvidden 8 mm. Alla i analysen medverkade aggregat blev på så vis mindre än 8 mm. Aggregatens nedbrytning utfördes i två steg: Kraftig mekanisk sönderdelning samt fullständig sönderdelning i primärpartiklar med avlägsnande av karbonater och organiskt material.

*Kraftig mekanisk nedbrytning.* 20 g jord hälldes i en sedimentationscylinder (1000 ml) med avjoniserat vatten och skakades i 16 timmar.

*Maximal mekanisk och kemisk nedbrytning.* 20 g jord vägdes upp i en 600 ml glasbägare och fuktades därefter med avjoniserat vatten. För att avlägsna karbonatet tillfördes 1 N HCL droppvis tills provet slutat fräsa och koldioxid avgått. För avlägsnande av organiskt material via oxidation tillsattes 50 ml 10 % väteperoxidlösning ( $H_2O_2$ ) och provet



kokades på vattenbad tills vätskan klarnat och allt organiskt material oxiderats. Därefter tillfördes provet 50 ml 0,1 M natriumdifosfat,  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ , för dispergering av leret. Provet fördes över till en sedimentationscylinder (1000 ml) tillsammans med avjoniserat vatten och skakades i 16 timmar.

Efter varje behandling utfördes pipettanalys och våtsiktning enligt metod beskriven av Ljung (1987), för att bestämma aggregat- och kornstorleksfördelningen i provet. Pipettanalys genomfördes på sedvanligt sätt och vid våtsiktningen användes siktare med maskvidderna 2 mm, 0,6 mm, 0,2 mm och 0,063 mm.

## Skörd

1999 skördades sockerbetorna i alla försök av Danisco Sugar AB. På Gullåkra skördades samtliga rutor utom ruta 1 och 2 i rödklöverledet och ruta 1 i lusernledet och på Norrevång skördades samtliga rutor utom ruta 1 och 5 i rödklöverledet och ruta 5 i lusernledet. På Högestorp skördades rutorna 1 till 6 i varje led, ruta 7 och 8 i samtliga led på Högestorp ströks p.g.a. ojämnheter i delen längst ner på fältet. Karlsfält skördades ej p.g.a. för ojämn uppkomst. Skördad rotvikt och utvinnbart socker bestämdes.

## Statistik

Statistisk bearbetning av skörderesultat och infiltrationsmätningar utfördes av Avdelningen för jordbruksteknik vid Danisco Sugar AB. Lägsta signifikanta skillnad beräknades med 95 % konfidensintervall (LSD 95 %). Om skillnaden mellan två behandlingar är större än LSD 95 % är den med 95 % sannolikhet statistiskt signifikant. Signifikansnivån anger hur stor sannolikheten är att det lägsta och högsta resultatet verkligen är olika varandra. Variationskoefficienten (CV) är ett mått på spridningen i försöket, angivet i procent av medeltalet av alla uppmätta värden. Låg CV betyder att spridningen är liten och att resultaten är trovärdiga.

## RESULTAT

### Bedömning av förfrukter

Personal från Danisco Sugar AB bedömde förfrukternas (trädesvallarnas) längd och marktäckning vid de olika avslagningstidpunkterna. Resultaten av bedömningarna redovisas nedan med uppdelning på varje försöksplats för sig samt en sammanställning av alla platser i tabell 3. Även försöksvärdarnas kommentarer vid plöjningen av de olika förfruktsleden redovisas.

#### *Gullåkra:*

Den 2 april 1997 såddes vårkorn på skiftet. Insådden av trädesblandningarna skedde den 18 april och insådderna etablerades bra. Halmen pressades efter tröskningen i augusti 1997. Under odlingssäsongen 1998 slogs vallgrödan av tre gånger. I trädesvallen med rödklöver dominerade klövern kraftigt över gräset hela säsongen. Den 2 juni var 80 procent av marken täckt av rödklöver och den 24 augusti var 90 procent rödklöver. Den 8 juli var marktäckningen av klövern något mindre, men fortfarande täckte rödklövern marken till cirka 2/3. I trädesvallen med lusern var situationen den motsatta. Tidigt och sent på säsongen, den 2 juni och den 24 augusti, täckte lusernen cirka hälften av marken, medan andelen lusern var 80 procent den 8 juli.

Försöksvärdens plöjningskommentarer (14 november 1998):

”Det var stor skillnad” (mellan höstvetet och vallarna)

”Det skiljde en växel, hade dränerat undan på ett helt annat sätt på trädan”

”Gick lättare att köra efter trädan”

#### *Högestorp:*

Den 2 april 1997 såddes vårvete på skiftet. Insådden av trädesblandningarna skedde den 7-8 april och insådderna etablerades bra. Halmen pressades efter tröskningen i augusti 1997. Under odlingssäsongen 1998 slogs vallgrödan av två gånger. I trädesvallen med rödklöver dominerade klövern kraftigt över gräset hela säsongen. Ungefär ¾ av markytan var täckt med rödklöver och ¼ av ängssvingel. I trädesvallen med lusern var situationen den motsatta. Lusernen täckte marken med ungefär ¼ under säsongen med ett undantag vid avslagningen den 27 juli då andelen var 60 procent.

Försöksvärdens plöjningskommentarer (slutet av november 1998):

”Gick lättare efter vallen”

”Strukturen var bättre”

”Som att skära i smör”

#### *Karlsfält:*

Insådden skedde i vårvete 1997 och insådderna etablerades bra. Halmen pressades efter tröskningen i augusti 1997. Under odlingssäsongen 1998 slogs vallgrödan av två gånger enligt försöksvärden men datum är osäkra. I trädesvallen med rödklöver dominerade klövern kraftigt över gräset hela säsongen. Cirka 80 procent av marken var täckt av klöver under säsongen och först i slutet av augusti sjönk andelen klöver till 50 procent. I trädesvallen med lusern var situationen mer varierande. I slutet av maj var andelen lusern 50 procent för att i mitten av juli vara uppe i 70 procent och sedan åter sjunka till 40 procent i slutet av augusti.

Försöksvärdens plöjningskommentarer (slutet av oktober 1998):

Försöket plöjdes inte av försöksvärden utan av en granne, som kommenterade följande:

”Försöksvärden och jag pratade om det, därför minns jag att det gick lättare att plöja efter vallen”

**Tabell 3.** Datum för trädesvallarnas graderingar och avslagningar under 1998. Baljväxternas och gräsets längd (cm) samt marktäckning (%). a=rödkläver + ängssvingel, b=lusern + ängssvingel

	Datum	Datum	Försöksled	Längd (cm)		Marktäckning (%)	
	gradering	avslagning		Baljväxt	Gräs	Baljväxt	Gräs
Gullåkra	0602	0602	a	55	70	80	20
			b	65	80	50	50
	0708	0708	a	25		65	35
			b	50		80	20
	0824	-	a	30		90	10
		-	b	30		50	50
	-	1102	a	75			
	-		b	55			
Högestorp	0603	0603	a	50	75	75	25
			b	45	75	25	75
	0709	-	a	25		75	25
		-	b	35		25	75
	0727	0727	a	40		80	20
			b	50		60	40
	0824	-	a	20		75	25
		-	b	20		25	75
Karlsfält	0528	?	a	60		80	20
		?	b	70		50	50
	0714	?	a	35		80	20
		?	b	45		70	30
	0828	-	a	20		50	50
		-	b	30		40	60
Norrevång	0604	0604	a	50	70	60	40
			b	50	70	50	50
	0708	-	a	25		95	5
		-	b	35		60	40
	0720	0720	a	45		85	15
			b	50		75	25
	0827	-	a	40		80	20
		-	b	50		60	40
	0921	0921	a	40		90	10
			b	50		80	20

### Norrevång:

Den 1 april 1997 såddes vårkorn på skiftet. Insådden av trädesblandningarna skedde cirka 14 dagar senare, omkring den 15 april, och insådderna etablerades bra. Halmen pressades efter tröskningen i augusti 1997. Under odlingssäsongen 1998 slogs vallgrödan av tre gånger. I trädesvallen med rödklöver dominerade klövern kraftigt över gräset hela säsongen. Den 4 juni var 60 procent av marken täckt av rödklöver för att senare öka till 80-95 procent under resten av säsongen. I luservallen var inte lusern lika dominerande utan täckte marken till måttligare 50 procent vid den första avslagningen. Senare ökade andelen lusern i vallen till mellan 60 och 80 procent.

Försöksvärdens plöjningskommentarer (oktober-november 1998):

”Det var inte lika ihopslaget efter trädorna”

”Efter höstvetet gick det lika tungt att plöja som efter sockerbetorna”

### Skörderesultat

Medelskörden i försöken var hög med en relativt stor variation mellan försöksplatserna. Vid en sammanställning över alla försök fanns det inga signifikanta skillnader i sockerskörd mellan de tre förfrukterna (tabell 4). Sockerbetornas plantantal var däremot signifikant lägre efter höstvetete än luservallen som förfrukt. Om man ser på de enskilda försöksplatserna så gav höstveteledet på Norrevång signifikant högre sockerskörd jämfört med luservall som förfrukt (tabell 5). Övriga gårdar visade inga signifikanta skillnader i skörd, dock visade det sig att sockerskörden varierade olika mycket inom fälten hos de tre gårdarna. Störst variation fanns på Högestorp där variationskoefficienten (C.V.) var 14,8 medan den på Gullåkra och Norrevång var 5,7 respektive 5,1. Samtliga skörderutor i lusernledet på Högestorp och rödklöverledet på Norrevång låg på vändtegen. I dessa kan skörden ha påverkats så till vida att en högre skörd kunde ha uppnåtts om även de rutorna hade legat utanför vändtegen.

**Tabell 4.** Sockerbetsskörden hösten 1999. Medelvärden från alla försöksplatser utom Karlsfält. CV=variationskoefficient, LSD 95%=lägsta signifikanta skillnad, Signifikansnivå = procentuell sannolikhet att största skillnaden mellan leden är verklig

Behandling	Plantantal 1000- tal/ha	Ren rotvikt ton/ha	Ren rotvikt rel. tal	Utvinnbart socker ton/ha	Utvinnbart socker rel. tal
a. rödklöver	90,9	58,6	102	9,06	101
b. lusern	93,0	54,8	96	8,62	96
c. höstvetete	88,9	57,2	100	9,01	100
CV	1,6	3,1	-	3,26	-
LSD 95 %	3,4	3,9	-	0,66	-
Signifikansnivå	97,2	94,4	-	86,7	-

**Tabell 5.** Sockerbetsskördarna vid respektive försöksplats angivet som utvinnbart socker. Karlsfält skördades ej p.g.a. för ojämn uppkomst. CV=variationskoefficient, LSD 95%=lägsta signifikanta skillnad, Signifikansnivå = procentuell sannolikhet att största skillnaden mellan leden är verklig

Behandling	Gullåkra		Högestorp		Norrevång	
	ton/ha	rel. tal	ton/ha	rel. tal	ton/ha	rel. tal
a. rödklöver	11,05	99	7,16	110	8,97	96
b. lusern	10,73	96	6,61	101	8,51	91
c. höstvete	11,17	100	6,52	100	9,33	100
CV	5,71	-	14,8	-	5,12	-
LSD 95 %	0,73	-	1,23	-	0,52	-
Signifikansnivå	79,3	-	71,8	-	99,7	-

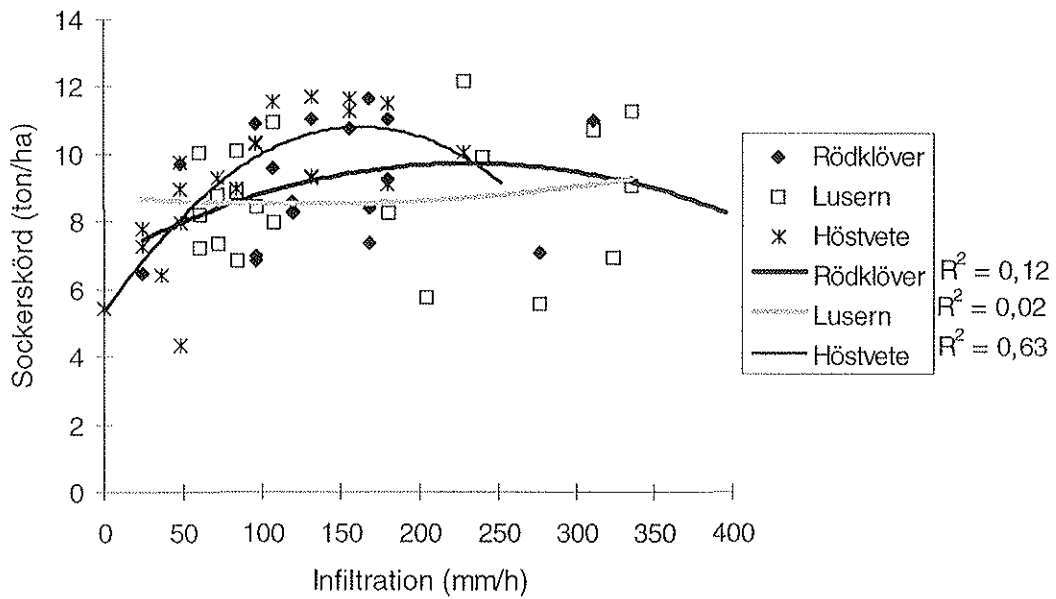
## Fältundersökningen

### Infiltrationsmätningar

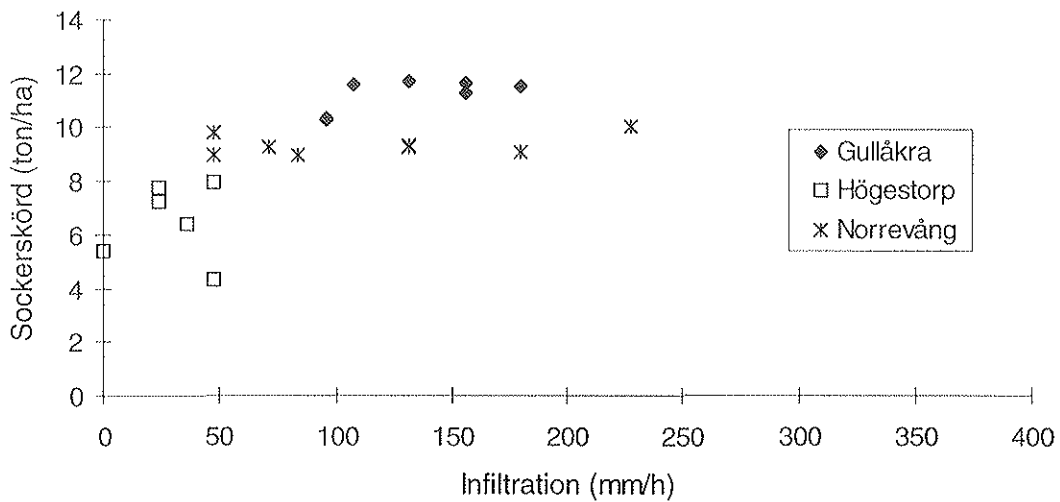
Infiltrationsmätningarna med formalin under hösten 1999 visade att infiltrationen i matjorden generellt var mycket större efter rödklöver och lusern än efter höstvete (tabell 6). Vid infiltration med vatten i alven gav de tre förfrukterna totalt sett inga signifikanta skillnader. Tendensen är dock densamma som för matjorden. I alla led förekommer mycket stor spridning av värdena (figur 5). På Högestorp hade höstveteledet signifikant lägre infiltration än de övriga två förfrukterna. Övriga försöksplatser hade inga signifikanta skillnader i infiltration i alven. Infiltrationsmätningar i alven på Karlsfält gjordes ej p.g.a stenskikt. Skörden påverkades inte av infiltrationen i alven, undantaget några skörderutor i höstvetet på Högestorp med infiltration mindre än 50 mm/h. Infiltrationen var i allmänhet så pass stor (>50 mm/h) att den inte verkade påverka skörden (figur 6). Samtliga skörderutor i lusernledet på Högestorp och rödklöverledet på Norrevång låg på vändtegen, vilket kan ha påverkat resultatet så till vida att en högre infiltration kunde ha uppnåtts om även de rutorna hade legat utanför vändtegen.

**Tabell 6.** Omättad infiltration med formalin i matjorden (3 bestämmingar) och mättad infiltration med vatten i alven (8 bestämmingar). Infiltrationsmätningar i alven på Karlsfält gjordes ej p.g.a stenskiikt. CV = variationskoefficient, LSD 95% = lägsta signifikanta skillnad, Sign. nivå = Signifikansnivå, d.v.s. procentuell sannolikhet att högsta och lägsta värdet är olika

	Infiltration i matjorden Omättad (mm/h)	Infiltration i alven Mättad (mm/h)		
		efter 15 min	30 min	60 min
<b>Gullåkra</b>				
a. rödklöver	2000	224	183	160
b. lusern	1400	228	210	174
c. höstvetete	196	195	183	147
CV	55,7	55,9	53,9	53,1
LSD 95%	1334,0	125,3	107,7	88,6
Sign.nivå	98,3	41,1	39,3	46,7
<b>Högestorp</b>				
a. rödklöver	1333	214	182	152
b. lusern	1467	249	200	156
c. höstvetete	147	58	51	39
CV	73,5	87,8	80,5	82,6
LSD 95%	1442,2	158,9	120,6	99,2
Sign.nivå	93,4	97,9	98,2	97,2
<b>Karlsfält</b>				
a. rödklöver	9600			
b. lusern	4400			
c. höstvetete	2400			
CV	7,3			
LSD 95%	799,2			
Sign.nivå	99,9			
<b>Norrevång</b>				
a. rödklöver	301	170	144	117
b. lusern	333	170	147	124
c. höstvetete	0	182	148	116
CV	37,7	51,7	49,6	59,0
LSD 95%	159,2	93,3	75,6	73,0
Sign.nivå	99,8	20,8	9,7	20,0
<b>Medel, alla försök</b>				
a. rödklöver	3309	202	170	143
b. lusern	1900	216	186	152
c. höstvetete	686	145	128	100
CV	84,8	30,3	28,2	26,1
LSD 95 %	2882,7	128,7	102,9	77,9
Sign.nivå	93,2	79,7	80,7	85,7



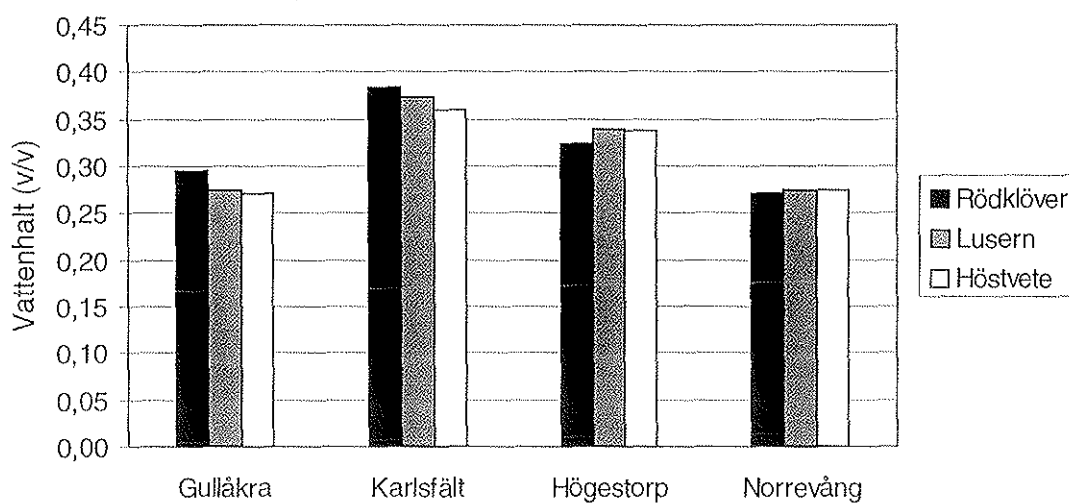
**Figur 5.** Skördens beroende av infiltrationen i alven (efter en timme) vid Gullåkra, Högestorp och Norrevång. Mycket stor spridning i alla förfrukter.



**Figur 6.** Skördens beroende av infiltrationen i alven (efter en timme) med höstvete som förfrukt, uppdelat på gårdar. För låg infiltration sänker skörden, om infiltrationen blir större än 50 mm/h påverkar infiltrationen ej skörderesultatet. Endast några få rutor på Högestorp verkade ha så låg infiltration att de påverkade sockerbetskörd.

## Vattenhalter i fält

Mätning av vattenhalt i samtliga skörderutor i alla försök gjordes 24 juni 1999. Detta gjordes för att se om det fanns några skillnader i upptorkning i försöken. Medelvärdena för Gullåkra och Karlsfält (fig. 7) visar att det fanns en tendens till att vattenhalten var högre i led med rödklöver som förfrukt medan det på Högestorp fanns en tendens till att vattenhalten var något lägre i led med rödklöver som förfrukt. På Norrevång fanns inga tydliga tendenser mellan leden.

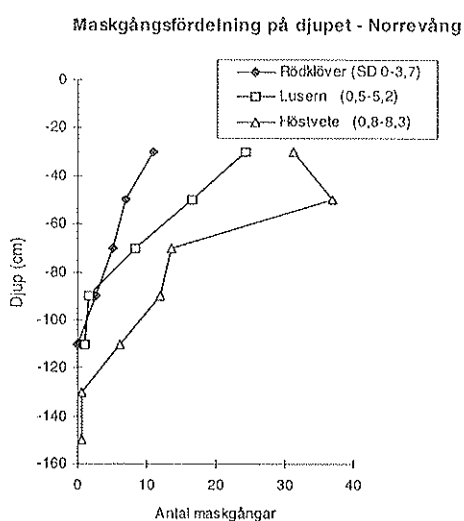
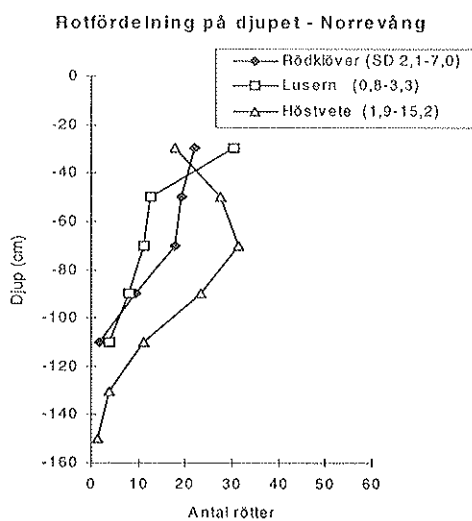
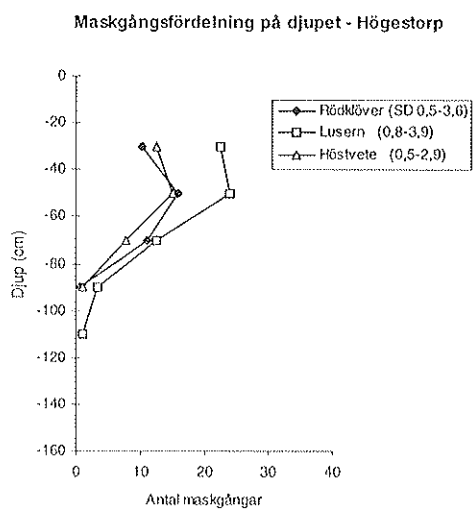
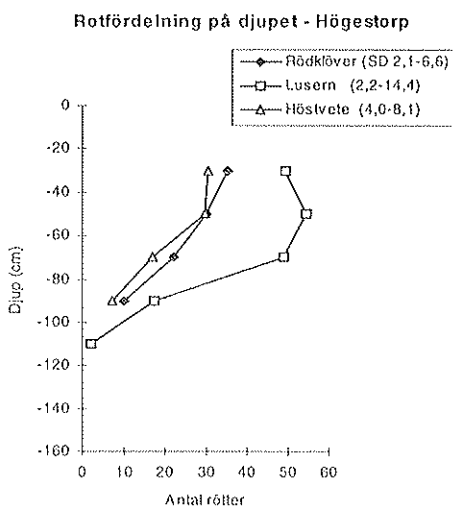
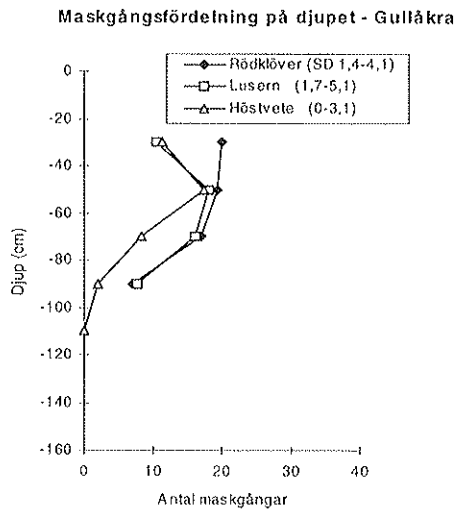
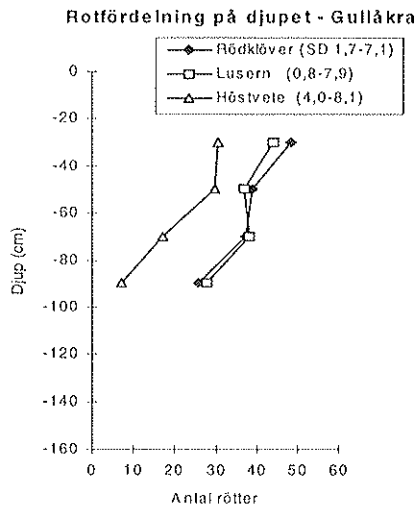


**Figur 7.** Vattenhalter (v/v) i medeltal i samtliga skörderutor och samtliga försök den 24 juni 1999.

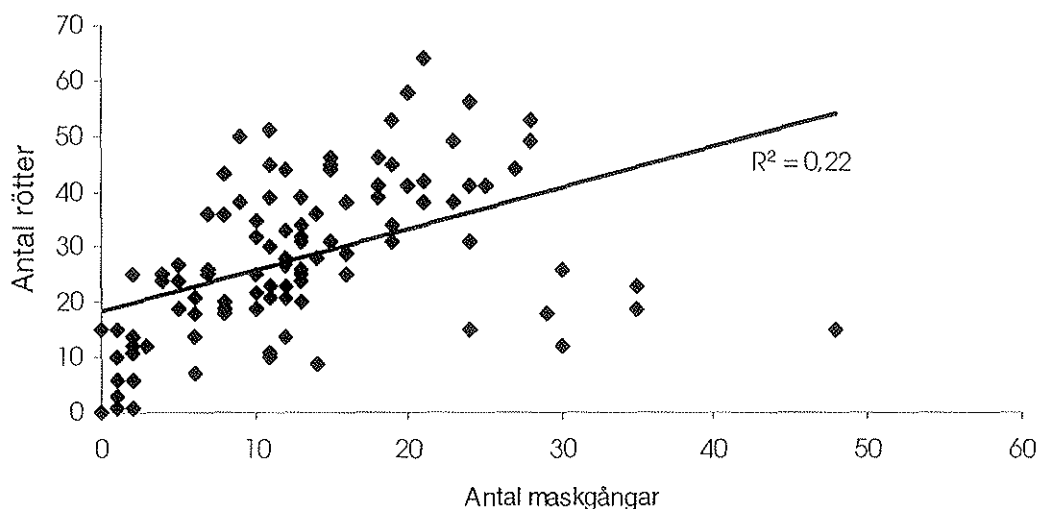
## Rötternas och maskgångarnas djupfördelning

I en grop per försöksled räknades rötter och maskgångar på olika djup från 20 cm djup och nedåt i sektioner på 20 cm i vertikalled och 40 cm i horisontalled (8 dm<sup>2</sup>) med tre bestämningar per grop. På Karlsfält hade en grop fyllts med vatten p.g.a. en framgrävd läckande dräneringsledning och kunde därför ej undersökas. På Gullåkra var mängden sockerbetsrötter och mängden maskgångar (figur 8) minst i led med höstvete som förfrukt. På Högestorp var mängden sockerbetsrötter och maskgångar störst i ledet med lusernvall som förfrukt. På Norrevång var mängden sockerbetsrötter och maskgångar större i led med höstvete som förfrukt än i övriga led. Det fanns också en tendens till att antalet rötter och antalet maskhål var korrelerade (figur 9).





**Figur 8.** Rotfördelning i sockerbeter och maskhålsfördelning på djupet för de olika förfrukterna vid försöksplatserna Gullåkra, Högestorp och Norrevång. Medeltal för 3 bestämningar per försöksled med angiven minsta och största standardavvikelse.



**Figur 9.** Samband mellan antalet maskgångar och antalet rötter från 20 cm djup ner till 1m djup i sockerbetsfälten. Samtliga försöksplatser utom Karlsfält.

#### Daggmaskförekomst

Daggmaskundersökningarna hösten 1998 på två av försöksplatserna visade på större antal maskar och högre maskvikter efter de båda trädesvallarna jämfört med efter höstvetet (tabell 7), men skillnaderna var inte signifikanta. Ett år senare upprepades undersökningarna på samtliga fyra försöksplatser. Antalet daggmaskar var då signifikant högre efter rödklövervallen jämfört med efter höstvete, medan skillnaden mellan luservallen och höstvetet inte var statistiskt säkerställd. Vikten av daggmaskarna var ungefär dubbelt så hög efter klöver- och luservallarna jämfört med efter höstvetet, men skillnaderna var inte signifikanta.

Daggmaskundersökningarna på Gullåkra visade stora skillnader i både antal och vikt redan hösten 1998 efter trädesåret. Höstveteledet hade då signifikant lägre antal maskar jämfört med de båda trädesleden. I daggmaskarnas vikt var skillnaden signifikant endast mellan höstvete och rödklöver. Ett år senare i sockerbetorna hösten 1999 var skillnaderna mellan leden ännu tydligare och visade signifikant högre daggmaskpopulationer, räknat både som antal och vikt, efter trädesvallarna jämfört med efter höstvete.

Vid daggmaskundersökningarna på Högestorp efter trädesåret, hösten 1998, var daggmaskpopulationen störst till antal och vikt efter rödklövervallen gentemot höstveteledet, men denna skillnad var inte statistiskt säkerställd. Ett år senare, hösten 1999 i sockerbetorna, var antalet daggmaskar signifikant högre efter de båda trädesvallarna, men daggmaskvikterna skiljde sig dock inte signifikant.

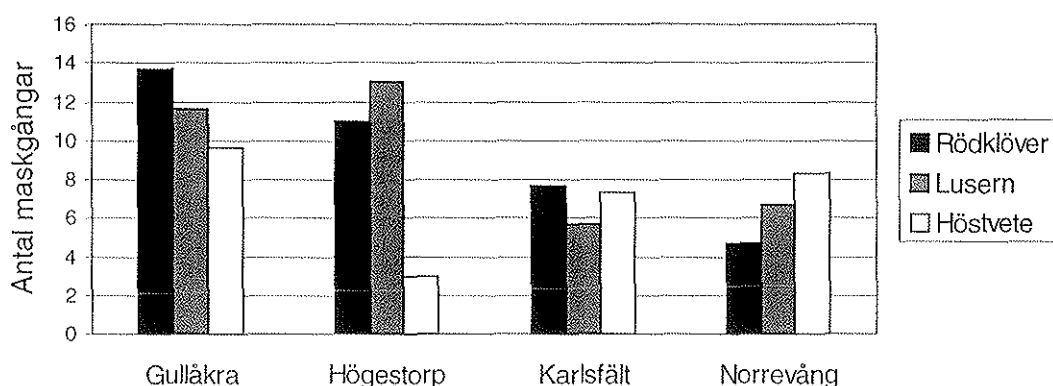
Daggmaskundersökningarna i sockerbetorna på Karlsfält hösten 1999 visade inte några säkra skillnader i varken antal eller vikt. Däremot visade undersökningarna hösten 1999 i sockerbetorna på Norrevång ett signifikant högre antal daggmaskar efter klövervallen jämfört med efter höstvetet. Daggmaskvikterna var också högst efter rödklövern men skillnaderna var inte signifikanta.

**Tabell 7.** Daggmaskinventeringar hösten 1998 (4 bestämmingar per led) och hösten 1999 (3 bestämmingar per led). Gullåkra och Norrevång inventerades både 1998 och 1999, Högestorp och Karlsfält inventerades endast 1999. Mängden mask anges som antal per m<sup>2</sup> och g per m<sup>2</sup>. CV = variationskoefficient, LSD 95% = lägsta signifikanta skillnad, Sign. nivå = Signifikansnivå, d.v.s. procentuell sannolikhet att största skillnaden mellan leden är verklig

	Daggmaskar hösten 1998		Daggmaskar hösten 1999	
	Antal/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>	Antal/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>
<b>Gullåkra</b>				
a. rödklöver	108,0	73,4	354,7	92,9
b. lusern	132,0	49,8	154,7	77,3
c. höstvete	14,0	10,4	58,7	9,7
CV	50,5	61,4	35,4	45,1
LSD 95%	68,3	43,7	134,0	54,0
Sign.nivå	99,6	99,0	99,8	99,1
<b>Högestorp</b>				
a. rödklöver	38,0	21,3	181,3	10,3
b. lusern	20,0	6,5	205,3	26,5
c. höstvete	30,0	9,8	66,7	11,5
CV	62,0	88,8	36,7	89,0
LSD 95%	29,1	17,8	110,7	28,6
Sign.nivå	80,5	90,8	97,8	78,5
<b>Karlsfält</b>				
a. rödklöver			216,0	28,8
b. lusern			200,0	43,5
c. höstvete			128,0	32,5
CV			32,0	52,9
LSD 95%			116,0	36,9
Sign.nivå			88,7	63,3
<b>Norrevång</b>				
a. rödklöver			64,3	90,2
b. lusern			32,0	54,4
c. höstvete			16,7	49,4
CV			39,9	52,3
LSD 95%			30,0	67,5
Sign.nivå			99,2	81,0
<b>Medel, alla försök</b>				
a. rödklöver	73,0	47,3	316,7	55,5
b. lusern	76,0	28,1	204,0	50,4
c. höstvete	22,0	10,1	96,7	25,8
CV	80,9	68,3	39,7	52,2
LSD 95 %	198,5	83,8	141,2	39,7
Sign.nivå	63,8	80,4	99,1	88,4

## Maskgångar

Vid profilundersökningarna genomfördes räkningar av vertikala maskgångar vid 30 cm djup i en horisontell yta ( $20 \times 20 \text{ cm} = 4 \text{ dm}^2$ ) med tre bestämningar. Det fanns en tendens till färre vertikala maskhål i höstvetet (figur 10) på Gullåkra och Högestorp. På Karlsfält var antalet vertikala maskgångar ungefär samma i de tre förfrukterna medan det på Norrevång var nästan dubbelt så många vertikala maskgångar i led med höstvetete än i led med rödklöver som förfrukt. Resultaten från räkningen av vertikala maskgångar stämmer väl överens med resultaten från antalet maskgångar som räknades vid bestämning av rötternas och maskhålens djupfördelning (figur 8).



**Figur 10.** Antal vertikala maskhål i en horisontell yta ( $20 \times 20 \text{ cm}$ ) på 30 cm djup. Medeltal av 3 bestämningar.

## Profiliakttagelser

Profilbeskrivningen iaktogs (i en grop per led) matjordsdjup, gränsövergång mellan matjord och alv, halminblandning, halmens förmultningsgrad och jordens luckerhet. De iakttagelser som inte gick att mäta bedömdes i en skala från 1 till 3 med 3 som det för växterna mest fördelaktiga (tabell 8 och 9).

**Tabell 8.** Matjordsdjup samt en bedömning (skala 1-3, 3 = det mest fördelaktiga för växten) av gränsövergång mellan matjord och alv samt halminblandning

Försöksplats	Led	Matjordsdjup (cm)	Gränsövergång matjord-alv (1-3)	Halminblandning (1-3)
Gullåkra	Rödklöver	25	1	3
	Lusern	35	1	3
	Höstvetete	25	3	3
Högestorp	Rödklöver	30	1	1
	Lusern	30	1	2
	Höstvetete	30	1	1
Norrevång	Rödklöver	35	3	2
	Lusern	30	1	1
	Höstvetete	25	3	3

**Tabell 9.** Bedömning (skala 1-3, 3 = de mest fördelaktiga för växten) av halmens förmultningsgrad och jordens luckerhet på 3 nivåer

Försöksplats	Led	Halmens förmultningsgrad (1-3)	Kompakt eller luckert intryck (1-3)		
			15-20 cm	30-35 cm	45-50 cm
Gullåkra	Rödklöver	3	3	3	3
	Lusern	3	3	3	3
	Höstvete	1	3	3	3
Högestorp	Rödklöver	1	3	3	2
	Lusern	2	3	2	2
	Höstvete	1	3	2	2
Norrevång	Rödklöver	2	3	3	2
	Lusern	1	3	3	2
	Höstvete	3	3	3	2

På Gullåkra varierade matjordsdjupet mellan 25 och 35 cm, djupast var det i lusernledet. Gränsövergången mellan matjord och alv var skarp (betyg 1) i led med rödklöver och lusern som förfrukt medan höstveteledet hade en bättre diffus gräns (betyg 3). Halmens inblandning var god i samtliga led, däremot var halmens förmultning sämre efter höstvete jämfört med övriga led. På samtliga nivåer gav jorden ett luckert intryck.

Matjordsdjupet på Högestorp var 30 cm i samtliga led och gränsövergången mellan matjord och alv var skarp (betyg 1). Halminblandningen och halmens förmultningsgrad var dålig i led med rödklöver och höstvete som förfrukt men något bättre i lusernledet. I översta lagret på 15-20 cm djup var jorden lucker i samtliga led, men i djupare nivåer var jorden något kompaktare (betyg 2) speciellt i led med lusern och höstvete som förfrukt. Rödklöver blev något kompaktare först i den djupaste nivån på 45-50 cm djup.

På Norrevång var matjordsdjupet minst i höstveteledet med ett djup på 25 cm medan det var djupast matjord, 35 cm, i rödklöverledet. Övergången mellan matjord och alv var diffusast i led med rödklöver och höstvete medan den var skarp i lusernledet. Halminblandningen och halmens förmultningsgrad var också sämst i lusernledet jämfört med övriga led. I samtliga led gav jorden ett luckert intryck på alla nivåer förutom den djupaste, där jorden blev något kompaktare (betyg 2).

## Laboratorieanalyser

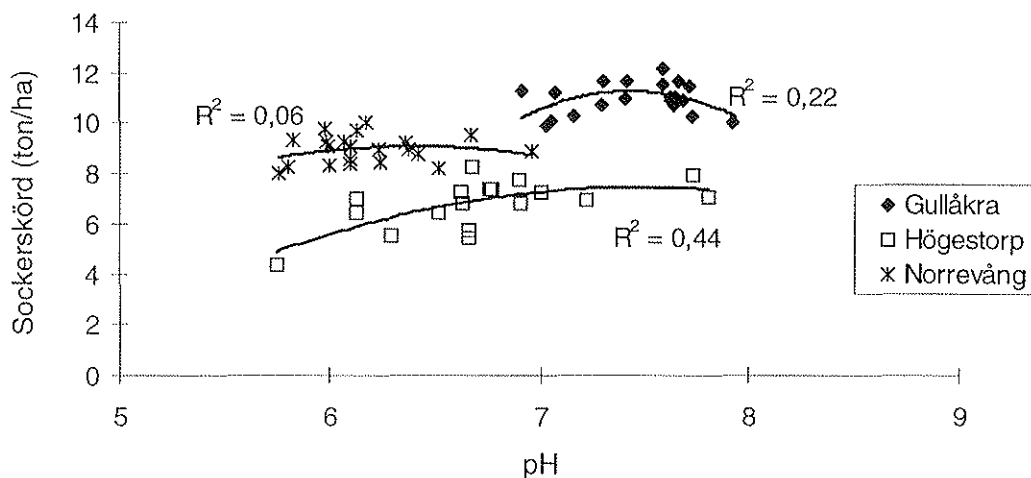
### pH i matjord och alv

pH i matjorden varierade mycket inom gårdarna (tabell 10). På Gullåkra och Norrevång verkar inte detta ha påverkat skörden (figur 11). På Högestorp finns en tendens till att ett högre pH också givit en högre skörd. Det visar sig också att några skörderutor på Högestorp som hade låg skörd också hade låg infiltration och lågt pH, därmed kan man inte utesluta att det kan finnas samspelseffekter i försöken som sänker skörden ytterligare.

Störst variation i matjordens pH fanns alltså på Högestorp, framförallt i ledet med höstvetete som förfrukt men även i lusernledet fanns en anmärkningsvärd stor variation (0,51). På Högestorp skiljde sig ej pH mellan de olika förfruktsleden. Karlsfält hade stor variation i pH i de två trädesleden och här var medelvärdet i ledet med lusern som förfrukt betydligt lägre än de övriga leden. Norrevång, som var den försöksplats som hade lägst pH (6,21 som medel i hela försöket), hade störst variation i ledet med lusern som förfrukt. Lägsta medelvärde på pH fanns att finna i höstveteledet på Norrevång med ett värde på 6,08. Detta låga värde är inte optimalt för sockerbetan och möjligtvis skulle en kalkning kunna höja skörden något. Jämför man skördens beroende av pH (figur 11) på Norrevång och Gullåkra så finner man att det inte finns någon korrelation mellan skörd och pH på enskilda platser. Jordartsskillnaden mellan de två försöksplatserna (tabell 11) är troligtvis orsaken till skillnaden i skörd.

**Tabell 10.** pH i matjord och alv angivet som medeltal per led och per försöksplats samt standardavvikelser (SD)

Försöksplats	Led	Matjord		Alv	
		pH	SD	pH	SD
<b>Gullåkra</b>	Rödklöver	7,56	0,14	7,85	0,13
	Lusern	7,42	0,41	7,82	0,34
	Höstvetete	7,45	0,25	7,88	0,23
<b>Högestorp</b>	Rödklöver	6,74	0,51	7,37	0,06
	Lusern	6,68	0,32	7,60	0,05
	Höstvetete	6,70	0,66	7,37	0,10
<b>Karlsfält</b>	Rödklöver	7,50	0,43	7,82	0,33
	Lusern	7,28	0,50	7,76	0,07
	Höstvetete	7,52	0,27	7,80	0,47
<b>Norrevång</b>	Rödklöver	6,24	0,27	6,87	0,23
	Lusern	6,33	0,44	6,98	0,27
	Höstvetete	6,08	0,17	7,03	0,14
<b>Medeltal</b>	Gullåkra	7,48	0,28	7,85	0,19
	Högestorp	6,71	0,49	7,45	0,28
	Karlsfält	7,43	0,41	7,79	0,06
	Norrevång	6,21	0,32	6,96	0,19



**Figur 11.** Skördens beroende av pH i matjorden. Stor variation mellan gårdar. På Högestorp kan pH ha påverkat skörden, dock kan pH ej kopplas till skörden på övriga gårdar.

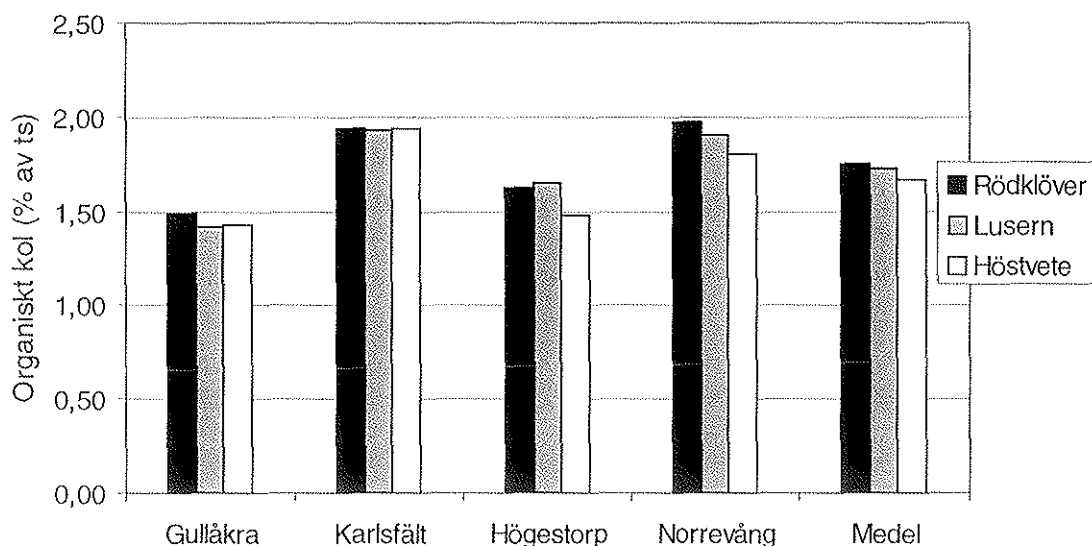
### Organiskt kol och totalkol

Den kemiska analysen av organiskt kol enligt Walkley & Black (1934) jämfördes först med mängden totalkol, för att bestämma mängden karbonatkol. Det organiska kolinnehållet visade sig vara större än det totala kolinnehållet (bestämt med LECO<sup>®</sup> CNS-2000), varför det ansågs nödvändigt att lämna ett stickprov av jordproven för bestämning av organiskt kol med LECO<sup>®</sup>. Samtidigt med bestämning av det organiska kolet med LECO<sup>®</sup> får man en ny bestämning av totalkolhalten. Totalkolhalten stämde väl överens med den tidigare bestämda.

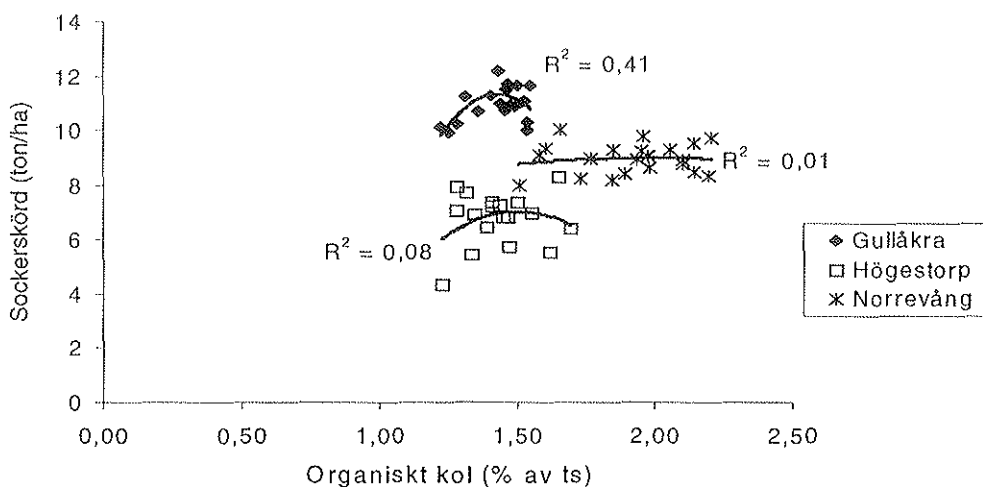
Det organiska kolet, som bestämdes med LECO<sup>®</sup>, var ca 10 % lägre än det organiska kolet bestämt enligt kemisk metod av Walkley & Black (1934). Enligt Nelson & Sommers (1996) är Walkley & Black (1934) tillförlitlig vid analys av ett större antal prov. Internationellt är det vedertaget att en korrektionsfaktor som anger att 76 % av organiska kolet oxiderats av bikromatjonerna ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ), ska användas i beräkningen av kolinnehållet. Korrektionsfaktorn bör dock enligt Nelson & Sommers (1996) korrigeras för varje jord som analyseras. Det antogs, vid jämförelsen med resultat från LECO<sup>®</sup>, att ca 85 % av det organiska kolet oxiderats istället för 76 % som tidigare antogs. Organiska kolinnehållet blev därmed lägre och rimligare i förhållande till totalkolet. Karbonatkolinnehållet beräknades som differensen mellan totalkol och organiskt kol, framtagna med LECO<sup>®</sup>. Det visade sig emellertid att innehållet av karbonatkol var så pass litet, att det lika väl kunde ha varit ett mätfel. I figur 12 och 13 redovisas halten organiskt kol bestämt med metod enligt Walkley & Black (1934) med en korrektionsfaktor, där det antas att 85 % av det organiska kolet oxiderats istället för 76 %.

Jordarten i matjorden vid de undersökta försöksplatserna var något mullhaltig (nmh) till måttligt mullhaltig (mmh), dvs. med ett innehåll av organiskt material på 2-6 vikts %. Mullhalten (innehållet av organiskt material) beräknades genom att multiplicera halten organiskt kol med 2 (Nelson & Sommers, 1996). Mängden karbonatkol i matjorden

räknades fram genom subtraktion av totalkolvärden med värden för organiskt kol, vilket innebar mindre än 0,1 vikts % karbonatkol i samtliga analyserade prov. Med andra ord var nästan allt kol i jorden organiskt kol. Skillnaden i halten organiskt kol mellan förfrukterna vid de fyra försöksplatserna var små. Rödklövervallen och lusernallen gav inte några nämnbara skillnader i mängden organiskt material (d.v.s. organiskt kol) jämfört med höstvetet. Mängden organiskt kol varierade också mellan skörderutorna. Störst variation fanns på Norrevång (figur 13) där det organiska kolet varierade från 1,5 till 2,3 %. Mullhalten påverkade inte skörden av sockerbeter (figur 13).



**Figur 12.** Organiskt kol, medelvärden vid de olika försöksplatserna uppdelat på förfrukter och medelvärden av samtliga försöksplatser uppdelat på förfrukter. Halten organiskt kol bestämdes enligt metod av Walkley & Black (1934).



**Figur 13.** Skördens beroende av organiskt kol uppdelat på gårdar, varje prick är en skörderuta. De tre försöksplatserna utmärker sig mycket väl. Störst variation i organiskt kol finns på Norrevång, där det organiska kolet varierar från 1,5 till 2,3 %. Halten organiskt kol bestämdes enligt metod av Walkley & Black (1934).



## Jordart och kornstorleksfördelning

Jordarterna skiljde sig mellan de olika försöksplatserna (tabell 11), dock visade sig att det inte fanns några påtagliga skillnader mellan leden på varje försöksplats. På Gullåkra och höstveteteledet på Högestorp var jordarna något mullhaltiga (nmh) dvs. innehöll 2-3 % mull. I övrigt var jordarna måttligt mullhaltiga (mmh) och innehöll något över 3 % mull. Försöksplatserna på Gullåkra och Högestorp hade i samtliga försöksleden både i matjorden och i alven mellanlera förutom rödklöverledet på Högestorp som var en styv lerjord. Karlsfält visade sig ha styv lerjord både i matjorden och alven, och Norrevång hade lättlera i matjorden och mellanlera i alven.

**Tabell 11.** Lerhalter i matjord och alv samt halt organiskt kol i matjorden på de fyra försöksplatserna. LL=lättlera, ML=mellanlera, SL=styv lera nmh=något mullhaltig (2-3 % mull), mmh=måttligt mullhaltig (3-6 % mull)

Försöksplats	Led	Matjord			Alv	
		Lerhalt %	Mullhalt %	Benämn.	Lerhalt %	Benämn.
<b>Gullåkra</b>	Rödklöver	31	2,5	nmh ML	32	ML
	Lusern	29	2,8	nmh ML	33	ML
	Höstvete	30	2,9	nmh ML	35	ML
	Medel	30	2,9	nmh ML	33	ML
<b>Högestorp</b>	Rödklöver	31	3,2	mmh ML	42	SL
	Lusern	31	3,3	mmh ML	36	ML
	Höstvete	31	3,0	nmh ML	37	ML
	Medel	31	3,2	mmh ML	38	ML
<b>Karlsfält</b>	Rödklöver	48	3,9	mmh SL	57	SL
	Lusern	45	3,9	mmh SL	55	SL
	Höstvete	44	3,9	mmh SL	55	SL
	Medel	45	3,9	mmh SL	56	SL
<b>Norrevång</b>	Rödklöver	24	3,9	mmh LL	28	ML
	Lusern	25	3,8	mmh LL	28	ML
	Höstvete	24	3,6	mmh LL	30	ML
	Medel	24	3,8	mmh LL	29	ML

## Aggregatstorleksfördelning

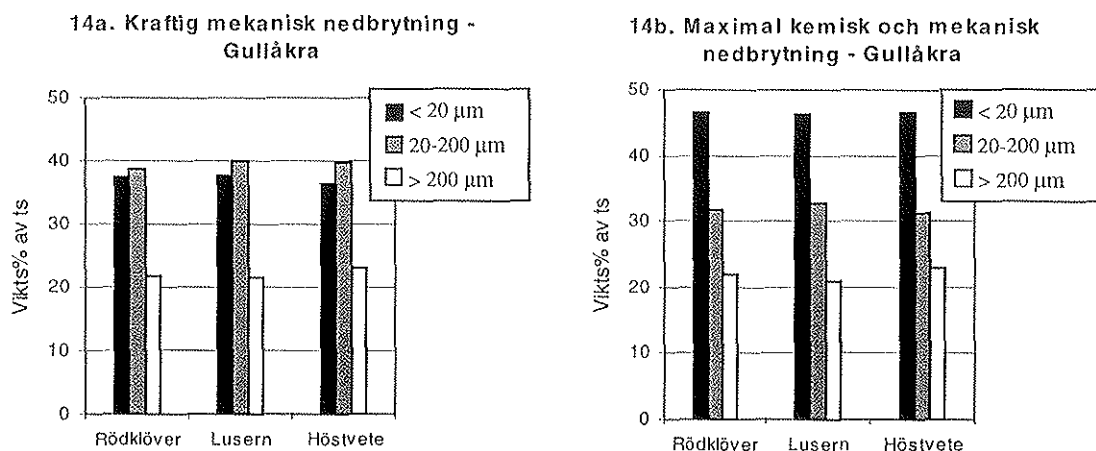
Aggregaten delades upp i fraktionerna >200 µm, (motsvarar sand och grus), 20-200 µm (motsvarar mo) och <20 µm (motsvarar ler och mjåla). Önskvärt är att majoriteten av aggregaten är 20-200 µm. För hög andel aggregat <20 µm ger en alltför kompakt struktur, sämre infiltration och en såbädd med ogynnsamma groningsförhållanden. För hög andel aggregat >200 µm kan göra såbädden och såbotten för torr eftersom avdunstningsskyddet försämras samt ge en alltför stor infiltration av vatten och luft med följd att profilen töms för fort och det blir för lite vatten kvar till växterna.

Stort inslag av vall i växtföljden kan förväntas förbättra markstrukturen genom att det bildas organiska bindningar som håller ihop lerpartiklarna till aggregat. Marken får då en fördelaktigare porstorleksfördelning. Aggregatens fördelning på olika storlekar mättes, men några skillnader mellan leden kunde inte påvisas. En förklaring kan vara att de organiska bindningarna i aggregaten var så svaga att de slogs sönder när provet skakades i vatten före analys av aggregatstorleksfördelningen.

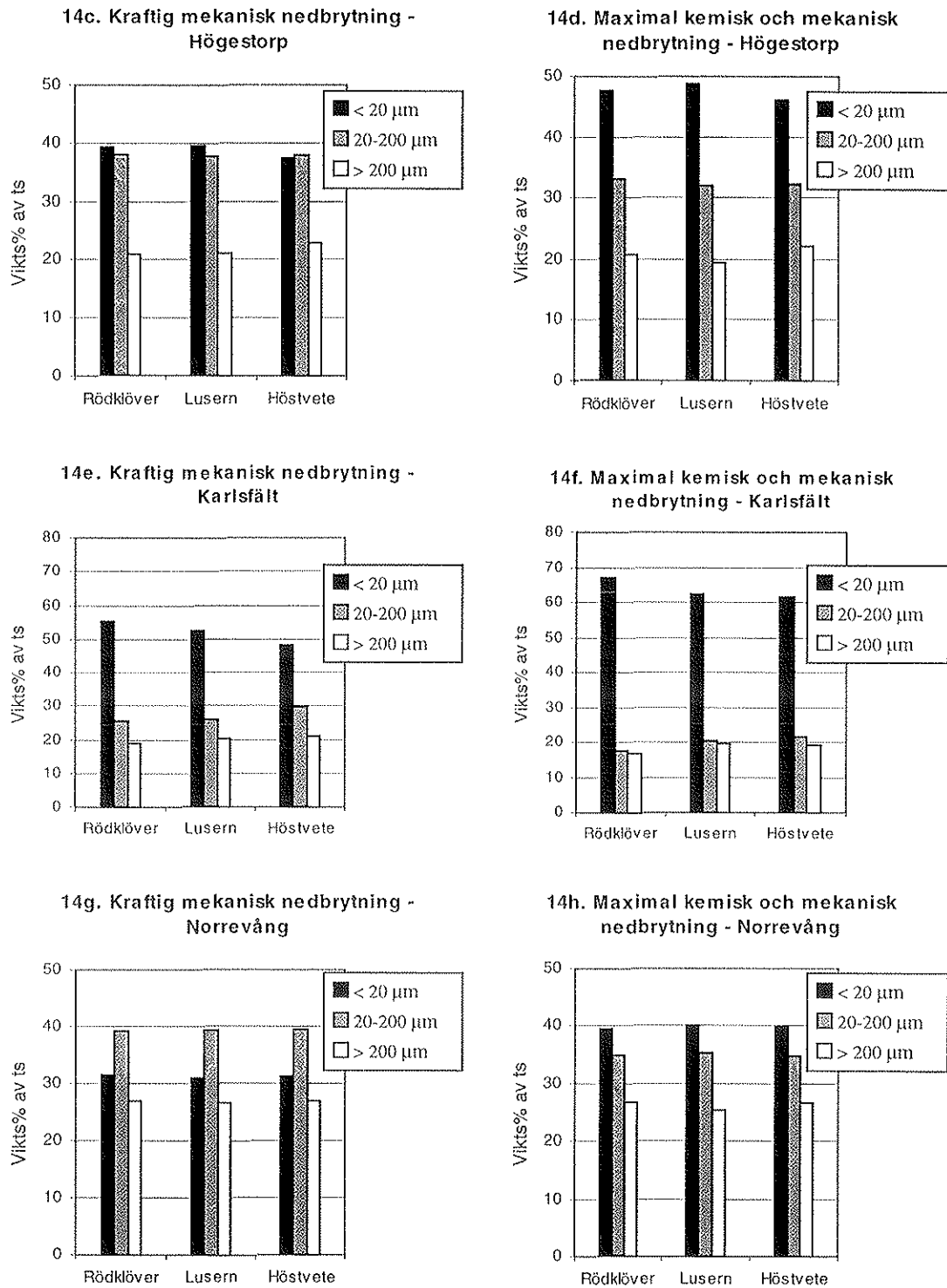
#### Förändringar mellan de olika nedbrytningsstegen

*Kraftig mekanisk nedbrytning* (fig. 14a, 14c, 14e och 14g). Efter 16 timmars skakning i avjoniserat vatten hade aggregaten fördelats så att det på försöksplatserna Gullåkra och Högestorp var ungefär lika stor andel aggregat <20 µm som i aggregat 20-200 µm. På Karlsfält var andelen aggregat <20 µm dubbelt så stor jämfört med andelarna 20-200 µm och >200 µm, detta p.g.a. den stora lerhalten. I lättleran på Norrevång var andelen aggregat 20-200 µm större än andelen av de övriga aggregatstorlekarna för sig, dock var andelen aggregat <20 µm större än aggregaten >200 µm.

*Maximal mekanisk och kemisk nedbrytning* (fig. 14b, 14d, 14f och 14h). I detta steg nedbröts alla aggregat och primärpartiklarnas storleksfördelning erhöles. Efter denna nedbrytning ökade andelen partiklar <20 µm på Gullåkra och Högestorp med ungefär 8-10 % jämfört med steg 2, p.g.a. att aggregat i storleken 20-200 µm nedbröts och minskade i lika stor andel. Andelen partiklar i storleken >200 µm i jord från Gullåkra och Högestorp förändrades inte mellan de två nedbrytningsstegen. I jorden från Karlsfält ökade andelen partiklar <20 µm med 10 % jämfört med steg 2, vilket berodde på att aggregat i storleken 20-200 µm nedbröts. Andelen partiklar >200 µm var i jorden från Karlsfält i stort sett oförändrad. I lättleran från Norrevång ökade andelen partiklar <20 µm med 7-8 % jämfört med steg 2 till följd av att andelen aggregat 20-200 µm nedbröts med ungefär 5 % men andelen partiklar i storleken >200 µm var i stort sett oförändrad. Minskningen i aggregat >200 µm mellan de två nedbrytningsstegen var mycket liten vilket antyder att det inte fanns några stora stabila aggregat utan endast sand och gruspartiklar.



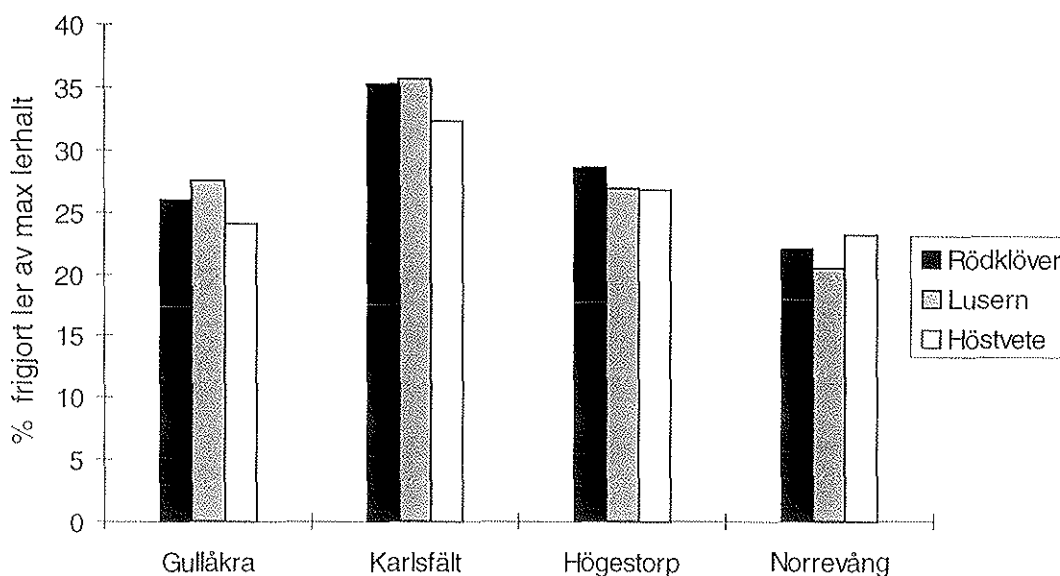
**Figur 14a-b.** Aggregatens storleksfördelning efter de två nedbrytningsstegen i jord från försöksplatsen Gullåkra, angiven som vikts% av torrsubstansen.



**Figur 14c-h.** Aggregatens storleksfördelning efter de två nedbrytningsstegen i jord från försöksplatserna Högestorp, Karlsfält och Norrevång angiven som vikts% av torrsubstansen.

## Aggregatstabilitet

Aggregatens stabilitet bedömdes genom att undersöka hur stor mängd ler som frigjordes (dispergerbart ler) från aggregaten efter enbart mekanisk påverkan. Detta motsvarar i denna studie den kraftiga mekaniska behandlingen, som kan anses vara maximal mekanisk nedbrytning. Även här var stabila aggregat önskvärt och en liten mängd dispergerbart ler att föredra. Resultaten från analysen av det dispergerbara leret (figur 15) visade inga tydliga effekter av de båda trädesvallarna jämfört med höstvetete. Stora skillnader sågs däremot mellan de olika försöksplatserna, vilket beror på jordartsskillnader, jmf tabell 11.

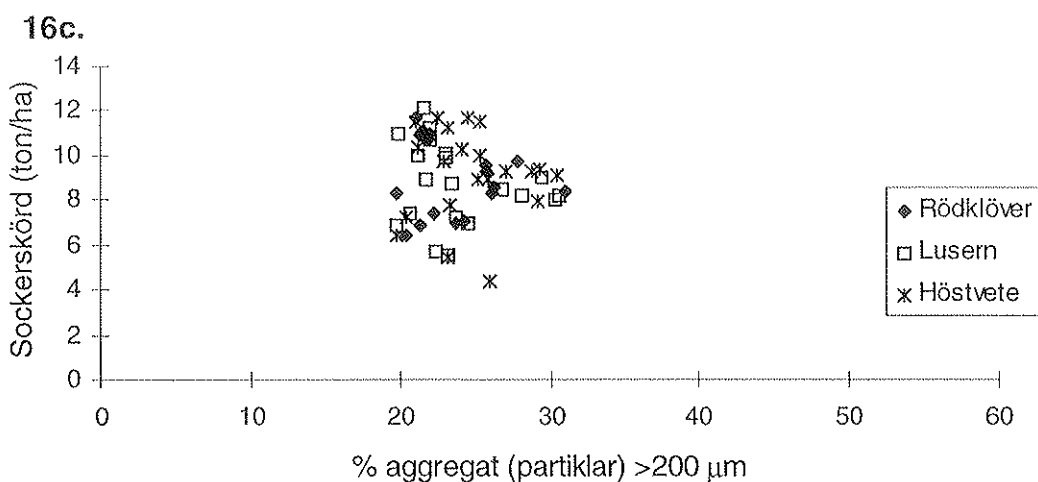
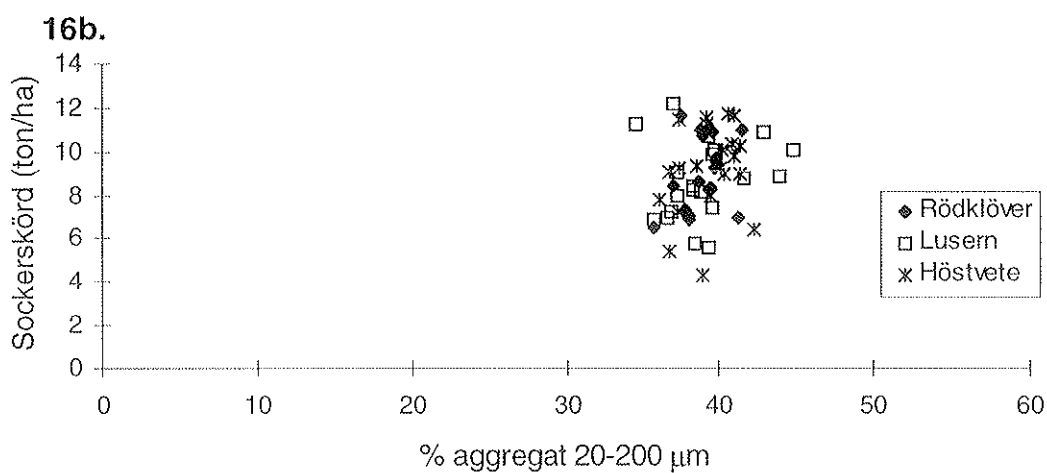
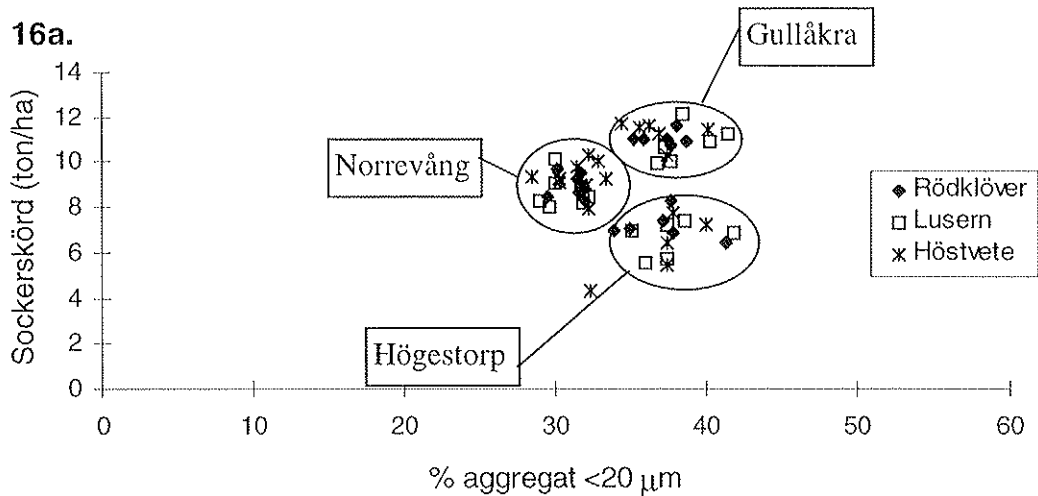


**Figur 15.** Dispergerbart ler. Andelen ler som frigjorts efter kraftig mekanisk nedbrytning vid respektive försöksplats, i procent av andelen ler efter maximal mekanisk och kemisk nedbrytning.

## Samband mellan skörd och stabila aggregat

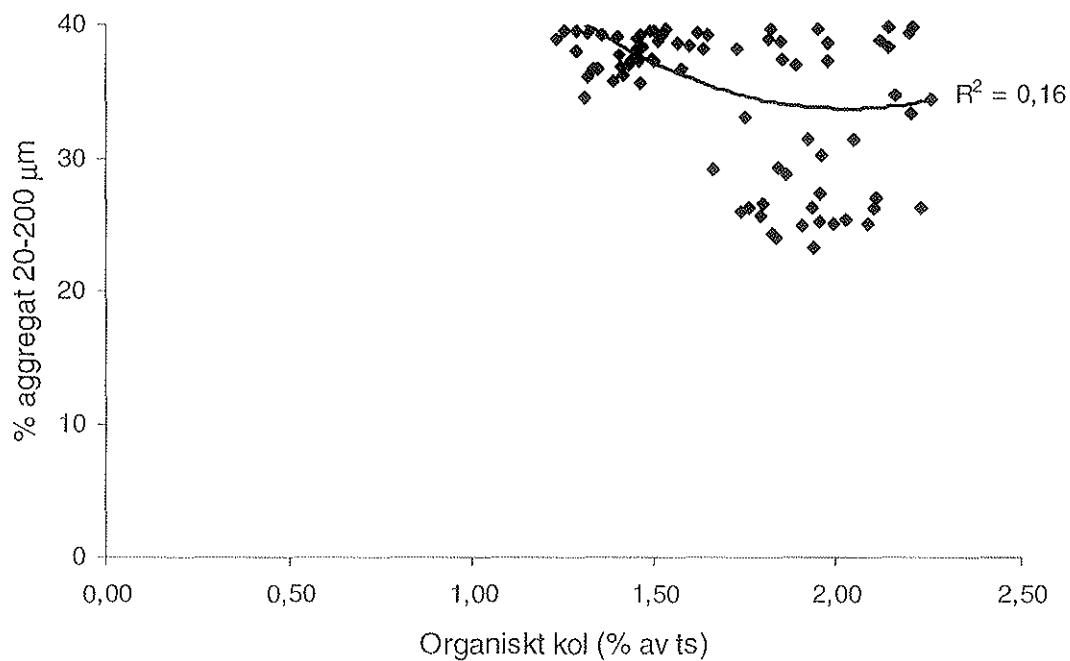
Andelen aggregat  $<20 \mu\text{m}$  efter kraftig mekanisk nedbrytning visade sig inte ha något samband med skörden. Figur 16a visar sockerskördens beroende av storleksfraktionen  $<20 \mu\text{m}$ . Resultaten delade upp sig i tre väl definierade grupper med de olika leden nästan slumpvis fördelade inom grupperna. Varje grupp kunde härledas till en specifik försöksplats.

Aggregaten i storleken  $20\text{-}200 \mu\text{m}$  har i denna undersökning bedömts vara de mest fördelaktiga (Oades, 1984; Dexter, 1998) och därför önskvärda att stabilisera. Resultaten visade dock inga korrelationer till skörden (fig. 16b). Inte heller aggregatstorleken (partikelstorleken)  $>200 \mu\text{m}$  hade någon korrelation till skörden (fig. 16c).



**Figur 16.** Sockerskördens beroende av de olika storleksfraktionerna hos aggregaten efter kraftig mekanisk nedbrytning. Samtliga gårdar medtagna utom Karlsfält som inte skördades p.g.a. för ojämn uppkomst. a = aggregat <20  $\mu\text{m}$ , b = aggregat 20-200  $\mu\text{m}$  och c = aggregat >200  $\mu\text{m}$ .

Det organiska materialet har stor betydelse för aggregatens bildning och stabilitet. Vanligtvis har det organiska materialet störst betydelse för de större aggregaten. Ingen korrelation fanns mellan halten organiskt kol och andelen aggregat i storleken 20-200  $\mu\text{m}$  (fig. 17).



**Figur 17.** Det organiska materialets betydelse för mikroaggregatens (20-200  $\mu\text{m}$ ) stabilitet.

## DISKUSSION

### Bedömning av förfrukter

Insådderna av vallgrödorna etablerades bra på samtliga försöksplatser. Rödklövern dominerade starkt över gräset under hela säsongen på samtliga försöksplatser. Lusernens marktäckning varierade mer under säsongen än rödklövern. Lusernens marktäckning varierade också mellan försöksplatserna. Överlag kan man betrakta lusernens marktäckning som god, mellan 50 % och 80 %, dock var marktäckningen på Högestorp något sämre än de övriga, mellan 25 % och 60 %.

### Plöjningskommentarer

Vid plöjningen upplevde samtliga lantbrukare att vallväxterna hade förbättrat markstrukturen. Rödklövern och lusernen hade en positiv effekt på markstrukturen genom en förbättrad infiltration av formalin i matjorden och en större mängd dagmask jämfört med höstveteledet. Detta måste ha påverkat känslan vid plöjningen i viss mån. Det är dock troligt att lantbrukarna kan ha blivit positivt påverkade av alla rykten som genom åren spritt sig om vallväxternas förträffliga positiva inverkan på markstrukturen.

### Metoder i fält

#### Infiltrationsmätningar

Vid infiltrationsmätningarna med vatten i alven valdes ringar med 40 cm i diameter och en höjd på 25 cm. Ett antal felkällor finns vid utförandet i fält som kan ha påverkat resultaten. Det är mycket lätt att ibland gräva ner i plogsulan när man gräver hålet ringen skall placeras i. Det är också lätt att man kan vid prepareringen av botten i ringen råka med små jordklumpar täppa igen maskhål och sprickor, som kan påverka infiltrationen. Samma fel kan uppstå vid ihållandet av vattnet, där en viss uppslamning av partiklar förekommer. För att motverka denna uppslamning lades en tygduk som skydd på botten och tillförseln av vattnet skedde med en vattenkanna med spridare. Det är för övrigt svårt att vid ensamarbete hålla vattennivån i ringen konstant samtidigt som man ska gräva ned nya ringar och ta upp gamla.

För att få ett mer tillförlitligt infiltrationsvärde kunde ytterligare en infiltrationsmätning per skörderuta ha genomförts. Nu vet vi ej om de låga infiltrationsvärdena som uppmättes är korrekta för skörderutan eller beror på att de ligger i gammalt körspår där jorden har packats. Inte heller vet vi om de högsta infiltrationsvärdena är korrekta för skörderutan eller beror på att infiltrationsringen låg direkt ovanför en dräneringsledning. På två av försöksplatserna låg led på vändtegen. Infiltrationen verkade dock inte ha påverkats av detta.

## Profiliakttagelser

De olika parametrar som bedöms i en profilvägg, t.ex. luckerhet, halmens förmultningsgrad, halminblandning m.m. blir med nödvändighet subjektiva. Att göra dessa bedömningar kräver stor erfarenhet. Vid räkningen av rötter på djupet i en profil uppstår inte direkt några problem, däremot vid räkningen av maskgångar är det omöjligt att se skillnad på nya och gamla maskgångar, vilket kan ha betydelse om man vill relatera antalet maskgångar i alven till mängden mask i matjorden. Vid profilbedömningen iaktogs mycket stor mängd mask i matjorden hos led med rödklöver och lusern som förfrukt, och mycket få maskar i höstveteledet, men p.g.a. obestämbarheten av ålder hos maskgångarna i alven var det omöjligt att se om de stora mängderna mask hade givit någon ökning av mängden nya maskgångar i alven och inverkat på infiltrationen. Det är också svårt att säga om rötterna skapat väg för maskarna eller om maskarna borrar väg för rötterna.

Vid grävandet av profilgroparna under augusti 1999, var vädret ostadigt med få tillfällen för grävning på åkern mellan regnskurarna. Denna tidspress tillsammans med att man med grävmaskin inte ville beträda sockerbetsodlingen alltför mycket medförde att profilgroparnas placeringar tenderade att ligga i ena änden av varje led. Detta gör att profilgroparna inte blir representativa för varje led. För att undvika felkällor kunde ytterligare en profilgrop ha grävts i varje led, men tid fanns ej för detta.

## **Aggregatanalysmetoden**

### Våtsiktning och pipettering

Vid våtsiktningen efter maximal mekanisk nedbrytning uppstår problem beroende på det organiska materialet. Under våtsiktningen låter man det fasta materialet sjunka till botten i en skål och håller sedan av vattnet. Vid denna procedur flyter de större bitarna av organiskt material upp till ytan och det är omöjligt att undvika att en stor del av det följer med ut i vasken då vattnet hålls av. Detta leder till en viss viktförlust. Problemet uppstår ej vid maximal mekanisk och kemisk nedbrytning eftersom det organiska materialet oxideras bort. Vid pipetteringen fanns inga nämnbara felkällor som kan ha påverkat resultatet.

### Bestämning av organiskt material

Det organiska materialet bestämdes med 2 metoder, dels en metod beskriven av Walkley & Black (1934) och dels med LECO<sup>®</sup> CNS-2000. Till en början var det meningen att Walkley & Black (1934) skulle användas för bestämning av det organiska materialet medan LECO<sup>®</sup> CNS-2000 endast skulle användas för analys av totalkol. Anledningen till detta var att Walkley & Black (1934) är en mycket använd konventionell metod som är billig att genomföra. Emellertid visade det sig att det organiska kolet överskred innehållet av totalkol i samtliga jordprov. Detta berodde antagligen på att fel korrektionsfaktor använts. Enligt Nelson & Sommers (1996) varierar korrektionsfaktorn mellan olika jordar och bör bestämmas för varje försöksplats eller analys. Korrektionsfaktorn korrigerades med ett antal stickprov som analyserades på organiskt kol med



LECO<sup>®</sup> CNS-2000 och rätt korrektionsfaktor kunde beräknas efter jämförelse med resultaten från Walkley & Black (1934). Internationellt är Walkley & Black (1934) en gammal mycket använd metod för att bestämma innehållet av organiskt kol.

## Skörd

Överlag var sockerskörden god på de försöksplatser som skördades och några signifikanta skillnader mellan försöksleden kunde ej ses. Inom försöksplatserna fanns dock skillnader. På Högestorp fanns i en skörderuta i höstvetet samband mellan låg skörd, låg infiltration av vatten i alven och lågt pH. Alla skörderutor skördades inte p.g.a. för ojämn uppkomst, för högt blåtal m.m. Därmed var det svårt att se om det fanns t.ex. både ojämn uppkomst och låg infiltration i samma ruta eller att betorna där var sämre utvecklade och gav sämre skörd p.g.a. låg infiltration. Med avseende på detta hade det varit intressant att haft med skörden på Karlsfält i undersökningen. På två av försöksplatserna låg led på vändtegen. Detta kan ha påverkat sockerskörden i de leden.

## Försökens heterogenitet

För att tydligt kunna se om de olika förfrukterna påverkat jorden är det viktigt att förutsättningarna är lika inom hela försöket, dvs. små skillnader i bl.a. jordart, pH och vattenhalter. Försöksplatserna på Högestorp och Karlsfält var de som var mest heterogena med avseende på lerhalt och pH. Givetvis borde man även haft ett antal upprepningar av de olika försöksleden.

## Markstruktur

Försöken låg på förhållandevis goda jordar. Hade vi haft sämre jordar hade infiltrationen varit avgörande för skörden. Maskar och rötter har förbättrat infiltrationen men eftersom den redan låg på en hög nivå var inte detta begränsande för skörden. Anledningen till att vi fick större maskaktivitet och därmed högre infiltration i matjorden i led med rödklöver och lusern som förfrukt är antagligen att maskarna föredrar baljväxterna som föda.

En kortvarig vall (ettårig) är nästan att jämföra med en höstsådd gröda. Denna kortvariga vall hinner inte öka mängden organiskt material så pass mycket att jorden hinner bygga upp några stabila organiska bindningar i aggregaten och vi fick därför inget utslag i aggregatanalysen. Det krävs fleråriga vallar för att vallen ska få effekt på aggregaten (figur 4) och därmed ge en bättre markstruktur (Ericson, 1994; Oades, 1984; Tisdall & Oades, 1982).

## Slutsatser

- Skördenivån på de försöksplatser som skördades var generellt hög och rödklöver alternativt lusern som förfrukt gav överlag inte bättre skörd av sockerbetor under år 1999 än höstvetete som förfrukt.
- Höstvetete som förfrukt gav däremot högre skörd av sockerbetor jämfört med lusern som förfrukt på Norrevång.
- Rödklöver och lusern som förfrukter gav, jämfört med höstvetete, större infiltration av formalin i matjorden och större mängd mask i matjorden i de efterföljande sockerbetorna, dock påverkade inte infiltrationen i matjorden sockerskörden.
- Alvinfiltrationen av vatten var så låg i några skörderutor på Högestorp att det kan ha påverkat skörden av sockerbetor, i övrigt visade alvinfiltrationen av vatten ungefär samma tendenser som infiltrationen av formalin i matjorden.
- Det fanns inga skillnader mellan de olika förfrukterna i aggregatstabilitet eller halten organiskt kol.
- pH kan ha påverkat skörden i några få skörderutor på Högestorp.
- Det fanns en tendens till samband mellan antalet rötter och maskhål i alven.
- Generellt påverkade inte rödklövern och lusernen markstrukturen i större grad än vad höstvetete gjorde.
- Hade vallarna legat längre hade dessa med stor sannolikhet i högre grad påverkat markstrukturen, dvs. givit högre halt organiskt material, större aggregatstabilitet och högre infiltrationshastighet jämfört med höstvetete.

## LITTERATURFÖRTECKNING

- Arvidsson, J., Etana, A., Löfkvist, J., Melin, M., Pålsson, L., Rydberg, T., Stenberg, M., Svantesson, U. & Trautner, A. 2000. Jordbearbetningsavdelningens årsrapport 1999. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen. Nr 98, 2000.
- Baldock, J.A., Aoyama, M., Oades, J.M., Susanto & Grant, C.D. 1994. Structural Amelioration of a South Australian Red-brown Earth using Calcium and Organic Amendments. *Australian Journal of Soil Res.*, 32: 571-594.
- Begon, M., Harper, J.L. & Townsend, C.R. 1990. *ECOLOGY. Individuals, Populations and Communities*. Second edition. Blackwell Science, Inc. ISBN 0-86542-111-0.
- Bennie, A.T.P. 1996. Growth and Mechanical Impedance. I: Waisel, Y., Eshel, A. & Kafkafi, U., (red), *Plant Roots: The Hidden Half*. 2<sup>nd</sup> ed. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Berglund, G. 1971. Kalkens inverkan på jordens struktur. *Grundförbättring*, 24, 1971:2, 81-93.
- Bosatta, E. & Ågren, G. 1997. Theoretical analyses of soil texture effects on organic matter dynamics. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 29, No. 11/12, pp. 1633-168.
- Brady, N.C. 1974. *The Nature and Properties of Soils*. 8<sup>th</sup> Edition. Macmillan Publishing Co., Inc. New York.
- Buch, W. 1987. *Daggmasken i trädgård och jordbruk*. Bokskogen, Göteborg. ISBN 91 7776 037 9.
- Churchman, G.J. & Tate, K.R. 1986. Aggregation of clay in six New Zealand soil types as measured by disaggregation procedures. *Geoderma*, 37, 207-220.
- Dexter, A.R. 1988. Advances in Characterization of Soil Structure. *Soil & Tillage Research*, 11, 199-238.
- Ericson, L. 1994. Soil Physical Properties, Organic Carbon and Trends in Barley Yield in Four Different Crop Rotations. in Smith C.A.S. (ed) *Proceedings from the 1<sup>st</sup> Circumpolar Agricultural Conference*, Whitehorse, YT, Canada. Agriculture Canada, Research Branch, Centre for Land and Biological Resources Research, Ottawa. p 189-193.
- Hansson, K-A. 1990. Odling av grovfoderväxter. I: Hammar, O., (red), *Växtodling 2 – Växterna*. LTs förlag, Stockholm.
- Heinonen, R. 1985. Markstrukturbildningens teori. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Fakta - mark - växter, Nr 27.
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics*. Academic Press Inc. New York.
- Hummel-Gummaelius, T. 1996. Svensk betodling halkar efter. *Betodlaren*, nr 4.
- Kindvall, T. 1999. Strukturkalkning på lerjordar - effekter på markstruktur och sockerbetsskörd. Examensarbete. Inst. för markvetenskap, Avd. för lantbrukets hydroteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Avdelningsmeddelande 99:1.
- Kritz, G. 1983. Såbäddar för vårstråsäd. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen, nr 65.
- Kutschera, L. 1960. *Wurtzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen*. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main., 754 pp.
- Ljung G. 1987. Mekanisk analys, beskrivning av en rationell metodmetod för jordartsbestämning. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst. för markvetenskap, Avd. för lantbrukets hydroteknik, Avdelningsmeddelande 87:2.

- Lynch, J.M. & Bragg, E. 1985. Microorganisms and Soil Aggregate Stability. *Advances in Soil Science*, Volume 2. pp 133-171.
- Mac Key, J., Jordan, W. & Zobel, R.W. 1980. Plant roots. A compilation of 10 seminars given at Iowa State University in February and March, 1980.
- MacRae, R.J. & Mehuys, G.R. 1985. The Effect of Green Manuring on the Physical Properties of Temperate-Area Soils. *Advances in Soil Science*. Volume 3. pp 71-94.
- Matarechera, S.A., Dexter, A.R. & Alston, A.M. 1991. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. *Plant and Soil* 135: 31-41.
- Matarechera, S.A., Alston, A.M., Kirby, J.M. & Dexter, A.R. 1992. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. *Plant and Soil* 144: 297-303.
- Mattsson, L. 1992. Effekter av halm- och kvävetillförsel på mullhalt, kvävebalans och skörd i ett långliggande fältförsök i Uppland. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst. för markvetenskap, Avd. för växtnäringslära. Rapport 186.
- Mattsson, L. 1993. Mera vall för mullens skull. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Fakta Mark/Växter, Nr 8.
- Miller, J.B. & Gaskin, G.J. 2000. Theta Probe ML2x. Principles of operation and application. MLURI Technical Note (2<sup>nd</sup> ed).
- Mitchell, A.R., Ellsworth, T.R. & Meek, B.D. 1995. Effect of root systems on preferential flow in swelling soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 26 (15&16), 2655-2666.
- Nelson, D.W. & Sommers, L.E. 1996. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods-SSSA Book Series no. 5*, pp 961-1010.
- Oades, J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76, 319-337.
- Oades, J.M. & Waters, A.G. 1991. Aggregate Hierarchy in Soils. *Aust. J. Soil Res.*, 29, 815-828.
- Reeves, D.W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil & Tillage Research* 43, 131-167.
- Shanmuganathan, R.T. & Oades, J.M. 1983. Modification of Soil Physical Properties by Addition of Calcium Compounds. *Australian Journal of Soil Res.*, 21, 285-300.
- SJV, 2000. Arealersättning 2000. EU-information från Jordbruksverket. Statens Jordbruksverk, Jönköping.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. 1979. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Australian Journal of Soil Research* 17, 429-441.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33, 141-163.
- Walkley, A. & Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method of determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- Wallgren, B., Nilsson-Linde, N., Svanäng, K., Halling, M. & Magnét, B. 1995. Vallväxter och grönfoderväxter. Sorter till slåtter, bete och grönfoder för södra och mellersta Sverige 1996. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Speciella skrifter 61.
- Wiklander, L. 1976. Marklära. Kompendium. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Institutionen för markvetenskap.

Wiklert, P. 1962. Vallen och markstrukturen. Ett jämförande markfysikaliskt studium av tre matjordsprofiler. Grundförbättring 1962: 1-2,15-49.

# BILAGA 1. FÄLTPLAN

## Biologisk alvluckring, praktisk provning

0Z/99

4 försök

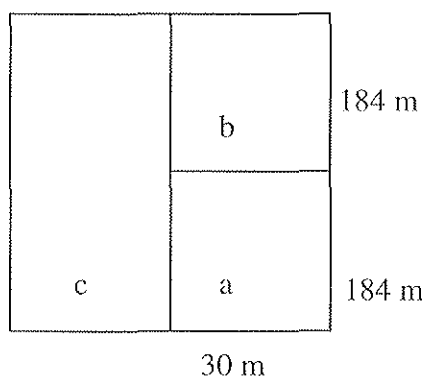
**Syfte** En rörlig träda i växtföljden kan utnyttjas för att förbättra markstrukturen. God markstruktur gynnar också biologiska mångfalden i marken. Vad är den slutliga effekten för sockerbets-skörden?

### Försöksplan

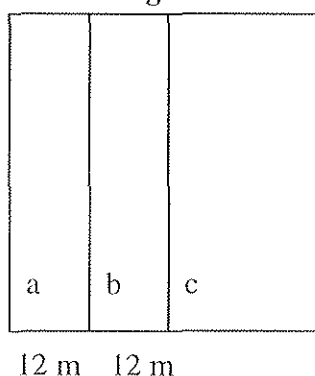
	År 1997	kg/ha	Sort	År 1998	År 1999	År 2000
a	Vårsäd + insädd			Gröngödslingsvall	Sockerbeter	Vårsäd
	30 % rödklöver	5,4	Fanny			
	70 % ängssvingel	12,6	Sv. Sena			
b	Vårsäd + insädd			Gröngödslingsvall	Sockerbeter	Vårsäd
	30 % lusern	6,6	Vertus			
	70 % ängssvingel	15,4	Sv. Sena			
c	Vårsäd			Höstvete	Sockerbeter	Vårsäd

### Fältplan

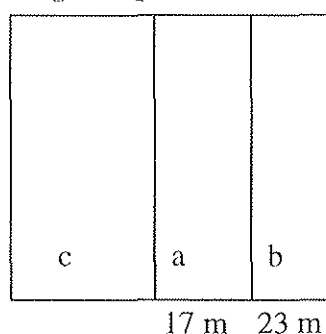
#### Gullåkra



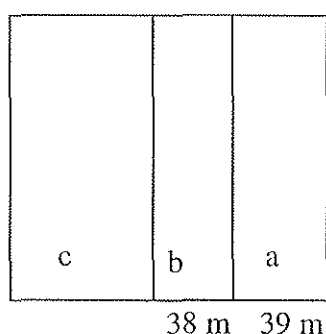
#### Norrevång



#### Högestorp



#### Karlsfält



#### Sådd

Försöksvärd

#### Gödsling

Försöksvärd

Led c: N-giva som försöksfält

Led a och b: Halv N-giva jmf led c

Övrig växtnäring som försöksfältet

#### Ogräsbekämpning

Försöksvärd

#### Planträkning

1. Vid 2-3 plantor/m i bästa led

2. Efter avslutad radrensning

#### Skörd

8 skördeytor per led

#### Bedömning av betutveckling (JB)

1. vid 50 % radtäckning

2. vid 70-80 % radtäckning

#### Jordprov

Generalprov på försöksplatsen

-matjord 0-25 och alv 25-50 cm

N-min före sådd, 0-60 cm ledvis

#### Förekomst, angrepp av skadedjur

Alnarp

#### Daggmaskförekomst

Alnarp

99-03-10 JB

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.  
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. AVDELNINGSMEDDELANDE. Fr o m 1996

- 96:1 Eckersten, H., Jansson, P-E., & Johnsson, H. SOILN model, user's manual. Version 9.1. 93 s.
- 96:2 Eckersten, H., Jansson, P-E., Karlsson, S., Lindroth, A., Persson, B., Perttu, K. & Andersson, J. En introduktion till biogeofysik, 2:a upplagan. 110 s.
- 96:3 Carlsson, H., Larsson, K. & Linnér, H. Växtnäringsstyrning i potatis. 69 s.
- 97:1 Uppenberg, S., Wallgren, O. & Åhman, M. Saturated hydraulic conductivity in an acid sulphate soil. A minor field study in the the Vietnamese Mekong delta. 45 s.
- 97:2 Djodjic, F. Avrinningsmönster i ett litet åkerområde under 40 år av successiv urbanisering. 38 s.
- 97:3 Vukovic, M. The effect of soil hydraulic properties on ground water fluctuations in a heavy clay soil. Measurements and simulations. 43 s.
- 97:4 Eckersten, H., Jansson, P-E., Karlsson, S., Lindroth, A., Persson, B., Perttu, K., Carlsson, M., Lewan, L. & Blombäck, K. En introduktion till biogeofysik, 3:e upplagan. 130 s.
- 97:5 Eckersten, H. Simulation of water flow in plant communities. SPAC model description, exercises and user's manual. 2<sup>nd</sup> edition. SPAC version 5.0. 52 s.
- 98:1 Lustig, T. Land Evaluation Methodology. Small-Scale Agro-Pastoralist Farming Systems. Agricultural community case study in the IV region of Chile. 91 s.
- 98:2 Jansson, P-E. Simulating model for soil water and heat conditions. Description of the SOIL model. 81 s.
- 98:3 Casanova, M. Influence of slope gradient and aspect on soil hydraulic conductivity measured with tension infiltrometer. Field study in the Central Zone of Chile. 50 s.
- 98:4 Ingvar-Nilsson, N. Variationsmönster hos grundvattennivåerna i skogsmark. Fältstudier i Norunda hösten 1995. 52 s.
- 98:5 Carlsson, M. Sources of errors in Time Domain Reflectometry measurements of soil moisture. 50 s.
- 98:6 Eckersten, H., Jansson, P-E., & Johnsson, H. SOILN model, User's manual. Version 9.2. 113 s.
- 98:7 Quang, v. P. Soil water flow dynamics on raised beds in an acid sulphate soil. Field study at Hoa An station, Mekong delta, Vietnam. 33 s.
- 98:8 Tri, V.K. Water flow paths during the rainy season in an acid sulphate soil. Field study in the plain of reeds of the Mekong delta, Vietnam. 40 s.
- 98:9 Eckersten, H., Jansson, P-E., Karlsson, S., Lindroth, A., Persson, B., Perttu, K., Blombäck, K., Karlberg, L. & Persson, G. Biogeofysik - en introduktion. 146 s.
- 99:1 Kindvall, T. Strukturkalkning på lerjordar - effekter på markstruktur och sockerbetssskörd. 55 s.
- 99:2 Börjesson, E. Naturliga system för rening av lakvatten i Ranstad - vilka är möjligheterna? 67 s.
- 99:3 Gärdenäs, A. (ed). Scale and variability issues in the soil-hydrological system. Workshop proceedings. The 25-27<sup>th</sup> of August 1999 at Wiks Castle, Sweden. 57 s.
- 99:4 Bengtson, L. Retention of colloids in lysimeter experiments on undisturbed macroporous clay soil. 43 s.
- 99:5 Wennman, P. Vegetationsfilter för rening av lakvatten - kväveaspekter. 45 s.
- 00:1 Stjernman, L. Gruvavfall som växtsubstrat - effekter av organiskt material. 58 s.
- 00:2 Björkman, N. Biologisk alvluckring - effekter av rödklöver och lusern på markstruktur och sockerbetssskörd. 58 s.









Denna serie meddelanden utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Serien innehåller sådana forsknings- och försöksredogörelser samt andra uppsatser som bedöms vara av i första hand internt intresse. Uppsatser lämpade för en mer allmän spridning publiceras bl a i avdelningens rapportserie. Tidigare nummer i meddelandeserien kan i mån av tillgång levereras från avdelningen.

This series of Communications is produced by the Division of Agricultural Hydrotechnics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. The series consists of reports on research and field trials and of other articles considered to be of interest mainly within the department. Articles of more general interest are published in, for example, the department's Report series. Earlier issues in the Communications series can be obtained from the Division of Agricultural Hydrotechnics (subject to availability).

---

**Distribution:**

Sveriges Lantbruksuniversitet  
Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik  
Box 7014  
750 07 UPPSALA

Tel. 018-67 11 85, 67 11 86

Swedish University of Agricultural Sciences  
Department of Soil Sciences  
Division of Agricultural Hydrotechnics  
P.O. Box 7014  
S-750 07 UPPSALA, SWEDEN

Tel. +46-(18) 67 11 85, +46-(18) 67 11 86

---