

4.2.1. Effekter av strukturkalkning på skörd och markstruktur

Resultat från försök i sockerbetor och stråsäd

Kerstin Berglund, SLU, Jens Blomquist, SBU

Bakgrund och syfte

En god markstruktur är grunden för en väl fungerande odlingsjord. Lantbrukets utveckling med stora förändringar i bl.a. djurhållning och maskin- och odlingsteknik, har medfört att markstrukturen i många av våra jordar idag är avsevärt försämrade. Som ett led i 4T-satsningen lades fyra fältförsök ut med strukturkalkning till sockerbetor under hösten 1997 (delfinansierat av Partek Nordkalk AB). I ett examensarbete under 1998 (stött ekonomiskt av Stiftelsen växtnäringens forskning) detaljstuderades kalkens effekter på markstrukturen och skörden av sockerbetor. Skördeeffekterna var genomgående mycket goda och kunde till stor del förklaras av en bättre och stabilare markstruktur (Kindvall, 1999). Dessa lovande försök kompletterades med utläggningen av fyra nya kalkförsök hösten 1998 respektive hösten 1999. Utläggning, skötsel och skörd av försöken (försöksserie 0B senare benämnd 701) finansierades av Sockernärings Samarbetskommitté. För den mer orsaksutredande analysen av resultaten med avseende på markens struktur erhöles medel från KSLA, Mary Francke-Gustafssons fond och Stiftelsen Svensk Växtnäringens forskning.

Syftet med projektet var att undersöka olika kalkningsmedels effekt på sockerskörd och markens struktur.

Markstruktur

Markstruktur kan definieras som det sätt på vilket markens partiklar och porer är inbördes lagrade och förbundna med varandra (Oades, 1984). Vilken struktur som uppkommer och dess stabilitet beror till stor del på markens kornstorleksfördelning och mineralsammansättning samt innehållet av organiskt material. Lerinnehållet och typen av lermineral är viktiga faktorer i strukturbildningen. Lerets kolloidala egenskaper gör att sammansatta partiklar, eller aggregat bildas. Aggregaten kan variera mycket i storlek och vara mer eller mindre stabila (Hillel, 1980; Tisdall & Oades, 1982; Baldock et al., 1994). I ren sandjord råder däremot enkelkornstruktur. Annat kolloidmaterial, t.ex. humuspartiklar har liknande struktureffekt som leret. Marklösningens saltkoncentration och vilka utbytbara baskatjoner som dominerar är andra faktorer som har betydelse för strukturbildningen.

De biologiska faktorerna, som t.ex. mikroorganismer, markdjur, rötter osv, har en stor betydelse för uppbyggnad och stabilisering av aggregat i alla jordar (Berglund, 1971; Tisdall & Oades, 1982; Muneer & Oades, 1989). På lerjordarna har dessutom olika kalciumföreningar en avgörande betydelse för aggregatbildning och stabilisering. Kombinationen vall och strukturkalkning bör därför vara idealisk för markstrukturen.

En jord med ur växtodlingssynpunkt gynnsam struktur bör innehålla porer av varierande storlek. Det måste finnas porer som kan lagra växttillgängligt vatten, transportera både vatten och luft samt porer för rottillväxt (Oades, 1984; tabell 1). Man brukar dela upp aggregaten i mikro- och makroaggregat. Gränsen mellan de båda grupperna sätts ofta till 250 µm i diameter (Tisdall & Oades, 1982; Baldock et al., 1994). 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 µm) mellan aggregaten som underlättar snabb infiltration och dränering av vatten samt växtrötternas tillväxt och syreförsörjning. Aggregaten i sig själva bör i sin tur innehålla porer (0,2-100 µm), dels för att aeroba mikromiljöer skall finnas och dels för att lagra växttillgängligt vatten. Generellt kan man säga att växtlighetens krav är att 10 % av jordvolymen bör innehålla porer större än 25 µm för att innehållet av markluft ska räcka, och den största delen av porvolymen bör ligga mellan 0,2 och 25 µm för att trygga lagringen av växttillgängligt vatten (Dexter, 1988).

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

Partikeldiameter (µm)	Pordiameter (µm)	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

Kalkens inverkan på markstrukturen

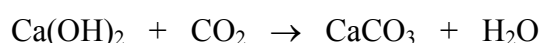
Vid kalkning mättas kolloidkomplexet i marken med främst kalciumjoner. Basmättnadsgraden ökar vilket påverkar markens kemiska, biologiska och fysikaliska egenskaper. Tvåvärda joner, kalcium och magnesium, verkar utflockande på kolloiderna och lerpartiklarna klumpar sig lätt samman till aggregat. Markens pH höjs och växtnäringsämnenas växttillgänglighet påverkas. Den biologiska aktiviteten stimuleras av kemiskt neutral och alkalisk miljö. Det är främst bakterierna som gynnas, men även dagmaskarna trivs. Marksvamparna däremot, föredrar en kemiskt surare miljö.

Kalkens struktureffekter grundar sig i lerets, och framför allt finlerets uppbyggnad. Lerpartiklarna kan beskrivas som skivformade, med i huvudsak elektriskt negativa laddningar på ytan, utom på kanter och hörn där laddningen kan vara positiv. Lerpartiklarna attraherar således positiva metallkatjoner som koncentreras tätt omkring leret i det s.k. diffusa dubbelskiktet, som är ett svårdefinierbart skikt där katjonerna har högre koncentration än anjonerna (Wiklander, 1976). Det diffusa dubbelskiktet är alltså övervägande positivt laddat.

Om det i marklösningen är hög koncentration av t.ex. Na⁺ joner som har låg laddning och stark hydration (binder mycket vatten), blir det diffusa dubbelskiktet tjockt eftersom Na⁺ jonens attraktion till lerets negativa yta är relativt svag. Det medför att lerpartiklarna ligger parallellt orienterade och de kan lätt förskjutas i förhållande till varandra, vilket gör leran smetig (Berglund, 1971). Det vatten som finns i jorden verkar som smörjmedel. När man tillför Ca²⁺ till marklösningen blir det diffusa dubbelskiktet tunnare. Ca²⁺ jonerna har i motsats till Na⁺, hög elektrisk laddning och svag hydration, vilket ger en stark attraktion till lerpartiklarnas yta och Ca²⁺ förtränger andra katjoner genom jon-utbytesprocesser. Detta leder till att lerpartiklarnas orientering i förhållande till varandra ändras till s.k. "kant mot plan"-orientering, eftersom de positivt laddade kanterna kan attraheras starkare genom det tunna diffusa dubbelskiktet. Vattnet stängs inne i håligheter eller porer som bildas och kan inte fungera som smörjmedel längre (Berglund, 1971). Leran verkar torrare och smetigheten försvinner, även om vattenhalten är densamma. Samtidigt ökar jordens volym till följd av lerpartiklarnas nya

orientering. Denna reaktion går, vid tillförsel av släckt eller bränd kalk, mycket fort och är synbar för ögat efter bara några minuter.

Basutbytet och indirekt markens katjonbyteskapacitet (CEC) är alltså viktigt vad gäller kalkens strukturuppbyggande funktion. Med andra ord borde struktureffekten vara störst i jordar med hög ler- och humushalt som ju medför hög CEC, vilket också har visats av bl.a. Berglund (1971) och Baldock et al. (1994). Den strukturförbättring som basutbytet medför förstärks av andra långsammare reaktioner, cementreaktioner och murbruksbildning (Berglund 1971). Vid cementering förenar sig kalken med Al- och Si-föreningar och produkterna är starka bindemedel som bidrar till större och stabilare aggregat. Murbruksbildningen sker enligt reaktionen:



Koldioxid tas från markluften och mellan aggregaten bildas kalciumkarbonat. Resultatet blir liksom vid cementeringen större och stabilare aggregat eftersom karbonatet bildar bryggor dem emellan. För samtliga här beskrivna strukturförbättrande processer gäller att ju högre Ca-koncentration och ju högre pH marklösningen har, desto snabbare och effektivare sker förloppet (Berglund, 1971).

Olika kalkningsmedel och deras effekt

Vid jordbrukskalkning är det två huvudgrupper av kalk som är aktuella. Fri kalk (oxid, CaO och hydroxid, Ca(OH)₂), som finns i bränd och släckt kalk, samt kolsyrabunden kalk (kalciumkarbonat, CaCO₃) som finns i tex kalkstensmjöl (tabell 2; Ericsson et al., 1975). Kalkslagen skiljer sig markant åt vad det gäller löslighet och pH-effekt. Med den fria kalken kan en mycket hög Ca-jonkoncentration uppnås och temporärt också ett mycket högt pH (över 12) jämfört med karbonatets ca 10.

Tabell 2. Olika kalkningsmedels kemiska sammansättning med motsvarande syra-neutraliserande förmåga uttryckt i kg CaO per 100 kg kalkningsmedel (%) samt andel fri kalk (CaO och Ca(OH)₂) (Ericsson et al., 1975)

Kalkningsmedel	Kemisk beteckning	Motsvarande % CaO	% fri kalk
Kalkstensmjöl	CaCO ₃	42-52	0
Bränd kalk	CaO	70-90	70-90
Släckt kalk	Ca(OH) ₂	55-70	55-70
Socketbrukskalk	CaCO ₃ *	20-25	-

*huvudsakligen CaCO₃ se vidare tabell 5

Bränd och släckt kalk ger snabb och märkbar struktureffekt, medan kalkstensmjöl vanligen ger en mycket begränsad struktureffekt (Berglund, 1971). Vissa undersökningar tyder på att även CaCO₃ kan ge en viss struktureffekt på längre sikt, efter många upprepade vätnings-upptorkningscykler (Shanmuganathan & Oades, 1983). Om lerjordar med låga pH-värden kalkas upp till pH-värden mellan 6 och 7 (dvs till en kalciummättnad under 100 %) torde den pH-höjande effekten vara densamma för kalkstensmjöl, bränd och släckt kalk, dvs kalciumjonens utflockande och aggregerande effekt bör vara densamma för alla tre kalkslagen (Ericsson et al., 1975). Cement- och murbrukseffekterna torde sakna betydelse eftersom dessa förutsätter en alkalisk miljö. Det är möjligt att bränd och släckt kalk inte har någon bättre struktureffekt än kalkstensmjöl vid pH-värden under 7 (efter kalkning), men som

tidigare nämnts så ju högre Ca-koncentration och ju högre pH marklösningen har, desto snabbare och effektivare sker förloppet (Berglund, 1971).

För en god strukturverkan bör kalkningsmedlet spridas på väl bearbetad jord och blandas in grundligt omedelbart efter spridning. Det är bara de ytor som pudras av kalken som påverkas, varför bearbetningen är viktig för att åstadkomma så stor påverkbar yta som möjligt. Dessutom bör spridningen ske på en redan väl strukturerad jord, då kalken kan stabilisera en god struktur men i mindre grad bygga upp en förstörd struktur. Ytterligare effekt kan man få om man tillför organiskt material i samband med kalkningen, t.ex. genom nedplöjning av skörde-rester eller att man bryter en vall. Kalkens pH-höjande effekt ökar den biologiska aktiviteten och därmed omsättningen av det organiska materialet (Baldock et al., 1994).

Material och metoder

Försöksplatser

Samtliga försöksplatser låg på lerjordar i Skåne. I försöksserien (OB senare benämnd 701) ingick fyra strukturkalkningsförsök utlagda hösten 1997 (Emmylund -98, Planagården -98, Trulstorp -98 och Ädelholm -98), fyra hösten 1998 (Knästorp -99, Planagården -99, Trulstorp -99 och Ädelholm -99) samt fyra hösten 1999 (Knästorp -00, Planagården -00, Trulstorp -00 och Ädelholm -00) med skörd av sockerbetor året efter utläggningen dvs 1998, 1999 och 2000. Ädelholm är Danisco Sugars försöksgård och övriga brukas av enskilda lantbrukare. Före försökens start, höstarna 1997, 1998 och 1999 gjordes linjekarteringar på samtliga försöksplatser för att analysera sedvanliga markkemiska data (tabell 3). Analyserna utfördes av Sockernäringsens Samarbetskommitté och på samtliga platser var pH >7 och inget kalkbehov med avseende på pH och basmättnadsgrad fanns.

Tabell 3. Kemiska markdata för matjorden på de olika försöksplatserna

Försöksplats	pH	Katjonbyteskapacitet (T) (mekv/100g jord)	Basmättnadsgrad (%)
Ädelholm -98	7,7	12,2	> 80
Emmylund -98	7,4	13,6	> 80
Trulstorp -98	7,9	19,6	> 80
Planagården -98	7,8	23,5	> 80
Ädelholm -99	7,7	12,4	> 80
Knästorp -99	7,8	13,0	> 80
Trulstorp -99	7,7	16,8	> 80
Planagården -99	7,8	22,7	> 80
Ädelholm -00	7,8	13,8	> 80
Knästorp -00	7,6	13,2	> 80
Trulstorp -00	7,1	14,8	> 80
Planagården -00	7,6	18,8	> 80

Ädelholm, Emmylund och Knästorps bedömdes som lättleror och Trulstorp och Planagården som mellanleror. Vid den mekaniska analysen i denna undersökning framkom dock att lerhaltarna överlag var högre än i den tidigare analysen. Ädelholm och Knästorp bedömdes fortfarande som en lättlera, medan Emmylund snarare är en mellanlera. Trulstorp kan klassas som mellanlera, på gränsen till styv och Planagården som styv lera. Skillnaderna i lerhalt mellan de olika försöksplatserna gör att det inte alltid är lämpligt att slå samman resultaten från alla platserna, utan att vissa fel uppstår till följd av jordartsskillnader. Även skillnaderna mellan försöksrutorna inom varje försök, är ibland mycket stora. Vid de analyser som gjordes 1998 uppmättes skillnader mellan rutor inom försöken på 10 procentenheter vid Emmylund, 12 vid Trulstorp och hela 17 procentenheter vid Planagården. Den stora ojämnheten i lerhalt inom varje försöksplats ger en viss osäkerhet när medelvärden beräknas och kan på så sätt ge missvisande resultat.

Försöksled

Varje försöksplats i serie 701, strukturkalkning till sockerbetor, delades upp i fyra block (I-IV) och varje block i fem led, som finns beskrivna i tabell 4. Varje försöksruta delades upp i en skörderuta och en provtagningsyta. Jordproven till analyserna togs i provytan. Kalkningsmedlens sammansättning framgår av tabell 5 och 6. Sockerbrukskalken innehöll förutom kalk även en hel del andra näringsämnen. Kalkgivan anpassades så att led 2, 3 och 4 alla fick en giva som vid omräkning motsvarade ca 2 ton CaO/ha (led 5 motsvarar 6 ton CaO).

Tabell 4. Försöksled och behandlingar. Kalkens syraneutraliserande förmåga uttryckt i kg CaO per 100 kg kalkningsmedel (%) samt giva omräknad till motsvarande mängd CaO

Försöksled	Behandling		Motsvarande innehåll av CaO (%)	Motsvarande giva CaO (ton/ha)
	Kalkningsmedel	Kalkgiva (ton/ha)		
1	Obehandlat	-	-	-
2	Släckt kalk	3	69,5	2,1
3	Kalkstensmjöl	4	49,1	2,0
4	Sockerbrukskalk	8	24,7	2,0
5	Släckt kalk	9	69,5	6,3

Tabell 5. Respektive kalkningsmedels innehåll av $\text{Ca}(\text{OH})_2$ och CaCO_3 samt syraneutraliserande verkan, beräknad som halten CaO

Innehåll	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	CaCO_3	Motsv. innehåll av CaO
Släckt kalk	91,8 %	-	69,5 %
Kalkstensmjöl	-	87,7 %	49,1 %
Sockerbrukskalk (ts 67 %)	0,8 %	44,1 %	24,7 %

Tabell 6. Sockerbrukskalkens innehåll av växtnäring

Näringsämne	% av torrsubstans	kg/ton (ts 67%)
N	0,6	4,0
P	0,7	4,7
K	<0,1	<0,7
Mg	1,1	7,4

Vattenhalt och glödgningsförlust

Av det ursprungliga provet vägdes ca 10 g jord in i en ståldegel, varefter följande egenskaper undersöktes för att sedan användas vid beräkningen av de olika fraktionerna i aggregat-analysen.

Vattenhalt. Provet torkades vid 105°C i 16 timmar. Viktminskningen utgör vattenhalten.

Halten organiskt material. Provet glödgades vid 375°C i 16 timmar. Skillnaden i vikt mellan 105°C och 375°C utgör halten organiskt material.

Glödgningsförlust. Provet glödgas vid 650°C i 2 timmar. Viktminskningen jämfört med glödgningen vid 375°C anses utgöra mängden kristallvatten (vatten bundet till leret) som av-gått.

Aggregatstabilitet

Aggregatstabiliteten undersöktes med en aggregatanalysmetod (Hamblin & Greenland 1977; Churchman & Tate, 1986; Muneer & Oades, 1989, Oades & Waters, 1991) där aggregaten utsätts för gradvis ökande mekanisk och kemisk nedbrytning för att utröna hur stabila de är och vad som orsakat aggregeringen. De lufttorkade jordproverna pressas genom en sikt med maskvidden 8 mm. Nedbrytningen av aggregaten utförs i fyra steg: Mild mekanisk sönderdelning, kraftig mekanisk sönderdelning, oxidation av det organiska materialet samt avlägsnande av organiskt material och karbonater varefter en aggregatstorleksanalys (våtsiktning och pipettanalys) genomförs efter varje nedbrytningssteg (Gee & Bauder, 1986; Ljung, 1987). 1998 genomfördes alla nedbrytningssteg, 1999 och 2000 endast steg 2 och 4.

1. *Mild mekanisk sönderdelning.* 20 g jord hålls i en sedimentationscylinder (1 000 ml) med avjoniserat vatten och får stå i 30 minuter, varefter cylindern vänds upp och ned fyra gånger.

2. *Kraftig mekanisk sönderdelning.* 20 g jord hålls i en sedimentationscylinder (1 000 ml) med avjoniserat vatten och skakas i 16 timmar.

3. *Oxidation av det organiska materialet.* 20 g jord vägs upp i en 600 ml glasbägare och till-förs 50 ml 10 % väteperoxidlösning (H₂O₂). Provet kokas på vattenbad tills vätskan klarnat och allt organiskt material oxiderat (Ljung, 1987). Därefter förs provet över till en sedimen-tationscylinder (1000 ml) tillsammans med avjoniserat vatten och skakas i 16 timmar.

4. *Avlägsnande av karbonater och organiskt material.* 20 g jord vägs upp i en 600 ml glas-bägare och fuktas därefter med avjoniserat vatten. För att avlägsna karbonatet tillförs 1 N HCl droppvis tills provet slutat fräsa och all koldioxid avgått. Det organiska materialet oxideras som beskrivet ovan, varefter provet tillförs 50 ml 0,1 M natriumdifosfat, Na₄P₂O₇ · 10 H₂O, för att dispergera leret. Provet förs över till en sedimentationscylinder (1 000 ml) till-sammans med avjoniserat vatten och skakas 16 timmar.

Efter varje behandling utförs pipettanalys och våtsiktning enligt metod beskriven av Ljung (1987), för att bestämma kornstorleksfördelningen (aggregatfördelningen) i provet. Pipett-analysen genomfördes på sedvanligt sätt och vid våtsiktningen användes siktar med mask-vidderna 2 mm, 0,6 mm, 0,2 mm och 0,063 mm.

I alla behandlingar (steg 1-4) korrigeras den invägda jorden för vattenhalten och de olika fraktionernas vikt uttrycks i procent av provets torrsubstansvikt (ts). Fraktionernas procenttal summeras och summan bör bli 100 %. Vid tredje behandlingen (steg 3) används glödningsförlusten vid 375°C som ett mått på det organiska materialet och räknas med vid summeringen av fraktionernas procenttal. Vid den maximala behandlingen (steg 4) används glödningsförlusten vid 650°C (organiskt material + kristallvatten) och hänsyn tas även till kalciumkarbonathalt och det tillsatta dispergeringsmedlet.

Statistik

Statistiska beräkningar gjordes på skörderesultat och radtäckning i sockerbetor av Jordbruks-teknik vid Danisco Sugar och på skörderesultat i stråsäd av Institutionen för markvetenskap vid SLU. 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 det 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. De regressioner och motsvarande R^2 -värden som redovisas i figurerna 1-4 är gjorda med polynom av andra graden.

Resultat och diskussion

Skörd, sockerbetor

1998

Rotskörden och sockerskörden ökade med alla kalkbehandlingar jämfört med det obehandlade ledet (tabell 8). Ökningen var dock signifikant endast med den högsta givan släckt kalk i led 5, där sockerskörden ökade med 10 procent motsvarande 860 kg/ha. Renheten ökade likaså med den högsta givan släckt kalk i led 5, men denna ökning var inte statistiskt säkerställd. Några signifikanta skillnader i plantantal fanns inte, men vid sluträkningen i början av juli hade led 5 en svag ökning av plantantalet. Försöken visade på vikten av en god markstruktur för sockerbetans tillväxt och slutskörd. Det stora utslaget var troligen en kombination av två förhållanden. Dels var strukturen i marken god vid kalkningen hösten 1997 efter den torra sommaren och kalken kunde då stabilisera den goda aggregatstrukturen. Dels innebar det nederbördsrika 1998 stora påfrestningar på markens struktur. Skördeökningen i led 5 varierade mellan 4 och 21 procent på de olika platserna. Den högsta merskörden erhöles på den styva leran på Planagården där växtförhållandena var extremt pressade under säsongen eftersom där föll nästan 500 mm regn under juni-augusti. Under sådana förhållanden blir en god markstruktur och genomluftning synnerligen viktig. Mer förvånande var att också på Ädelholm, med behaglig lättlera och normal nederbörd, gav den höga givan släckt kalk en merskörd på 11 procent.

Tabell 8. Sockerbetskörden 1998. Medelvärden för 4 försöksplatser (Emmylund -98, Planagården -98, Trulstorp -98 och Ädelholm -98). CV = variationskoefficient, LSD 95 % = lägsta signifikanta skillnad, Sign. = Signifikansnivå, d.v.s procentuell sannolikhet att högsta och lägsta värdet är olika

Behandling	Betor 1000- tal/ha	Ren vikt ton/ha	Socke- halt %	Utvinn- barhet %	Utvinnbart socker ton/ha	Utvinnbart socker rel tal	Renhet %
1 obehandlat	86,9	52,0	18,07	90,87	8,60	100	68,6
2 släckt kalk 3 t/ha	88,2	54,5	18,08	90,87	9,02	105	68,1
3 kalkstensmjöl 4 t/ha	88,2	52,9	18,10	90,80	8,75	102	67,9
4 sockerbrukskalk 8 t/ha	88,0	53,6	17,98	90,73	8,79	102	70,5
5 släckt kalk 9 t/ha	91,3	57,6	18,01	90,75	9,46	110	73,6
CV	4,0	3,5	0,6	0,1	3,8	.	5,5
LSD 95 %	5,5	2,9	0,17	0,16	0,52	.	6,0
Sign.nivå	89,4	99,9	85,1	92,0	99,7	.	94,4

1999

I medeltal för de fyra försöken ökade både rot- och sockerskörden för alla kalkbehandlingar, men ökningen var endast signifikant för led 5 med den högsta givan av släckt kalk (tabell 9). Dessa resultat var helt i överensstämmelse med 1998 års försöksresultat. I led 5 ökade sockerskörden med 8 procent eller 740 kg socker/ha. I alla övriga led ökade sockerskörden med 4 procent. I led 4 med sockerbrukskalk minskade både sockerhalt och utvinnbarhet signifikant jämfört med det obehandlade ledet. Några liknande indikationer på försämrade betkvalitet fanns inte under 1998. Några signifikanta skillnader i renhet fanns inte heller mellan behandlingarna. Sammanfattningsvis visade resultaten från 1999 på stora utslag i sockerskörd för kalkbehandlingarna, i synnerhet för den med hög giva släckt kalk. Det var något förvånande att odlingsåret 1999, som inte bjöd på lika stora väderleksmässiga ansträngningar för betorna som 1998, gav ungefär samma resultat som det blöta och påfrestande 1998.

Tabell 9. Sockerbetskörden 1999. Medelvärden för 4 försöksplatser (Knästorps -99, Planagården -99, Trulstorps -99 och Ädelholm -99). CV = variationskoefficient, LSD 95 % = lägsta signifikanta skillnad, Sign. = Signifikansnivå, d.v.s procentuell sannolikhet att högsta och lägsta värdet är olika

Behandling	Betor 1000- tal/ha	Ren vikt ton/ha	Socke- halt %	Utvinn- barhet %	Utvinnbart socker ton/ha	Utvinnbart socker rel. tal	Renhet %
1 obehandlat	92,8	55,3	17,80	90,40	8,91	100	89,2
2 släckt kalk 3 t/ha	95,2	57,9	17,68	90,23	9,23	104	88,7
3 kalkstensmjöl 4 t/ha	95,4	57,3	17,85	90,40	9,24	104	88,8
4 sockerbrukskalk 8 t/ha	92,8	58,2	17,61	90,10	9,22	104	88,3
5 släckt kalk 9 t/ha	96,3	60,2	17,73	90,30	9,65	108	88,1
CV	3,8	4,0	0,5	0,2	4,1	.	1,7
LSD 95 %	5,5	3,6	0,13	0,26	0,58	.	2,4
Sign.nivå	81,1	98,9	99,8	97,1	98,3	.	68,2

2000

I medeltal för de fyra försöken ökade rotskörden i alla led och sockerskörden i alla led utom led 3 som fick kalkstensmjöl. Ökningen av rot- och sockerskörd var dock statistiskt säkerställd endast i led 5 med hög giva släckt kalk. Där ökade sockerskörden med 7 procent motsvarande 640 kg/ha. Detta var helt i linje med de tidigare två åren, då led 5 också ökade sockerskörden signifikant. I likhet med 1998 och till skillnad från 1999 försämrades inte kvaliteten på sockerbetorna i led 4 med sockerbrukskalk. Några säkerställda skillnader i plantantal fanns inte mellan leden. I alla kalkade led ökade renheten, och i led 4 med sockerbrukskalk var renhetsökningen statistiskt säkerställd.

Tabell 10. Sockerbetskörden 2000. Medelvärden för 4 försöksplatser (Knästorps -00, Planagården -00, Trulstorps -00 och Ädelholm -00). CV = variationskoefficient, LSD 95 % = lägsta signifikanta skillnad, Sign. = Signifikansnivå, d.v.s procentuell sannolikhet att högsta och lägsta värdet är olika

Behandling	Betor 1000- tal/ha	Ren vikt ton/ha	Socke- halt %	Utvinn- barhet %	Utvinnbart socker ton/ha	Utvinnbart socker rel. tal	Renhet %
1 obehandlat	83,1	53,9	18,02	90,67	8,76	100	85,0
2 släckt kalk 3 t/ha	81,4	55,8	18,02	90,66	9,03	103	86,3
3 kalkstensmjöl 4 t/ha	85,2	54,2	17,99	90,63	8,78	100	87,7
4 sockerbrukskalk 8 t/ha	82,4	55,5	17,97	90,60	8,99	103	88,3
5 släckt kalk 9 t/ha	84,9	57,8	18,02	90,67	9,40	107	87,2
CV	4,4	3,9	0,3	0,15	4,01		2,3
LSD 95 %	5,6	3,4	0,09	0,21	0,56		3,1
Sign.nivå	83,4	97,4	74,7	47,5	97,3		95,9

1998-2000

I de 12 försöken under 1998-2000 ökade det slutliga plantantalet i alla kalkade led jämfört med det obehandlade ledet, men plantantalsökningen var signifikant högre endast i led 5 med hög giva släckt kalk. I detta led ökade plantantalet med drygt 3 000 plantor per hektar. Rotskörden ökade i alla kalkade led jämfört med det obehandlade ledet, men rotskörden var bara signifikant högre i leden 2, 4 och 5. Också sockerskörden ökade i alla kalkade led men skillnaden var bara signifikant för led 2 och 5 som fick 3 respektive 9 ton släckt kalk/ha. I dessa led ökade sockerskörden över de tre åren med 4 och 9 procent, vilket motsvarade 330 respektive 750 kg/ha.

Tabell 11. Sockerbetsskörden 1998-2000. Medelvärden från samtliga 12 försöksplatser. Intäkt i 2000 års nivå. CV = variationskoefficient, LSD 95 % = lägsta signifikanta skillnad, Sign. = Signifikansnivå, d. vs procentuell sannolikhet att högsta och lägsta värdet är olika

Behandling	Betor 1000- tal/ha	Ren vikt ton/ha	Socket- halt %	Utvinn- barhet %	Utvinn- bart socker ton/ha	Utvinn- bart socker rel. tal	Renhet %	Intäkt kr
1 obehandlat	87,6	53,7	17,97	90,65	8,76	100	81,0	24 690
2 släckt kalk 3 t/ha	88,3	56,1	17,93	90,59	9,09	104	81,0	25 700
3 kalkstensmjöl 4 t/ha	89,6	54,8	17,98	90,63	8,93	102	81,5	25 270
4 sockerbrukskalk 8 t/ha	87,7	55,7	17,85	90,48	9,00	103	82,4	25 530
5 släckt kalk 9 t/ha	90,8	58,5	17,92	90,58	9,51	109	83,0	27 000
CV	3,8	3,6	0,5	0,2	3,7		3,4	
LSD 95 %	2,8	1,6	0,07	0,12	0,27		2,3	
Sign.nivå	97,6	100,0	99,9	99,5	100,0		91,5	

För låg giva släckt kalk reagerade både jordar under och över 20 % lerhalt med 4 procents skördeökning. För hög giva släckt kalk svarade jordar med lerhalter över 20 % med dubbelt så stor skördeökning som jordar med lerhalter under 20 % (6 respektive 12 % skördeökning). Eftersom kalken reagerar med leret vid strukturbildningen kan man förvänta sig att få fortsatt struktureffekt även av högre kalkgivor på jordar med hög lerhalt där det finns gott om lera att reagera med. I led 4 med sockerbrukskalk motverkades ökningen i rotskörd av en försämring av kvaliteten, så tillvida att både sockerhalten och utvinnbarheten i detta led var signifikant lägre jämfört med i det obehandlade ledet. Någon statistiskt säkerställd ökning av sockerskörden fanns därför inte i led 4. Renheterna var låga i medeltal för de tre åren. Högst var renheten i led 5 med hög giva släckt kalk, där ökningen var 2 procentenheter, utan att vara signifikant säkerställd.

Radtäckning, sockerbetor

1998-2000

Radtäckningen i sockerbetorna var signifikant högre i led 5 jämfört med det obehandlade ledet vid den första radtäckningsgraderingen som i medeltal gjordes den 15 juni. Vid den andra radtäckningsgraderingen, som i medeltal gjordes den 27 juni, hade leden 2, 3 och 5 signifikant högre radtäckning jämfört med det obehandlade ledet.

Tabell 12. Radtäckning 1998-2000. Medelvärden från samtliga 12 försöksplatser. CV = variationskoefficient, LSD 95 % = lägsta signifikanta skillnad, Sign.=Signifikansnivå, d.vs procentuell sannolikhet att högsta och lägsta värdet är olika

Behandling	Radtäckning, %	
	15 juni	27 juni
1 obehandlat	32,6	67,4
2 släckt kalk 3 t/ha	33,8	71,4
3 kalkstensmjöl 4 t/ha	32,7	70,1
4 sockerbrukskalk 8 t/ha	33,2	69,4
5 släckt kalk 9 t/ha	34,6	71,2
CV	6,8	3,9
LSD 95 %	1,9	2,3
Sign.nivå	96	99,9

Skörd, efterverkan i stråsåd

1999-2000

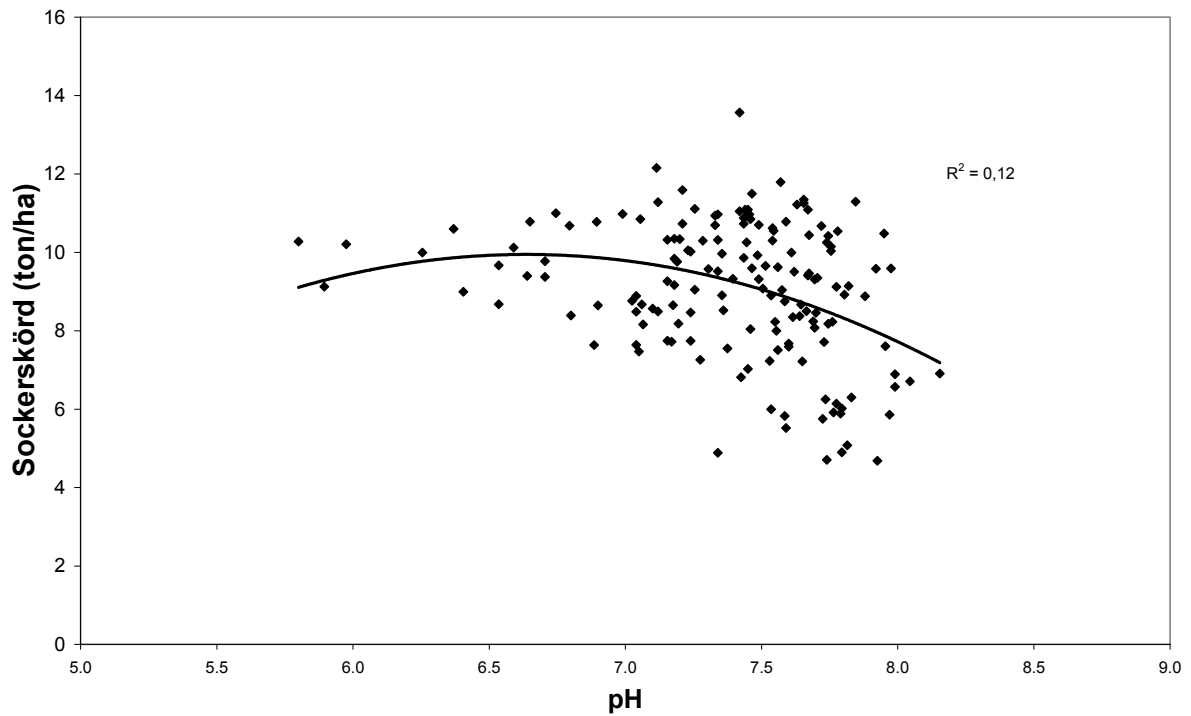
Skörden av spannmål ökade signifikant i leden 4 och 5 i de sex försök som skördades 1999-2000. Med avseende på kvävehalt i kärnan fanns inga säkerställda skillnader, men en svag ökning av halten kunde noteras i de två led som fick släckt kalk i låg och hög giva.

Tabell 13. Spannmålsskörd och kvävehalt i kärnan 1999-2000. Medelvärden från samtliga 6 skördade försöksplatser (1 år höstvet, 1 år vårvete och 4 år vårkorn). CV = variationskoefficient, LSD 95 % = lägsta signifikanta skillnad

Behandling	Skörd		N-halt i kärna %
	kg/ha	rel tal	
1 obehandlat	7 588	100	1,59
2 släckt kalk 3 t/ha	7 664	101	1,63
3 kalkstensmjöl 4 t/ha	7 813	103	1,60
4 sockerbrukskalk 8 t/ha	7 903	104	1,61
5 släckt kalk 9 t/ha	7 895	104	1,63
CV	2,6		1,6
LSD 95 %	239		0,0475

pH

Kalktillförseln hade genomgående en positiv effekt på skörden. Om detta endast är en kemisk effekt bör man få ett samband mellan pH och skörd, men något sådant samband fanns inte (figur 1). Detta kanske ej heller var att vänta eftersom vi valt platser med högt ursprungspH där det bedömdes att det inte fanns något kemiskt kalkbehov.



Figur 1. Sockerskördens beroende av pH. Parcellvis värden från samtliga 12 försök 1998-2000.

Variationen i pH inom enskilda försök visade sig i undersökningar under 1998 (Kindvall, 1999) vara relativt stor (tabell 14). Skillnaderna mellan block var i många fall större än mellan behandlingarna. Det är troligt att skillnaderna i ursprungs-pH var stora även inom blocken, eftersom det i vissa fall var ett lägre pH i kalkade rutor än i den obehandlade rutan (se tex Emmylund, block I). Detta kan ha påverkat försöksresultaten genom att kalkningen i försöksrutor med lågt ursprungligt pH kan ha haft en relativt stor kemisk effekt som kan störa utvärderingen av de fysikaliska effekterna. Sett som medeltal över alla block inom ett försök har emellertid kalkningen höjt pH något.

Tabell 14. Resultat från 1998 års försök, pH mätt i vatten. Understrukna värden är det lägsta i obehandlat led och kursiva värden är det högsta (Kindvall, 1999)

	Led 1 Obeh	Led 2 3t Släckt	Led 3 4t Kmjöl	Led 4 8t Sbk	Led 5 9t Släckt	Medel
Ädelholm						
Block I	7,5	7,4	7,5	7,4	7,5	7,5
Block II	7,7	7,6	7,5	7,4	7,4	7,5
Block III	<u>6,8</u>	7,3	7,3	7,0	7,1	7,1
Block IV	6,9	7,4	7,2	7,5	7,6	7,3
Medel	7,2	7,5	7,4	7,3	7,4	7,4
Emmylund						
Block I	<u>6,0</u>	5,8	5,9	6,6	7,2	6,3
Block II	7,6	7,7	7,6	7,3	7,5	7,5
Block III	7,2	7,4	7,2	7,2	7,7	7,3
Block IV	7,6	7,7	7,8	7,7	8,0	7,8
Medel	7,1	7,1	7,1	7,2	7,6	7,2
Trulstorp						
Block I	7,8	7,9	7,6	8,0	7,9	7,8
Block II	<u>6,5</u>	7,1	7,0	6,8	8,0	7,1
Block III	7,4	7,5	7,2	7,8	7,7	7,5
Block IV	7,7	7,7	7,7	7,7	7,8	7,7
Medel	7,3	7,6	7,4	7,5	7,8	7,5
Planagården						
Block I	7,8	7,8	7,9	7,7	7,8	7,8
Block II	<u>7,3</u>	7,8	8,0	8,0	8,2	7,9
Block III	7,6	7,5	7,6	7,8	7,7	7,6
Block IV	7,7	7,8	7,8	8,0	8,1	7,9
Medel	7,6	7,7	7,8	7,9	7,9	7,8

Biologisk aktivitet, dagmaskar

Den biologiska aktiviteten i marken stimuleras i allmänhet av kemiskt neutral eller något alkalisk miljö, även om det bland bakterierna finns arter som gynnas av mycket extrema förhållanden både åt det sura och det basiska hållet (Killham, 1994). Dagmaskarna är känsliga för sur miljö och föredrar ett neutralt pH. Svamparna föredrar en något surare miljö med ett tillväxtoptimum mellan pH 4 och 6 (Paul & Clark, 1996). Kalkning har i viss mån använts för att komma tillrätta med en del svampsjukdomar på växter (Havlin et al., 1999). I allmänhet har det då rört sig om jordar med relativt lågt pH som med kalkningen får en neutral reaktion (pH 7). Å andra sidan finns det sjukdomar som gynnas av ett neutralt pH. Vid kalkning med släckt kalk kan man temporärt få ett mycket högt pH (över 12) vilket med all sannolikhet påverkar många marklevande organismer.

Maskförekomsten mättes i led 1 (obehandlat) och led 5 (släckt kalk 9 ton/ha) i sex försök. Mätningarna gjordes ett år efter kalkspridningen på hösten i sockerbetsgrödan 1999 respektive 2000 (tabell 15). Inga signifikanta skillnader för antal eller vikt av daggmaskar uppmättes mellan obehandlat och kalkat led. I 5 av försöken 1999-2000 fanns det emellertid färre daggmaskar i kalkat led och i 4 av dessa var också maskvikten lägre. Detta bör påverka markstrukturen negativt. Å andra sidan kan kalkningen ha haft en sanerande effekt på svamparna och därmed ha minskat sjukdomstrycket. Försöket i Knästorps försök 2000 hade det omvända förhållandet med högre antal och större vikt av daggmaskar i kalkat led. Knästorpsförsöket var också den enda plats som inte hade någon merskörd för den släckta kalken i led 5, och avvek därmed från den generella bilden. I en undersökning på mjällig mellanlera (Ivarsson, 1996) där effekten av tillförsel av bränd kalk (6,5 ton CaO/ha) undersöktes 8 år efter inblandningen av kalken hade kalken en klar positiv effekt på markstruktur, skörd, biologisk aktivitet och maskförekomst. Maskantalet ökade med 26 % och maskvikten med 23 % samtidigt som pH höjdes från 6,1 till 6,8. Det högre pH-värdet i de kalkade leden kombinerat med en bättre markstruktur gynnade daggmaskar och kvävefixerare samt förbättrade sannolikt växtnäringssämnenas tillgänglighet. Den inledande negativa effekten på daggmaskarna av ett temporärt högt pH kompenseras antagligen på längre sikt av en förbättrad markstruktur som gynnar den biologiska aktiviteten.

Tabell 15. Resultat av daggmaskinventering 1999-2000. Medelvärden från 6 försök. CV = variationskoefficient, LSD 95 % = lägsta signifikanta skillnad, Sign. = Signifikansnivå, d. vs procentuell sannolikhet att högsta och lägsta värdet är olika

Behandling	Daggmaskar	
	antal/m ²	g/ m ²
1 obehandlat	68	11,5
5 släckt kalk 9 t/ha	54	7,6
CV	22,0	73,3
LSD 95 %	19,8	10,4
Sign.nivå	86,9	61,8

Markstruktur

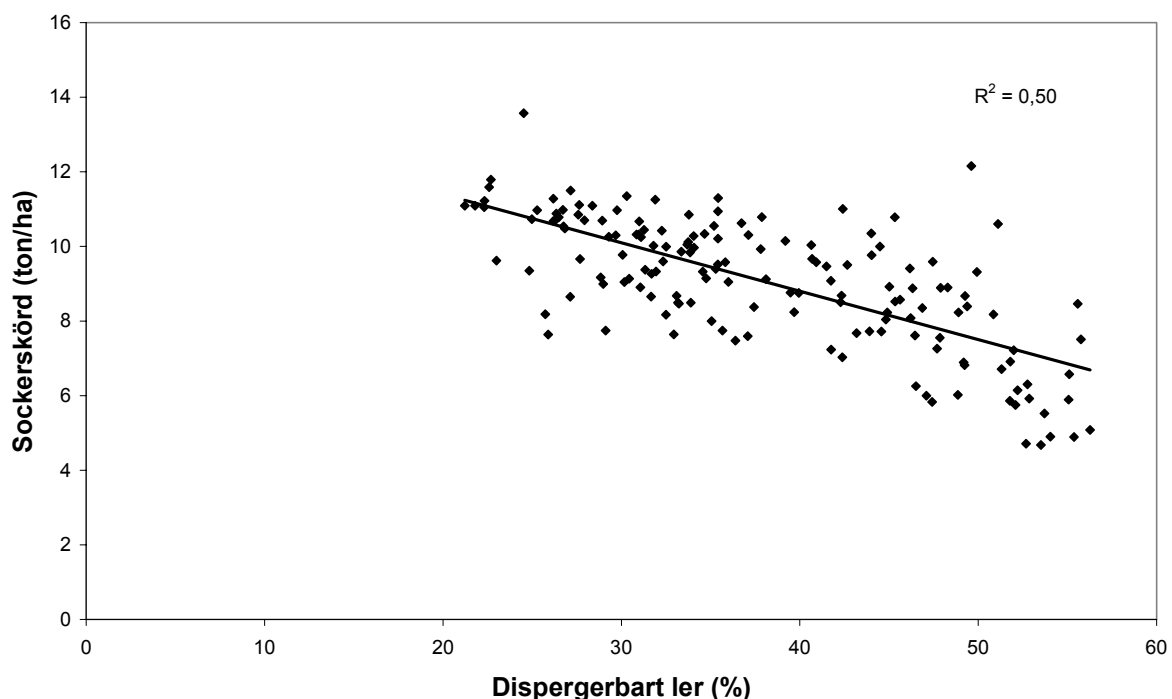
Begreppet markstruktur är ganska diffust och det kan vara svårt att definiera vad som är bra eller dålig struktur. Det finns ingen bra och enkel mätmetod där man tex kan gå ut i fält och mäta en parameter och sedan med säkerhet säga att denna jord har en bra eller dålig struktur. Trots detta kan ju ofta en brukare rent intuitivt avgöra detta.

För att beskriva strukturen är det vanligt att man i markvetenskapliga studier gör en kornstorleksanalys vilket ger en övergripande bild av markens uppbyggnad. Vid en sådan analys tas enligt standardiserade metoder det organiska materialet och olika oorganiska bindningar som håller ihop partiklarna till aggregat bort, för att man ska få fram primärpartiklarna (ler, mjåla, mo osv). Eftersom det ofta är de sammansatta partiklarna (aggregaten) som har störst betydelse för hur jorden uppför sig i fält (vad gäller t.ex. genomsläpplighet för vatten, skorpbildning, erosionsbenägenhet och bearbetningsbarhet) är en vanlig kornstorleksanalys inte alltid användbar för att beskriva strukturen (Dexter, 1988). Man bör istället göra en analys av aggregatens fördelning i olika storleksklasser.

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. Genom mekanisk och kemisk behandling med stigande intensitet som bryter ned aggregaten, kan man med hjälp av efterföljande aggregatanalys avgöra aggregatens stabilitet (Churchman & Tate, 1986). Eftersom flockulering (när primärpartiklarna binds samman till aggregat) är grunden för all aggregatbildning, är det en viktig faktor när det gäller att bevara en god markstruktur. Att bestämma mängden ler som dispergerar (motsatsen till flockulering) 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 använt mått på strukturabilitet (Shanmuganathan & Oades, 1983; Oades, 1984; Baldock et al., 1994).

Dispergerbart ler

Som ett mått på aggregatstrukturens stabilitet bestämdes andelen dispergerbart ler uttryckt som den mängd ler som lösgjordes efter kraftig mekanisk nedbrytning i procent av den mängd ler som det maximalt fanns i provet. Om aggregaten är stabila så bör en liten andel av leret lösgöras och detta bör inverka positivt på skörden. Resultatet i figur 2 visar på starka tendenser i den riktningen. Sambandet visar att en stor andel dispergerbart ler ger lägre skörd.



Figur 2. Sockerskördens beroende av andelen dispergerbart ler efter kraftig mekanisk nedbrytning. Parcellvisa värden från samtliga försök 1998-2000.

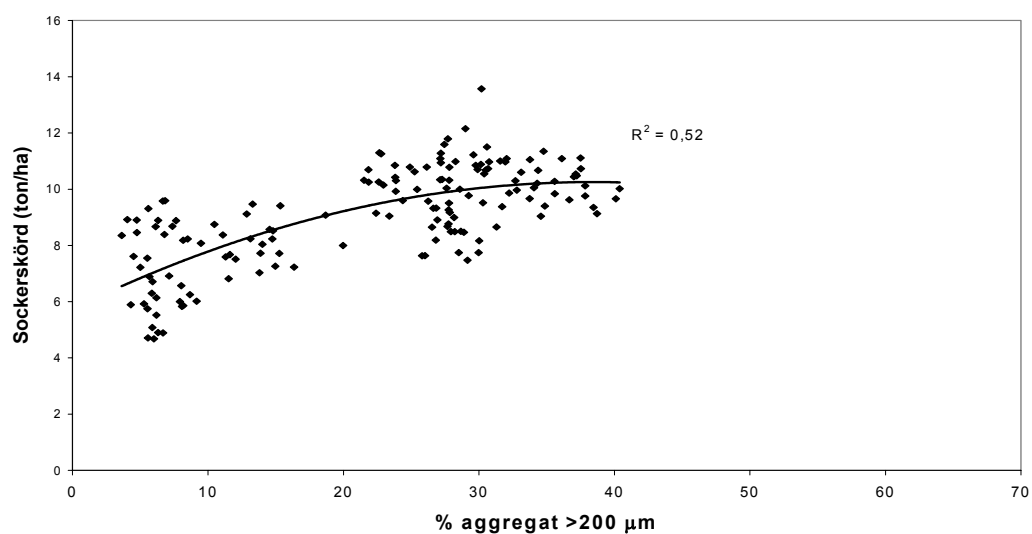
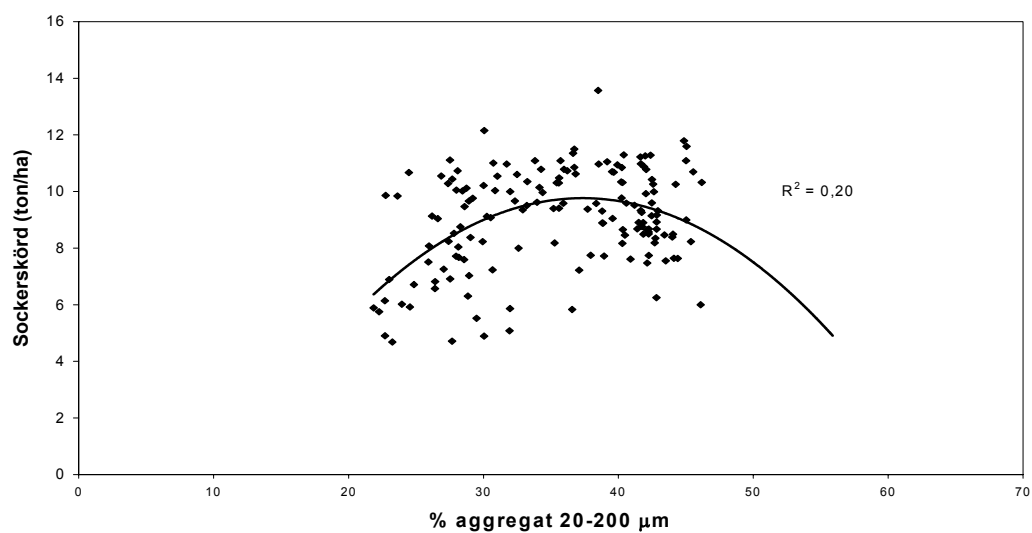
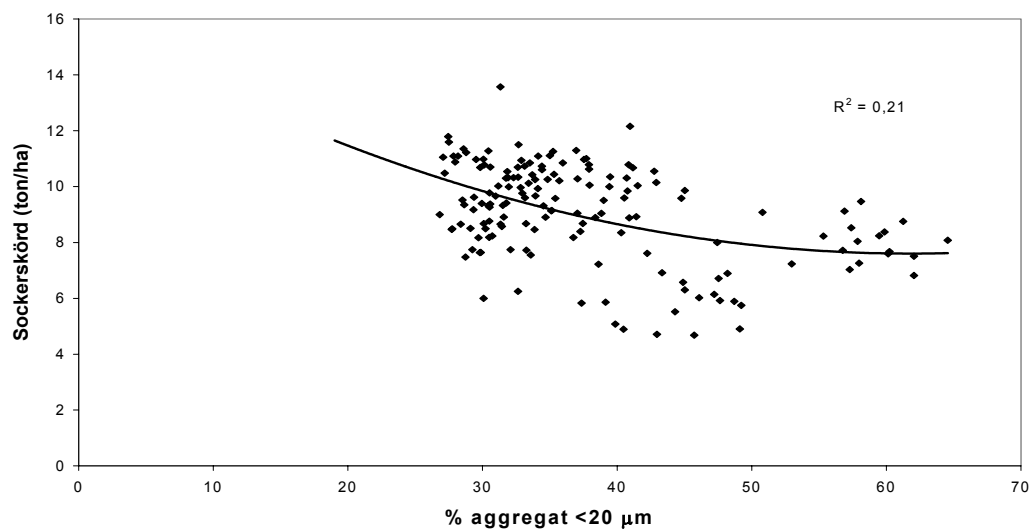
Aggregatfördelning

Aggregatfördelningen efter kraftig mekanisk nedbrytning analyserades. Aggregaten delades upp i storleksklasserna >200 µm (motsvarande sand och grus), 20-200 µm (motsvarande mo) och <20 µm (motsvarande ler och mjåla). Önskvärd storleksfördelning är att en stor andel av aggregaten är i storleksklassen 20-200 µm. Dessa aggregat ger bl a upphov till porer som kan lagra växttillgängligt vatten, vilket är fördelaktigt för växten. Aggregat <20 µm ger porer med för växterna oåtkomligt eller mycket svåråtkomligt vatten. Dessutom ger en hög andel aggregat <20 µm en alltför kompakt såbädd med ogynnsamma groningsförhållanden. De största aggregaten behövs för att säkerställa en god dränering och genomluftning av jorden. En för hög andel aggregat >200 µm kan emellertid göra såbädden och såbotten för torr eftersom avdunstningsskyddet försämras. Man bör dock komma ihåg att storleksfördelningen som tas upp här inte motsvarar den verkliga i såbädden vid sådd, utan den som uppkommit efter nedbrytning av aggregaten. Sambandet mellan aggregatstorlek och porstorlek är inte strikt och det bästa hade varit att även bestämma porstorleksfördelningen, men detta var inte möjligt inom den ekonomiska ramen för projektet.

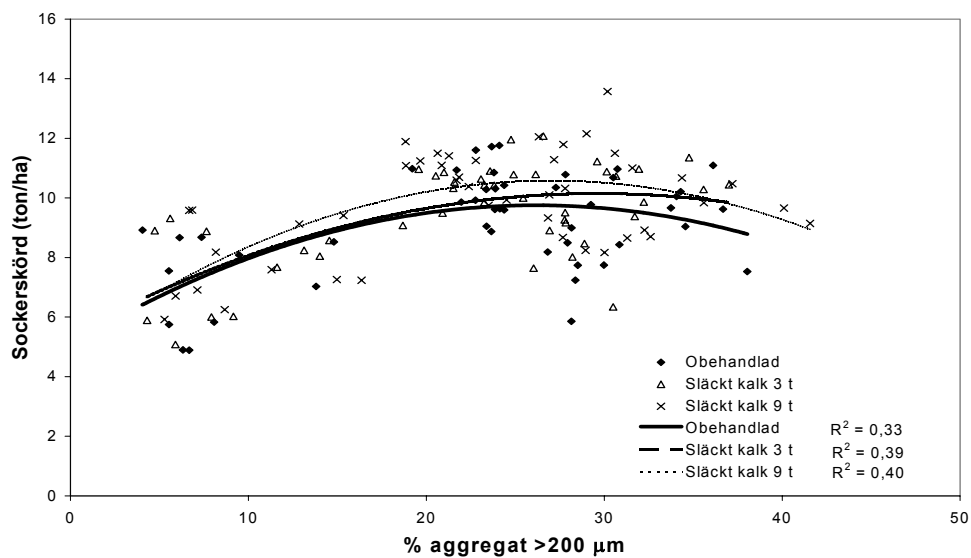
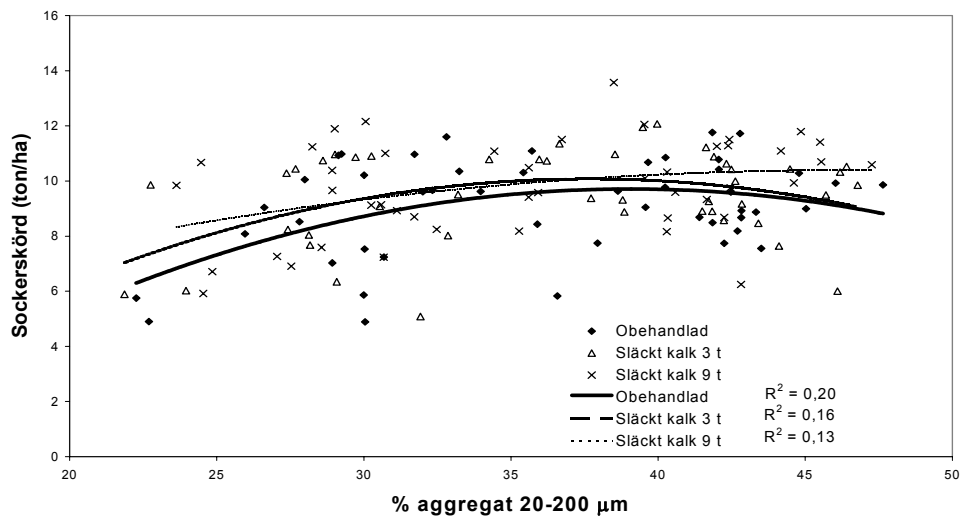
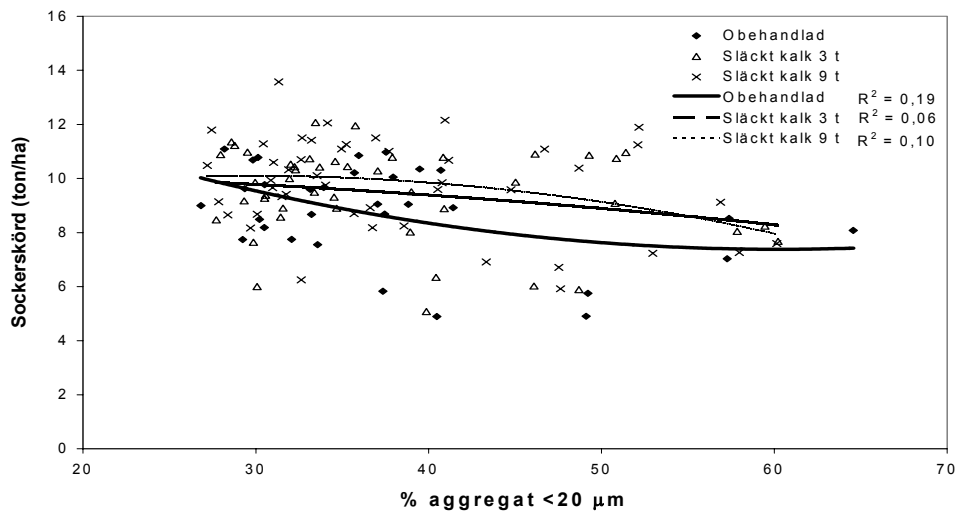
Resultaten antyder (figur 3) att andelen små aggregat <20 µm bör vara så liten som möjligt eftersom dessa påverkar skörden negativt. För de större storleksklasserna ligger skördeoptimum vid ca 40 % av vardera mellanstora (20-200 µm) och stora aggregat (>200 µm). Kalkens effekt på aggregatfördelningen är vid en första anblick mycket liten (tabell 16). Om man emellertid tittar lite närmare på aggregatfördelningen (fig 4) vid olika givor släckt kalk kan man se att vid samma andel små aggregat (<20 µm) ger kalkade rutor högre skörd. En förklaring kan vara att de kalkade aggregaten ger upphov till en annan porstorleksfördelning som ger en större andel för växterna åtkomligt vatten. Dessutom blir inte skördesänkningen i kalkade led lika stor när andelen mellanstora aggregat (20-200 µm) minskar. Kalken ger en "tåligare" jord. Skördeoptimum förskjuts så att andelen mellanstora aggregat bör vara mer än 40 % och andelen stora aggregat ca 30 %. Resultaten är emellertid långt ifrån entydiga och en utförligare analys kommer att göras. Skörderesultaten antyder att en indelning av materialet efter lerhalt vore givande.

Tabell 16. Kalkens effekt på aggregatfördelning efter kraftig mekanisk nedbrytning

Försöksled	Andel aggregat (%) i resp storleksklass (µm)		
	<20	20-200	>200
Obehandlad	38,9	37,4	23,7
Släckt kalk 3 t	39,1	37,8	23,1
Kalkstensmjöl 4 t	39,0	37,0	24,0
Socketbrukskalk 8 t	38,9	37,1	24,0
Släckt kalk 9 t	39,5	36,8	23,7



Figur 3. Sockerskördens beroende av olika aggregatfraktioner efter kraftig mekanisk nedbrytning. Parcellvisa värden från samtliga försök 1998-2000.



Figur 4. Sockerskördens beroende av olika aggregatfraktioner efter kraftig mekanisk nedbrytning uppdelat på led 1, 2 och 5. Parcellvisa värden från samtliga försök 1998-2000.

Slutsatser

- Kalken ökade radtäckningen i juni
- Alla kalkningsmedel hade en tydlig positiv effekt på skörden, men endast den släckta kalken ökade skörden signifikant.
- Försöksplatserna hade ett gott kalktillstånd redan före strukturkalkningen. Variationen i original-pH var emellertid stor mellan rutorna. Det fanns inget samband mellan pH och skörd.
- Låg aggregatstabilitet, mätt som andel dispergerbart ler, gav en lägre skörd.
- Aggregatfördelningen och indirekt porstorleksfördelningen påverkade skörden. Vid samma aggregatfördelning gav kalkade led en högre skörd. En orsak kan vara att kalkade aggregat ger upphov till en annan fördelaktigare porstorleksfördelning men resultaten är långt ifrån entydiga. En fortsatt analys av resultaten kommer att genomföras.
- Strukturkalkningens effekt på den biologiska aktiviteten i marken bör utredas vidare.

Referenser

- 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. *Aust. J. Soil Res.*, 32; 571-594.
- Berglund, G. 1971. Kalkens inverkan på jordens struktur. *Grundförbättring* 24, 1971:2; 81-93.
- Ericsson, J., Berglund, G. & Persson, J. 1975. Kalktillstånd, kalk och kalkning. Lantbruks-högskolan, Uppsala. Rapporter från Avdelningen för växtnäringslära, 90.
- 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.
- Gee, G. W. & Bauder, J. W. 1986. Particle-size Analysis. In: *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph no. 9 (2nd Edition).
- Göransson, C. G. & Sperlingsson, C. 1997. Ny satsning av Samarbetskommittén: Tillväxt Till Tio Ton. *Betodlaren*, 2; 19-21.
- Hamblin, A. P. & Greenland, D. J. 1977. Effect of organic constituents and complexed metal ions on aggregate stability of some East Anglian soils. *J. Soil Sci.*, 28; 410-16.
- Havlin, L. H., Beaton, J. D., Tisdale, S. L. & Nelson, W. L. 1999. *Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management*. 6th edition. Prentice-Hall, Inc.
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics*. Academic Press inc. New York.
- Hummel-Gumaelius, T. 1996. Svensk betodling halkar efter. *Betodlaren*, 4.
- Ivarsson, R. 1996. Plöjningsfri odling och strukturkalkning på lerjordar. Effekter på mark-biologiska, markkemiska och markfysikaliska egenskaper, samt ogräs och skörd. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst f markvetenskap, Avd f jordbearbetning. Meddelanden från jordbearbetningsavdelningen, 22.
- Killham, K. 1994. *Soil ecology*. Cambridge University Press.
- Kindvall, T. 1999. Strukturkalkning på lerjordar - effekter på markstruktur och sockerbets-skörd. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. Inst f markvetenskap, Avd f hydro-teknik. Avdelningsmeddelande 99:1.
- Ljung, G. 1987. Mekanisk analys. Beskrivning av en rationell metod för jordartsbestämning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd f lantbrukets hydroteknik. Avdelningsmeddelande 87:2.

- Muneer, M. & Oades, J. M. 1989. The role of Ca-Organic Interactions in Soil Aggregate Stability. III. Mechanisms and Models. *Aust. J. Soil Res.*, 27; 411-23.
- 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.
- Paul, E. A. & Clark, F. E. 1996. *Soil microbiology and biochemistry*. 2nd edition. Academic Press.
- Shanmuganathan, R. T. & Oades, J. M. 1983. Modification of Soil Physical Properties by Addition of Calcium Compounds. *Aust. J. Soil Res.*, 21; 285-300.
- Tisdall, J. M. & Oades, J. M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33; 141-163.
- Wiklander, L. 1976. *Marklära*. Lantbrukshögskolan, Uppsala.
- 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.