



*Tillståndet i svensk  
åkermark och spannmålsgröda*

jordartens betydelse för markegenskaperna,  
samband markfaktorer och elementhalter i kärna

Jan Eriksson, Bo Stenberg, Arne Andersson, Rune Andersson



*Tillståndet i svensk  
åkermark och spannmålsgröda*

jordartens betydelse för markegenskaperna,  
samband markfaktorer och elementhalter i kärna

Jan Eriksson och Arne Andersson  
Institutionen för markvetenskap  
Sveriges Lantbruksuniversitet  
Box 7014, 750 07 Uppsala

Bo Stenberg  
Institutionen för mikrobiologi  
Sveriges Lantbruksuniversitet  
Box 7025, 750 07 Uppsala

Rune Andersson  
Naturvårdsverket  
Forskningsavdelningen i Uppsala  
Box 7050, 750 07 Uppsala

**NATURVÅRDSVERKET FÖRLAG**

*Beställningsadress:*  
Naturvårdsverket  
Kundtjänst  
106 48 Stockholm  
*Tfn:* 08-698 12 00  
*Fax:* 08-698 15 15  
*E-post:* kundtjanst@environ.se  
*Internet-hemsida:* <http://www.environ.se>

ISBN 91-620-5062-1  
ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket  
*Foto omslag:* Tero Niemi, Skogstorp  
*Tryck:* Omslag, Tryckindustri. Inlaga, SLU Repro 2000  
*Upplaga:* 500 ex

# Förord

---

Med föreliggande rapport avslutas en serie av rapporter som alla haft som syfte att i olika avseenden beskriva tillståndet i den svenska åkermarken och kvaliteten på den gröda som där produceras. Tidigare rapporter är i publicerad ordning; Tillståndet i svensk åkermark (4778), Fosforupplagringen i svensk jordbruksmark (4919), Åkermarkens matjordstyper (4955), Stallgödselels innehåll av växtnäring och spårelement (4974).

Redovisningarna bygger på en analys av ca 3100 matjordsprov, 1780 alvprov och 1 100 grödprov insamlade från den svenska åkermarken vid mitten av 1990-talet. I föreliggande rapport redovisas innehållet av makronäringsämnen och spårelement i insamlade prov av höstvet, korn och havre. I och med att dessa sista analyser färdigställts har också förutsättningar getts för en mer samlad utvärdering av hur ämneshalter i matjord och alv relaterar till de koncentrationer som grödan uppvisar liksom vilka korrelationer som föreligger mellan enskilda ämnen och jordarten. Slutligen ges i rapporten en historisk tillbakablick på hur nu gällande marktillstånd relaterar till hur vi genom årtiondena gödslat och brukat markerna. Med stöd härav förs en diskussion av hur kontroll och styrning av jordbrukets växtnäringsflöden kan förbättras.

Huvudansvarig för hela studien har varit professor Arne Andersson, nu sedan ett år tillbaka professor emeritus, vid Institutionen för markvetenskap vid Sveriges lantbruksuniversitet. Docent Jan Eriksson vid samma institution har ansvarat för analyserna och har i allt väsentligt bearbetat framtagna data och producerat förekommande kartor. Professor Rune Andersson också vid samma institution men även verksam vid Naturvårdsverkets naturresursavdelning är projektets initiativtagare och har dessutom agerat kontakt och katalysator relativt Naturvårdsverkets handläggare, enhetschef Manuela Notter m fl. Agronomie doktor Bo Stenberg vid Institutionen för mikrobiologi har i denna rapport främst svarat för den multivariata dataanalys som använts för att avslöja hur de analyserade ämnena relaterar till varandra i mark och gröda.

Projektet har finansierats av Naturvårdsverket och är att betrakta som startpunkten för ett nationellt övervakningsprogram som har till uppgift att framgent följa utvecklingen i den svenska åkermarken och de livsmedel som där produceras.

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll.

Stockholm i mars 2000

Rune Andersson  
Naturvårdsverket



# Innehållsförteckning

---

Sammanfattning .....	7
Summary .....	10
Bakgrund och syfte.....	13
Material och metoder .....	14
Provtagning.....	14
Analyser .....	15
Statistisk bearbetning, karteringsmetodik.....	15
Resultat och diskussion.....	19
Halter av makronäringsämnen och spårelement i spannmålskärna .....	19
Samband mellan olika markegenskaper.....	27
Korrelationer i mineraljordar.....	27
Korrelationer i humusrika jordar .....	30
Humushalt, kvävehalt, C/N-kvot och andra markegenskaper som funktion av lerhalten .....	32
Korrelation mellan grundämneshalter i spannmålskärna och markens egenskaper och innehåll.....	35
PLS-modeller.....	35
Enkla korrelationer .....	43
Interaktioner mellan olika element i grödornas upptag .....	45
Kompletteringar av data publicerade i tidigare rapporter .....	48
Tungmetaller och avloppsslam.....	48
Jämtland och Norrbottens län .....	49
Geografisk variation i markens naturliga cesium- och strontiumhalter.....	49
Jordarternas fördelning och betydelse för växtnäringsförluster .....	52
Avslutande kommentarer .....	56
Trender i efterkrigstidens jordbruk .....	56
Metoder att förbättra styrningen av växtnäringsflödena .....	59
Förslag om journalföring, m m .....	62
Erkännande.....	63
Referenser.....	64
Kartbilaga.....	6 sidor
Appendix 1-5.....	12 sidor





# Sammanfattning

---

Denna rapport är den sista av de fyra rapporter som redovisar data från den kartering av svensk åkermark och spannmålsgrödor som i huvudsak genomfördes åren 1994 och 1995, men där även en del arkiverat material från 1992 och 1988 ingick.

I rapporten redovisas data över totalhalter av växtnäringsämnen och spårelement i 606 kärnprov av höstvetete, 327 av korn och 208 av havre. Kärnproven togs samtidigt och på samma platser som jordproven. Totalt ingår ca 3100 matjordsprov och 1780 alvprov i undersökningen, så grödprov finns från ca 1/3 av provplatserna. Markdata har redan redovisats i andra rapporter, men resultaten har här bearbetats vidare eftersom det först med alla data samlade varit möjligt att undersöka sambandet gröda-mark och sambandet mellan aktuella markkemiska egenskaper och mineraljordart.

Växtproverna analyserades på totalhalter av As, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sr V och Zn. Matjordsdata som behandlas i denna rapport innefattar: organiskt C, N och S, textur, pH, CaCO<sub>3</sub>, utbytbara baskatjoner, utbytbar aciditet, P-AL, P-HCl samt As, Pb, Cs, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Mn, Mo, Ni, Sr, V och Zn efter uppslutning i 7M HNO<sub>3</sub>, vattenlösligt B och Se efter uppslutning i kungsvatten.

Variationen i halterna av växtnäringsämnena Ca, K, Mg, P, Cu, Mn och Zn är generellt mindre än för de andra ämnena. Havre innehåller i medeltal betydligt mer Ni (1,25 mg kg<sup>-1</sup>) än höstvetete (0,19 mg kg<sup>-1</sup>) och korn (0,07 mg kg<sup>-1</sup>). Havre har även högre halter än de andra grödorna av flera andra spårelement. Högst Cd-halt fann vi dock i höstvetekärna där medelhalten var 0,044 mg kg<sup>-1</sup> mot 0,019 mg kg<sup>-1</sup> i kornkärna och 0,036 mg kg<sup>-1</sup> i havrekärna. I alla tre grödorna fanns en stark korrelation mellan Mg- och P-halter.

Jämförelse av ämneshalterna i tre olika årgångar av skånskt höstvetete, visar att elementhalterna varierar med årsmånen. Kadmiumhalten var lägst under ett år med torr sommar. Denna tendens som konstateras även i andra undersökningar tycks inte gälla i någon högre grad för andra spårelement

Regionalt varierar halterna av makronäringsämnena Ca, K, Mg och P relativt lite i höstvetete- och kornkärna. I havrekärna tenderar Mg-halterna att stiga mot norr. Spårelementen visar generellt en större geografisk variation än makronäringsämnena. Kadmiumhalterna i vete är högst i sydvästra och sydöstra Skåne och i slättbygderna i östra Mellansverige. I havre är Cd-halterna lägst i Götalands slättbygder och högst i Norrland. Mönstret för havre kan vara betingat av pH-skillnader; många av Norrlandsjordarna är relativt sura. Regionala skillnader kan också delvis bero på skillnader i sortanvändning och i lokala väderbetingelser.

Preliminär principalkomponentanalys av hela datamaterialet visade att mönstren i sambanden mellan olika markegenskaper hos matjorden skilde sig mellan humusfattigare och humusrikare jordar. Brytpunkten låg vid ungefär 12 % humushalt.

I mineraljordar med upp till och med 12 % humushalt fanns ett stark samvariation mellan lerhalt och halterna av Co, Cr, Cs, Cu, Ni, Pb, Sr, V och Zn samt utbytbart Mg, där lerhalten förmodligen är den styrande variabeln. De aktuella spårelementen anrikas i lerfraktionen under jordmånsbildningen, men den aktuella extraktionsmetoden (7M HNO<sub>3</sub>) förstärker troligen sambandet eftersom spårelementen extraheras effektivare från finkorniga jordar.

Matjordens C-, N- och S-halter samvarierar starkt eftersom alla är byggstenar i det organiska materialet. Även Se, Hg och Cd är relativt starkt korrelerade till de humusrelaterade variablerna, men i övrigt är sambanden mellan humus och andra markvariabler relativt svaga i dessa jordar. Den effektiva katjonbyteskapaciteten (CEC<sub>eff</sub>) styrs mer av lerhalt än av humushalt när urvalet begränsas till jordar med ≤ 12 % humushalt.

Även variabler som är relaterade till markens kalktillstånd som basmättnadsgrad, pH och utbytbar aciditet är starkt inbördes korrelerade. Också utbytbart Ca är korrelerat till dessa variabler, bland annat på grund av att Ca tillförs när pH höjs genom kalkning. Lättlöslig fosfor (P-AL) och förrådsfosfor (P-HCl) är inbördes korrelerade (r=0,49), och det finns också ett samband mellan Cd och P-HCl som kan bero på den tidigare tillförseln av Cd med P-gödselmedlen. Sambanden mellan P och andra markvariabler är svaga.

För jordar med mer än 12 % humus i matjorden förstärks vissa av de korrelationer som också finns i de humusfattiga jordarna. Den effektiva katjonbyteskapaciteten bestäms i högre grad av humushalten. Att CEC<sub>eff</sub> är starkare korrelerad till N- än till C-halt antyder att den ökar med ökande omsättningsgrad (C/N-kvoten sjunker med ökad omsättningsgrad). Kalciumhalten är mycket starkt positivt korrelerad till CEC<sub>eff</sub> (r=0,98). Bor och Sr är positivt korrelerade till pH, CEC<sub>eff</sub> och Ca, Se och Hg till humus samt Cd till humus och ler.

Vid varje lerhaltsnivå är det en stor variation i matjordens humushalt, men generellt ökar den som funktion av lerhalten. Det tycks också finnas en markerad nedre gräns för hur långt humushalten med nuvarande odlingssystem kan sjunka genom t ex "bortodling". Denna minimihumushalt är ca 1,3 % i en svagt lerig sandjord och ca 2,6 % i en lerjord med 50 % ler. Troligtvis är förklaringen att stabilisering av humusen genom lerorganiska komplex mm ökar med lerhalten.

Sambandet mellan halten av makronäringsämnena Ca, K, Mg och P i kärna och matjordens egenskaper är svagt. Inte ens korrelationen mellan halt av ett och samma ämne i kärna och i mark är särskilt stark, troligen på grund av att låga nivåer i marken av dessa ämnen korrigeras genom gödsling och kalkning. För spårelementen är sambandet markgröda något starkare, men ändå inte tillräckligt för att med hjälp av enbart markdata förutsäga halterna i grödan på en enskild plats med någon säkerhet. Kadmiumhalten i höstvetete och havre är positivt korrelerad till matjordens Cd-nivå och negativt korrelerad till pH och Mn-halt. Kadmiumhalten i kornkärna är relativt oberoende av matjordens egen-

skaper. Koppar, Ni och Co är de spårelement i kärna som är starkast (positivt) korrelerade till lerhalten. Mangan, Zn (negativt) och Mo (positivt) är starkast korrelerade till pH eller pH-relaterade markvariabler. Matjordens humushalt har generellt litet inflytande på ämneshalterna i kärna.

Det fanns tecken på antagonistiska effekter mellan olika ämnen i grödornas upptag. Kaliumupptaget minskade med ökande Mg/K-kvot i marken. Samma effekt fanns av K/Ca-kvot på Ca, Ca/Mg-kvot på Ca, Cd/Zn-kvot på Zn och Cu/Mo-kvot på Mo. Endast för Ca-Mg var effekten ömsesidig i den meningen att Mg/Ca-kvot också tydligt påverkade Mg-upptag. En tydlig tendens till minskad Cd-halt i grödan med ökande Zn/Cd-kvot i marken fanns bara i vete. En minskande halt i grödan av Cs med ökande halt utbytbar K i marken kunde också påvisas. Samma typ av samband fanns också mellan Sr och utbytbar Ca.

Under efterkrigstiden har en medveten uppgödsling med fosfor gett ett buffertlager av förrådsfosfor (P-HCl) som i genomsnitt motsvarar ca 600 kg ha<sup>-1</sup>. I djurtäta områden på t ex sydsvenska höglandet med randområden uppgår buffertförrådet till ca 1000 kg ha<sup>-1</sup> eller mer. Här bör man övergå till en fosfortillförsel som enbart ersätter bortförsel i grödor och genom utlakning. På brukningsenheter med de största fosfordepåerna kan man t o m tära på förråden genom tillföra mindre än vad som svarar mot bortförseln.

Någon nämnvärd minskning av kväveutlakningen verkar inte ha skett. Fortfarande tillför man kväve med handelsgödsel utan att beakta vad som samtidigt tillförs med stallgödsel. Troligen är det så att om man vill uppnå en minskad mängd ut från ett öppet system som åkermarken måste man först minska mängden in i systemet d v s minska kvävegivorna. Något sådant har emellertid inte skett.

Mycket av växtnäringsläckaget från åkermarken synes bero på oförmågan att rätt dosera stallgödselgivorna. Detta i sin tur kan delvis bero på att stallgödseln inte fördelas jämnt över arealen, men framförallt är nog skälet att man inte känner till vilka halter av växtnäring och spårelement stallgödseln innehåller, eftersom det görs för få analyser. Vill man ha ett miljövänligt jordbruk räcker det inte med spridningsmetoder som ger avsedd mängd stallgödsel per arealenhet eftersom innehållet av växtnäring varierar med driftsformen. Man måste övergå till metoder som ger rätt mängd kväve och fosfor på den enskilda brukningsenheten, d v s som är baserade på analysdata.

# Summary

---

This is the last of four reports presenting data from a survey of Swedish agricultural soils. Most of the sampling was carried out during the years 1994 and 1995, but samples collected in 1988 and 1992 were also analysed.

The report presents data on total contents of plant nutrients and trace elements in 606 grain samples of winter wheat, 327 of barley and 208 of oats. The grain samples were collected at a number of the sites where 3100 plough layer (0-20 cm) and 1780 subsoil (40-60 cm) samples were taken. Soil data have already been presented in other reports, but were used here to investigate the relationship between soil properties and elemental composition of the grains and between soil chemistry and texture.

Grain samples were analysed for total contents of As, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sr V and Zn. Soil data (plough layer) treated in this report include: As, Pb, Cs, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Mn, Mo, Ni, Sr, V and Zn after digestion in 7M HNO<sub>3</sub>, water soluble B, Se after digestion in *aqua regia*, organic C, N and S, texture, pH, CaCO<sub>3</sub>, exchangeable base cations and acidity, ammonium-lactate and HCl-soluble P.

Variations in grain contents of plant nutrients such as Ca, K, Mg, P, Cu, Mn and Zn were generally less than for other elements. Oat grain contained considerably more Ni (1.25 mg kg<sup>-1</sup>) than winter wheat (0.19 mg kg<sup>-1</sup>) and barley (0.07 mg kg<sup>-1</sup>). Oats also had higher levels of many other trace elements than the other crops. The highest Cd contents were found in grains of winter wheat which contained 0.044 mg kg<sup>-1</sup>, as compared to 0.019 mg kg<sup>-1</sup> in barley and 0.036 mg kg<sup>-1</sup> in oats. In all three crops there was a strong correlation between Mg and P contents.

The contents of elements in winter wheat varied between the three years of sampling. Cadmium contents were lowest in a year with a dry summer. This tendency, which has also been reported in other investigations, could not be detected for other elements.

Contents of the macro-nutrients Ca, K, Mg and P in grains of winter wheat and barley varied relatively little on a regional scale. Mg contents in oats tended to increase to the north. Trace element contents generally showed a larger geographic variation than those of macro-nutrients. Cadmium contents in wheat were highest in south-western and south-eastern Skåne and in the plains in eastern part of central Sweden. Cadmium contents in oats were lowest in plain districts in Götaland and highest in Norrland. This pattern for oats may be due to pH differences. Many of the soils in Norrland were relatively acid. Regional differences may also be due to differences in choice of cultivars and local weather conditions.

Preliminary principal component analysis of the whole data set showed that the patterns in the relationships between soil properties were different for soils with a relatively low

humus content as compared to more humus-rich soils. The break point was at about 12 % humus content.

In mineral soils with 12 % humus or less, clay content, contents of Co, Cr, Cs, Cu, Ni, Pb, Sr, V, Zn and exchangeable Mg were strongly positively correlated, presumably with clay as the independent variable. Trace elements accumulate in the clay fraction during soil formation. However the relationship may appear stronger than it is in reality as the extraction method used (7M HNO<sub>3</sub>) is most efficient on fine textured soils.

Carbon, N and S contents were strongly intercorrelated as these elements are main components of the organic matter. Selenium, Hg and Cd were also relatively strongly correlated to humus-related variables, but otherwise the correlations between humus content and other soil variables were rather poor. The efficient cation exchange capacity (CEC<sub>eff</sub>) was determined more by clay content than by humus content in soils containing ≤ 12 % humus.

Variables related to the lime status such as base saturation, pH and exchangeable acidity were strongly correlated to each other. Exchangeable Ca was also correlated to these variables, one probable reason being the supply of Ca when soils are limed. Easily soluble P (P-AL) and hydrochloric acid soluble P (P-HCl) levels were correlated ( $r=0.49$ ), and there was also a correlation between Cd and P-HCl that may be due to previous additions of Cd in P-fertiliser.

Some of the correlations found in the less humus-rich soils were even stronger in soils containing more than 12 % humus. The effective cation exchange capacity was more strongly correlated to humus content. The fact that CEC<sub>eff</sub> was more strongly correlated to N than to organic C content indicates that it increases with increasing degree of decomposition of the humus (decreasing C/N ratio). Exchangeable Ca was very strongly correlated to CEC<sub>eff</sub> ( $r=0.98$ ). Boron and Sr were positively correlated to pH, CEC<sub>eff</sub> and Ca; Se and Hg to humus content and Cd to humus and clay contents.

At each level of clay content there was a large variation, but in general the humus content of the plough layer tended to increase with clay content. There also seems to be a marked lower limit for the humus content, presumably specific for the present farming system. This minimum humus content was approx. 1.3 % in a clay-free sandy soil and approx. 2.6 % in a clay soil with 50 % clay. This effect is probably explained by increasing stabilisation of the humus by, for example, clay-organic complexes when clay content increases.

The correlations between contents of Ca, K, Mg and P in grain and soil properties were rather weak. This was true also for the direct correlation between contents in grain and content in soil of a specific element, the probable explanation being that low levels of macro-nutrients are regulated by fertilisation and liming. For trace elements, the relationship between soil and crop was slightly stronger, but still not strong enough to permit a reliable prediction of contents in grains using only soil data. Cadmium contents in winter wheat and oats were positively correlated to the Cd-level and negatively correlated to pH and Mn content in the plough layer. Copper, Ni and Co were the trace elements in grain that were most strongly (positively) correlated to clay content. Manga-

nese, Zn (negatively) and Mo (positively) were most strongly correlated to pH or variables related to pH. The soil humus content had generally little influence on the concentrations of elements in grain.

There were signs of antagonistic effects between different elements in crop uptake. Potassium uptake decreased with increasing soil Mg/K ratio. A similar effect was also found for K/Ca ratio on Ca, Ca/Mg ratio on Ca, Cd/Zn-ratio on Zn and Cu/Mo ratio on Mo uptake. Only for Ca-Mg was the effect mutual, in the sense that the soil Mg/Ca ratio also clearly affected Mg uptake. A clear tendency to decreased Cd content in the crop with increasing soil Zn/Cd ratio was only found in wheat. Caesium content in the crop decreased with increasing soil exchangeable K and the same kind of relationship was found for Sr versus exchangeable Ca.

During the post-war period, there has been a deliberate surplus fertilisation with phosphorus which has led to a buffer pool of P (P-HCl) on average corresponding to approx. 600 kg ha<sup>-1</sup>. In animal intensive areas in the highland areas in south Sweden and surroundings, the buffer pool was calculated to 1000 kg ha<sup>-1</sup> or more. In these areas the P supply should be restricted to replacement of that removed in crops and lost by leaching. On farms with the largest phosphorus pools it is even recommendable to decrease the soil P-levels by supplying less P than is removed.

Nitrate leaching does not appear to have decreased in recent years. Generally fertiliser N is still supplied without adjustment of doses for amounts supplied in manure. It seems reasonable that in an open system like the arable soils, a decreased output in the long-term cannot be achieved without a decrease in the input. However, such a decrease in total input has not taken place.

A large part of plant nutrient leaching from arable soils appears to be due to difficulties in applying appropriate doses of manure. One reason may be that manure is not evenly spread over the available land, but the main reason is probably that the exact amounts of plant nutrients and trace elements in the manure are not known, as they are rarely analysed. In an environmentally sound farm practice, it is not enough only to consider the total amount of manure supplied, as the plant nutrient content varies considerably with type of animal production. It is necessary to change to practices that supply nitrate and phosphorus doses appropriate for each single farm, *i.e.* practices based on analyses of the manure used.

# Bakgrund och syfte

---

År 1995 startade en systematisk, rikstäckande kartering av åkermarken med syftet att tillgodose i första hand myndigheternas behov av tillförlitliga, aktuella och jämförbara data rörande tillståndet i svensk åkermark på nationell nivå. Provtagningstätheten var dock sådan att undersökningen ger relativt detaljerad information också från de större jordbrukslänerna. Undersökningen innefattade också grödprov i form av stråsådeskärna som togs från en del av provplatserna för jordprovtagningen. Tillgång till relevanta markdata är en förutsättning för god precision i modellberäkningar, regelverk och eventuella åtgärdsprogram som rör jordbrukets inverkan på ytvattensystemen och på grödornas och livsmedlens kvalitet. Karteringen var det första steget i ett planerat rullande miljöövervakningsprogram där provtagning i fasta punkter skall utföras med 10 års mellanrum. Det andra omdrevet i provtagningen beräknas starta under år 2001.

Merparten av de markdata som tagits fram inom ramen för den genomförda karteringen presenterades i Naturvårdsverkets rapport 4778 "Tillståndet i svensk åkermark" (Eriksson *et al.*, 1997). Jordartsdata, som ej fanns tillgängliga när den första rapporten skrevs, publicerades senare i "Åkermarkens matjordstyper" (Eriksson *et al.*, 1999). En annan rapport, som har sin utgångspunkt i markkarteringen, innehåller en fördjupad studie av fosforupplagringen i åkermarken, där karteringsdata, resultat från andra fosforstudier och statistik över användningen av handelsgödsel och stallgödsel vägs ihop. I en separatundersökning har också stallgödselns sammansättning undersökts (Steineck *et al.*, 1999).

Målsättningen med föreliggande arbete är att redovisa återstående data från den rikstäckande markkarteringen och lyfta fram de samband och korrelationer som finns i det samlade materialet. Detta innefattar redovisning av innehållet av viktiga makronäringsämnen och spårelement i kärnprov av höstvet, korn och havre, som togs i ca 1/3 av de aktuella provtagningspunkterna, och studier av sambandet mellan grödornas ämnessammansättning och olika markegenskaper. Vidare diskuteras samband mellan mineraljordart och övriga undersökta markvariabler, som tidigare redovisats var för sig i olika rapporter.

# Material och metoder

---

## Provtagning

Det kompletta provtagna materialet som redovisas i denna och tidigare utkomna rapporter innefattar 3146 matjordsprov (0-20 cm) och 1813 alvprov (40-60 cm) samt 606, 327 och 208 kärnprov av höstvetete, korn respektive havre.

Jordprovtagningen, koordinatsättning m m beskrivs i Eriksson *et al.* (1997). I den undersökningen ingick prover som tagits under perioden 1988-1995, merparten dock under 1994-1995. År 1997 gjordes en kompletterande jord- och grödprovtagning i Jämtlands och Norrbottens län eftersom antalet prover från dessa län blivit för få i det tidigare provtagningsprogrammet. Därför rapporteras i föreliggande arbete 39 fler jordprov än vad som var fallet i Eriksson *et al.* (1997). Den kompletterande provtagningen i Jämtland innefattade bara det sk skördeområde (2311) som ligger runt Storsjön (SCB, 1997a). Skördeområde 2311 har 58% av åkerarealen men 68 % av proverna från Jämtland togs här, och området är därför en aning överrepresenterat på bekostnad av skördeområdena 2319 och 2331. I Norrbotten provtogs de två skördeområdena (2511 och 2512) som sträcker sig 10-15 mil inåt landet från kusten. Eftersom merparten av åkermarken ligger i detta område är urvalet ändå i stort sett jämnt fördelat över länets åkermark

Kärnproven samlades in samtidigt med jordproven, och är liksom jordproven tagna vid olika tidpunkter, eftersom en del arkivmaterial från tidigare undersökningar av kadmium i åkermark använts i denna undersökning. Havrekärna provtogs redan 1988 och vid denna tidpunkt togs även ca 125 prov av höstvetekärna. Provtagningarna fördelades över hela landets åkerareal, för höstvetets del dock begränsat till den del av landet där denna gröda odlas (se vidare; Eriksson, 1990a). Ytterligare ca 200 kärnprov av höstvetete jämnt fördelade över arealen med denna gröda togs 1992 i Skåne. År 1995 togs ytterligare ca 280 höstveteprov och ca 325 prov av kornkärna. Denna provtagning utfördes, liksom de tidigare, av SCB på de provplatser som valts ut för den objektiva skördeuppskattningen. År 1995 gjordes den objektiva skördeuppskattningen bara i vissa utvalda skördeområden i varje län. Inom varje skördeområde fördelades provplatserna jämnt över åkerarealen, men sett till den totala arealen jordbruksmark i varje län eller region var fördelningen mer ojämn än i de tidigare provtagningarna. Grödproven är av denna anledning och på grund av att antalet prover är relativt få inte lika representativa för hela åkerarealen som jordproven. I den kompletterande provtagningen i Jämtlands och Norrbottens län 1997 ingick ytterligare 37 prov av kornkärna.

Grödproven togs genom att ax klipptes av i en 1-2 m<sup>2</sup> stor delyta mitt i provytan för jordprovtagning. Proven förvarades i linnenäddar i väntan på tröskning. Prov med för hög vattenhalt torkades i de enkla provtorkar som SCB:s fältpersonal har tillgång till. Dessa har en liten fläkt för luftväxling och en värmespiral som värmer torkluften en aning. Tröskning av grödproven utfördes vid Provcentralen, SLU.



## Analyser

Analyserna av jordprov och kvalitetskontroll för dessa beskrivs i Eriksson *et al.* (1997; 1999). Utbytbara katjoner och utbyttbar aciditet bestämdes efter extraktion med 0,1M BaCl<sub>2</sub>, medan halt av spårelement bestämdes efter uppslutning i 7M HNO<sub>3</sub>. Uppslutningen i HNO<sub>3</sub> förmår ej lösa upp allt jordmaterial och de uppmätta halterna är därför ej totalhalter. Humushalt har beräknats från halt organiskt kol under antagandet att humusen innehåller 58 % kol. Uppdelning av mineraljordarten följer i korrelationsmatriser och multivariat analys internationell indelning av finjorden i sand (2-0,06 mm), silt (0,06-0,002 mm) och ler (<0,002 mm). Det som benämns sand innefattar alltså både sand och grovmo enligt svensk terminologi baserad på Atterbergs korngruppskala, medan silt innefattar finmo och mjåla. Se vidare Eriksson *et al.* (1999).

Kärnproven uppslöts med konc. HNO<sub>3</sub> i mikrovågsugn. På de uppslutna proven bestämdes totalhalterna av Ca, Mg, K, P, Co, Sr och V med ICP-AES (optisk emissionspektrometri med induktivt kopplad plasma). Cs bestämdes med ICP-MS (masspektrometri med induktivt kopplad plasma). As (efter hydridgenerering), Cu, Cd, Cr, Mn, Mo, Ni, Pb och Zn bestämdes med en kombination av ICP-AES och ICP-MS. Vilken ICP-teknik som användes för varje enskilt prov bestämdes av dess haltnivå. I flertalet fall låg halterna av As, Cr och Pb under detektionsgränserna.

I varje serie med kärnprov ingick ett antal för laboratoriet okända kontrollprover som var delprover av kärnprov som även används som kontrollprov vid analyser vid Inst. för markvetenskap. Kontrollprovets position i provserien bestämdes med slumpalsgenerator. I genomsnitt fanns ett kontrollprov per ungefär vart 50:e prov. Tabell 1 visar statistik över de värden som SLU:s kontrollprov gav. Den relativa standardavvikelsen (RSD) är generellt låg och antyder bra analyskvalitet. Det förhöjda RSD-värdet för V i höstvetete beror troligen på att kontrollprovets halt av detta ämne var nära detektionsgränsen på 0,001 mg kg<sup>-1</sup>. De högre RSD-värdena för Cu, Ni, Pb och V i korn beror på att lite högre halter än genomsnittet uppmättes i de två kontrollprover som låg inlagda i provserien vid analys av de prov som togs i Jämtlands och Norrbottens län 1997. För Pb var värdena dessutom nära detektionsgränsen på 0,04 mg kg<sup>-1</sup>.

## Statistisk bearbetning, karteringsmetodik

Multivariat dataanalys har använts för att möjliggöra en förenklad samlad presentation och tolkning av det stora datamaterial som tagits fram i projektet. "Principal component analysis" (PCA) användes för att studera de inbördes förhållandena mellan markvariablerna och "partial least square regressions" (PLS) användes för att studera sambanden mellan markvariabler och upptaget av växtnäringsämnen och spårelement i den växande grödan. En mer ingående beskrivning av principerna för multivariat analys finns i Appendix 1.

Den multivariata dataanalysen utfördes med mjukvaran Unscrambler<sup>®</sup> 7.5 (CAMO A/S, Trondheim Norge). För att ge alla variabler samma potentiella inflytande i de multiva-

Tabell 1. Statistik för SLU:s kontrollprover vid analys av kärnprov. RSD = Relativ standardavvikelse

Table 1. Results of statistical analyses of control samples in grain analysis. RSD = Relative standard deviation

	As	Ca	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	K	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Sr	V	Zn
<b>Höstvete:</b>																	
Antal	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Min värde	<0,03	343	0,022	0,0022	<0,05	0,0033	2,6	4140	1000	15,7	0,64	<0,05	2740	<0,04	3,4	0,0010	17
Max värde	<0,03	410	0,027	0,0027	<0,05	0,0041	3,0	4570	1140	18,0	0,69	0,062	3330	<0,04	3,8	0,0017	20
Medelvärde	<0,03	377	0,024	0,0025	<0,05	0,0037	2,8	4357	1048	16,8	0,66	-	2965	<0,04	3,5	0,0013	18
Stdav,	-	22	0,002	0,0002	-	0,0003	0,1	181	56	0,8	0,02	-	243	-	0,1	0,0004	1
RSD (%)	-	6	8	7	-	8	5	4	5	5	3	-	8	-	4	28	5
<b>Korn:</b>																	
Antal	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Min värde	<0,03	395	0,014	0,0038	<0,05	0,0017	4,8	5490	1160	9,9	0,62	0,056	3990	0,041	1,34	0,0040	32,3
Max värde	0,047	444	0,018	0,0043	0,09	0,0027	7,2	6300	1380	11,1	0,71	0,095	4400	0,130	1,76	0,0066	36,1
Medelvärde	-	420	0,016	0,0040	-	0,0022	5,6	5811	1236	10,6	0,67	0,069	4117	0,067	1,60	0,0051	34,2
Stdav,	-	19	0,001	0,0002	-	0,0003	0,8	259	79	0,4	0,03	0,013	145	0,031	0,14	0,0010	1,5
RSD (%)	-	5	9	5	-	14	14	4	6	4	5	20	4	47	9	20	4
<b>Havre:</b>																	
Antal	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Min värde	<0,03	858	0,023	0,023	<0,05	0,0060	4,1	4730	1430	33,8	1,87	1,94	4110	<0,040	2,15	0,0050	34,8
Max värde	<0,03	936	0,030	0,026	<0,05	0,0065	4,8	5260	1570	37,6	2,22	2,24	4580	0,041	2,88	0,0063	38,3
Medelvärde	<0,03	891	0,026	0,025	<0,05	0,0062	4,5	4934	1492	35,8	2,08	2,12	4292	-	2,60	0,0057	36,7
Stdav,	-	30	0,003	0,001	-	0,0002	0,3	210	50	1,4	0,13	0,12	182,4	-	0,28	0,0005	1,5
RSD (%)	-	3	11	4	-	3	6	4	3	4	6	6	4	-	11	8	4

riata modellerna, oberoende av enhet, viktades variablerna genom att dividera dem med respektive standardavvikelse.

Endast variabler vars variation förklarades till minst 50% av PCA-modellerna är inkluderade i de slutliga modellerna. Antalet principalkomponenter som extraherades begränsades till det antal där fortfarande mer än en variabel förklarades av respektive komponent, eftersom en variabel som ensam upptar en komponent inte relaterar till någon annan.

För att finna den PLS-modell som bäst beskriver halten av ett visst element i grödan plockades markvariabler med litet eller negativt inflytande på beskrivningen av elements halt bort en efter en. PLS-modellernas prediktiva förmåga validerades genom korsvalidering i femtio segment (Appendix 1).

Vid den statistiska bearbetningen av samband mellan olika markvariabler behandlades jordar med humushalt under respektive över 12 % separat. En preliminär PCA-analys på samtliga drygt 3000 matjordsprov visade en naturlig brytpunkt vid denna nivå, då jordar med mer än 12 % humushalt avvek från en relativt samlad grupp bestående av de övriga jordarna. Detta orsakade obalans i modellerna med en stor andel oförklarad variation som följde.

Eftersom ämneshalter ofta har en skev fördelning har de flesta variabler som ingått i multivariat analys och korrelationer transformerats så att de blivit mer normalfördelade.

Markvariabler har transformerats enligt följande:

Log-transformering: As, B, Pb, Cs, Cd, Co, Cu, Cr, Hg, Mn, Mo, Ni, Se, Sr, V, Zn, P-AL, P-HCl, Ca, Mg, K, Na, utbytbar aciditet (acid.), effektiv katjonbyteskapacitet (CEC-eff), C/humus; N, S och C/N-kvot samt Mg, K och Na angivna som procent av CECeff

Kvadratrots-transformering: ler- och silthalt

Ej transformerade: pH, CaCO<sub>3</sub>, effektiv basmättnadsgrad (BSeff), och sandhalt samt Ca angivet som procent av CECeff

Grödvariabler har transformerats enligt följande:

Log-transformering: As, Ca, Co, Cs, Mn, Mo, Ni, Pb och V

Kvadratrots-transformering: Cd, Cu, K, Sr och Zn

Ej transformerade: Mg och P

Av utrymmesskäl anges ej minsta signifikanta korrelation i tabellerna med korrelationsmatriser. Vilken den minsta signifikanta korrelation är för de olika storlekar på dataset som är aktuella i föreliggande rapport framgår av Tabell 2.

De interpolerade kartorna framställdes enligt metodik beskriven i Eriksson *et al.* (1997). Vid interpoleringen beräknades värden i 10 x 10 km rutor med en sökradie på 25 km.

Tabell 2. Minsta korrelationskoefficient (r) som är signifikant på 5%-nivån vid olika antal observationer

Table 2. Least correlation coefficient (r) that is significant at the 5% level at different numbers of observations

---

200 observationer: $r \geq 0,14$	500 observationer: $r \geq 0,09$
300 observationer: $r \geq 0,12$	3000 observationer: $r \geq 0,04$

---

# Resultat och diskussion

---

## Halter av makronäringsämnen och spårelement i spannmålskärna

Tabellerna 3-5 visar halter av makronäringsämnen och spårelement i de tre provtagna grödorna. Eftersom växtprovtagningen, som framgår av Material och metoder inte är arearepresentativ på samma sätt som jordprovtagningen, ger data från växtmaterialet inte en lika tillförlitlig bild över åkermarkens tillstånd som de från jordproven.

Tabell 3 visar sammanslagna data från de tre årgångarna av höstvetekärna. Eftersom höstveteprov togs under tre olika år täcker data i denna tabell i viss mån in årsmånsvariationen i vetets halter. Observera dock att 1992 års provtagning endast innefattade Skåne. I alla de tre provtagna grödorna är variationen i halterna av viktiga växtnärsämnen som Ca, Mg, K, P, Mn, Cu och Zn mindre än för övriga element (Tabellerna 3-5). Detta visas t ex av att medel- och medianvärden är nästan lika för växtnärsämnena, medan medelvärdena för övriga ämnen alltid är signifikant högre än medianvärdena på grund av en log-normal fördelning av mätvärdena. Att variationen är mindre för växtnärsämnena beror sannolikt på gödsling och att växten själv reglerar upptaget av dessa ämnen på ett effektivt sätt.

Havre innehåller ungefär dubbelt så mycket Ca som höstvete och korn (Tabell 6). Höstvete har något lägre halter av K och P än havre och korn och Cd-halterna är lägst i korn och högst i höstvete. Havre har högre halter av flera spårelement än de andra sädesslagen. Speciellt markant är detta för Ni, men det gäller även för Co, Cs, Mn och Pb. Skillnaden i elementhalter mellan grödor är troligen i första hand genetiskt betingade. Det finns dock också vissa skillnader i markegenskaper mellan de jordar där vete-, korn- respektive havrekärna provtogs (Tabell 7). Halter av olika element skiljer sig relativt lite mellan jordarna. Havrejordarnas något lägre pH och lerhalt kan dock innebära högre växttillgänglighet för flertalet spårelement. Å andra sidan är humushalten högre i havrejordarna vilket ofta innebär minskad tillgänglighet.

En jämförelse med de data som redovisas av Svanberg (1971) tyder inte på några stora förändringar i stråsådeskärnans halter av Ca, Mg, P, K, Cu, Mn och Zn sedan slutet av 1960-talet. Svanbergs data baseras på kärnprover från jordbruksförsök som analyserades vid dåvarande SLL. Vissa små skillnader finns för enstaka ämnen i någon av grödorna, men jämförelsen är vanskelig eftersom Svanberg bara anger en siffras noggrannhet i makroämneshalter och ett intervall för spårelementen. Möjligen kan Zn-halten i grödorna ha ökat något eftersom de genomsnittliga halterna på 27, 33 och 37 mg kg<sup>-1</sup> ts i höstvete, korn respektive havre är i överkant av eller över det intervall på 20-30 mg kg<sup>-1</sup> ts som Svanberg anger för kärna av stråså.

Tabell 3. Elementhalter (ts) i höstvetekärna. Data från de tre provtagningsomgångarna sammanslagna

Table 3. Concentrations (dw) of elements in grains of winter wheat. Pooled data from three sampling occasions

	Ca	K	Mg	P	As	Cd	Co	Cr	Cs
	mg kg <sup>-1</sup>								
Antal	606	606	606	606	606	606	606	606	606
Min. värde	264	3450	867	1732	<0,03	0,007	<0,001	<0,05	<0,001
Max. värde	696	6308	1880	5516	0,08	0,229	0,0878	0,22	0,0586
Medelvärde	412	4710	1240	3631	<0,03	0,044	0,0052	<0,05	0,0037
Stdav.	70	421	134	466	-	0,025	0,0068	-	0,0043
Percentiler:									
5 %	311	4090	1030	2838	<0,03	0,017	0,0017	<0,05	<0,001
10 %	326	4200	1077	3005	<0,03	0,020	0,0020	<0,05	<0,001
25 %	365	4431	1151	3338	<0,03	0,027	0,0025	<0,05	0,0015
50 %	403	4668	1231	3667	<0,03	0,038	0,0033	<0,05	0,0026
75 %	452	4947	1330	3943	<0,03	0,054	0,0053	<0,05	0,0044
90 %	502	5273	1400	4164	<0,03	0,072	0,0088	<0,05	0,0075
95 %	543	5473	1449	4316	<0,03	0,088	0,0137	<0,05	0,0105
Antal under detektionsgr.	0	0	0	0	587	0	3	600	83

	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sr	V	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>							
Antal	606	606	606	606	606	606	606	606
Min. värde	1,28	5,8	0,12	<0,05	<0,04	0,1	<0,001	14
Max. värde	6,91	110,4	18,31	1,88	0,16	6,3	0,0248	72
Medelvärde	3,89	30,0	1,16	0,19	<0,04	2,2	0,0020	27
Stdav.	0,91	11,9	1,32	0,18	-	0,8	0,1208	8
Percentiler:								
5 %	2,29	15,0	0,27	<0,05	<0,04	1,2	<0,001	18
10 %	2,64	17,4	0,34	<0,05	<0,04	1,4	<0,001	19
25 %	3,31	21,6	0,47	0,08	<0,04	1,7	<0,001	22
50 %	3,98	28,1	0,78	0,14	<0,04	2,1	0,0014	26
75 %	4,51	35,9	1,30	0,23	<0,04	2,6	0,0020	30
90 %	4,94	44,4	2,24	0,38	<0,04	3,2	0,0037	36
95 %	5,25	52,4	3,38	0,48	0,051	3,6	0,0052	40
Antal under detektionsgr.	0	0	0	77	554	0	166	0

Tabell 4. Elementhalter (ts) i kornkärna

Table 4. Concentrations (dw) of elements in grains of barley

	Ca	K	Mg	P	As	Cd	Co	Cr	Cs
	mg kg <sup>-1</sup>								
Antal	327	327	327	327	327	327	327	327	327
Min. värde	274	3765	854	2659	<0,03	0,002	<0,001	<0,05	<0,001
Max. värde	1148	10689	1798	5408	0,091	0,076	0,1556	0,183	0,0313
Medelvärde	447	5998	1278	4062	(0,020)	0,019	0,0051	<0,05	0,0035
Stdav.	87	737	123	494	(0,013)	0,014	0,0101	-	0,0037
Percentiler:									
5 %	334	4930	1108	3188	<0,03	0,005	<0,001	<0,05	<0,001
10 %	354	5158	1132	3405	<0,03	0,006	0,0013	<0,05	<0,001
25 %	387	5571	1196	3758	<0,03	0,009	0,0019	<0,05	0,0013
50 %	441	5969	1272	4109	<0,03	0,015	0,0030	<0,05	0,0022
75 %	496	6390	1361	4409	<0,03	0,024	0,0055	<0,05	0,0048
90 %	535	6789	1424	4653	0,040	0,037	0,0097	<0,05	0,0072
95 %	587	7122	1491	4809	0,051	0,045	0,0134	0,058	0,0097
Antal under detektionsgr.	0	0	0	0	275	0	17	309	60

	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sr	V	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>							
Antal	327	327	327	327	327	327	327	327
Min. värde	1,35	6,5	0,08	<0,05	<0,04	0,6	<0,001	12
Max. värde	9,71	44,2	12,01	0,89	0,221	5,9	0,2361	78
Medelvärde	4,72	16,7	1,11	0,07	<0,04	2,0	0,0043	33
Stdav.	1,42	5,1	1,13	0,09	-	0,8	0,0154	10
Percentiler:								
5 %	2,71	10,3	0,23	<0,05	<0,04	1,0	0,0012	19
10 %	3,14	11,2	0,30	<0,05	<0,04	1,1	0,0014	21
25 %	3,67	13,2	0,47	<0,05	<0,04	1,4	0,0018	26
50 %	4,64	15,8	0,82	<0,05	<0,04	1,8	0,0023	32
75 %	5,51	19,5	1,34	0,09	<0,04	2,4	0,0034	39
90 %	6,48	22,9	2,27	0,16	0,061	3,0	0,0054	46
95 %	7,20	25,6	2,82	0,20	0,095	3,5	0,0076	49
Antal under detektionsgr.	0	0	0	167	272	0	6	0

Tabell 5. Elementhalter (ts) i havrekärna

Table 5. Concentrations (dw) of elements in grains of oats

	Ca	K	Mg	P	As	Cd	Co	Cr	Cs
	mg kg <sup>-1</sup>								
Antal	208	208	208	208	207	208	208	208	208
Min. värde	582	3773	862	2473	<0,03	0,002	0,003	<0,05	<0,001
Max. värde	1294	7343	2006	5931	0,278	0,505	0,312	0,720	0,0818
Medelvärde	883	5272	1352	4163	<0,03	0,036	0,017	<0,05	0,0112
Stdav.	134	583	181	514	-	0,042	0,033	-	0,0110
Percentiler:									
5 %	676	4406	1083	3342	<0,03	0,009	0,004	<0,05	0,0017
10 %	723	4553	1146	3574	<0,03	0,013	0,005	<0,05	0,0027
25 %	788	4891	1235	3846	<0,03	0,018	0,006	<0,05	0,0043
50 %	874	5227	1330	4124	<0,03	0,027	0,009	<0,05	0,0080
75 %	961	5615	1458	4449	<0,03	0,044	0,015	<0,05	0,0145
90 %	1073	6045	1553	4794	0,036	0,061	0,030	<0,05	0,0227
95 %	1132	6340	1635	4986	0,045	0,073	0,040	<0,05	0,0330
Antal under detektionsgr.	0	0	0	0	176	0	0	200	2

	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sr	V	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>							
Antal	208	208	208	208	208	208	208	208
Min. värde	1,31	11,4	0,09	0,15	<0,040	<0,2	0,0021	16
Max. värde	6,20	115,6	3,72	23,34	7,492	5,37	0,9264	66
Medelvärde	3,71	46,9	0,87	1,25	0,082	2,42	0,0164	37
Stdav.	0,92	17,3	0,53	1,93	0,518	0,90	0,0789	10
Percentiler:								
5 %	2,32	23,0	0,31	0,28	<0,040	1,26	0,0029	23
10 %	2,59	26,1	0,36	0,33	<0,040	1,40	0,0033	25
25 %	3,07	34,3	0,52	0,49	<0,040	1,73	0,0040	31
50 %	3,71	46,3	0,74	0,77	0,044	2,25	0,0060	36
75 %	4,15	56,1	1,08	1,37	0,060	2,97	0,0082	43
90 %	4,93	69,4	1,54	2,28	0,082	3,68	0,0138	51
95 %	5,56	75,7	1,84	3,12	0,098	4,07	0,0238	55
Antal under detektionsgr.	0	0	0	0	99	1	0	0



Tabell 6. Medelhalter (ts) av olika element i kärna vid olika provtagningsomgångar och grödor

Table 6. Average concentrations (dw) of elements in grains from different sampling occasions and crops

Provtagning	Antal	Ca	K	Mg	P	As	Cd	Co	Cr
		mg kg <sup>-1</sup>							
<i>Hela landet:</i>									
Vete, 1988 års	127	401	4809	1292	3760	<0,03	0,051	0,0070	<0,05
Vete, 1995 års	281	400	4688	1268	3746	<0,03	0,043	0,0048	<0,05
Havre, 1988 års	208	883	5272	1352	4163	<0,03	0,036	0,0170	<0,05
Korn, 1995 års	291	446	6024	1277	4006	0,047	0,019	0,0052	<0,05
<i>Skåne:</i>									
Vete, 1988 års	35	396	4696	1270	3836	<0,03	0,063	0,0051	<0,05
Vete, 1992 års	198	432	4655	1162	3369	<0,03	0,039	0,0046	<0,05
Vete, 1995 års	60	384	4923	1180	3625	<0,03	0,057	0,0032	<0,05

Provtagning	Cs	Cu	Mo	Mn	Ni	Pb	Sr	V	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>								
<i>Hela landet:</i>									
Vete, 1988 års	0,0051	4,1	0,62	31	0,16	<0,04	2,0	0,0037	29
Vete, 1995 års	0,0033	4,0	1,69	33	0,17	<0,04	2,5	0,0015	28
Havre, 1988 års	0,0112	3,7	0,87	47	1,25	0,08	2,4	0,0164	37
Korn, 1995 års	0,0034	4,5	1,16	16	0,12	<0,04	2,0	0,0042	32
<i>Skåne:</i>									
Vete, 1988 års	0,0026	3,5	0,55	27	0,07	<0,04	2,3	0,0031	28
Vete, 1992 års	0,0032	3,6	0,74	25	0,23	<0,04	2,0	0,0014	25
Vete, 1995 års	0,0022	3,7	1,02	29	0,13	<0,04	2,8	0,0018	26

Från Skåne finns data från provtagningar av höstvetekärna under tre olika år, som trots få observationer vissa år ger en uppfattning om hur kärnans halter varierar med årsmånen (Tabell 6). Även mellan år tenderar halterna av de viktiga växtnäringsämnen Ca, Mg, P, K, Cu och Zn att variera mindre än de gör för de andra analyserade elementen. Kadmiumhalten var betydligt lägre under den i Skåne mycket torra sommaren 1992. Även Andersson & Bingefors (1985) har tidigare konstaterat en tendens till lägre Cd-halter i höstvete under år med liten nederbörds mängd under vegetationsperioden. Även om höstvetet i Skåne enstaka år har låga Cd-halter är nivåerna, sett över en längre period, i genomsnitt högre än i andra delar av landet. Tendensen till lägre halter under torråret 1992 gäller bara i några få fall för andra ämnen än Cd, t ex P.

Tabell 7. Medelvärden (ts) för olika egenskaper hos matjorden där kärnprover av höst-  
vete (n=582), korn (n=280) och havre (n=198) togs

Table 7. Mean values (dw) of different properties of the plough layer at sites from which  
winter wheat (n=582), barley (n=280) och oats (n=198) were taken

	As	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Mn	Mo	Ni
	mg kg <sup>-1</sup>								
Vete	4,4	0,25	6,6	20,8	2,5	14,1	416	1,14	13,4
Korn	4,5	0,23	7,0	21,8	2,9	15,9	463	1,66	13,6
Havre	4,1	0,24	6,3	19,7	2,6	13,4	423	1,23	12,4

	Pb	Sr	V	Zn	Humus	C/N- kvot	Ler	Silt	Sand
	mg kg <sup>-1</sup>				%		%		
Vete	17,3	29	36	59	4,2	10,2	23	34	44
Korn	17,2	27	39	62	5,1	11,0	24	36	41
Havre	16,8	26	37	59	6,7	11,4	20	38	42

	pH	Ca	Mg	K	Na	CECeff	BSeff	P-AL	P-HCl
		mg kg <sup>-1</sup>				cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	%	mg 100 g <sup>-1</sup>	
Vete	6,6	14	1,2	0,35	0,09	16,2	98	11,7	82
Korn	6,5	14	1,3	0,34	0,08	15,7	96	9,5	76
Havre	6,1	13	1,5	0,32	0,09	15,8	93	11,6	88

Höstveteproven från 1988 och 1992 togs ursprungligen inom ramen för en undersökning som i första hand gällde Cd (Eriksson, 1990a; Eriksson & Söderström, 1996). Oanalyserna av Cd på dessa prover gav en aning lägre halter än i den tidigare analysen. Skillnaden beror på att analyserna skett på olika laboratorier med ej helt identiska metoder och med olika analysapparatur. I den här redovisade analysen hade ca 3% av kärnproverna av vete, från de rikstäckande undersökningarna år 1988 och 1995, halter högre än det av kvarnindustrin tillämpade gränsvärdet på 0,1 mg kg<sup>-1</sup>. En tredjedel av dessa prover var från Skåne. Eftersom våra analyser avser torrsubstans medan gränsvärdet avser 15% vattenhalt, är andelen prover med halter över gränsvärdet något mindre än vad ovanstående siffror anger.

Regionalt är variationen i halterna av makronäringsämnen Ca, Mg, K och P i höstvete och korn relativt liten. Om man jämför de produktionsområden som används i lantbruksstatistiken är skillnaden mellan de högsta och de lägsta värdena ca 10 % (Tabell 8). För havre är den regionala variationen större, kanske till en del beroende på att antalet analyser är relativt få. För Mg finns det en gradient från söder till norr. I Götalands södra slättbygder och mellanbygder är Mg-halterna i havrekärna i medeltal ca 1200 mg kg<sup>-1</sup> medan den i Nedre och Övre Norrland är 1580 respektive 1780 mg kg<sup>-1</sup>. En liknande tendens finns för P.

Tabell 8. Elementhalter (mg kg<sup>-1</sup> ts) i höstvete- korn- och havrekärna i olika produktionsområden

Table 8. Concentrations (mg kg<sup>-1</sup> dw) of elements in winter wheat grown in different production areas

Prod. omr.	Antal	Ca	Mg	K	P	Cd	Cu	Mn	Zn
<i>Höstvete:</i>									
Gss	63	384	1220	4764	3649	0,056	3,7	28	28
Gmb	64	399	1238	4953	3828	0,052	3,8	30	27
Gsk	35	371	1248	4737	3648	0,040	3,8	37	28
Gns	138	416	1311	4682	3813	0,036	4,2	31	27
Ss	81	406	1297	4618	3761	0,053	4,2	36	31
Ssk	15	395	1372	4649	3723	0,046	4,7	47	31
<i>Korn:</i>									
Gss	30	442	1278	6201	4063	0,021	4,2	15	31
Gmb	37	437	1280	6050	4106	0,023	3,9	16	34
Gsk	20	422	1220	5912	3837	0,016	4,1	16	30
Gns	91	447	1275	6164	4100	0,018	4,4	16	30
Ss	66	442	1266	5788	3846	0,022	5,1	16	35
Ssk	19	456	1316	5672	3821	0,019	4,6	19	32
Nn	20	467	1311	5684	4380	0,014	6,1	18	38
Nö	36	479	1292	6175	4396	0,013	6,8	20	37
<i>Havre:</i>									
Gss	23	871	1155	5119	3754	0,019	2,9	30	26
Gmb	21	869	1199	5190	3834	0,038	2,9	39	32
Gsk	44	832	1330	5303	4219	0,034	3,5	52	40
Gns	31	1000	1437	5398	4363	0,028	3,7	46	37
Ss	43	859	1362	5411	4152	0,035	4,1	45	36
Ssk	20	889	1361	5134	3883	0,034	4,1	53	41
Nn	10	977	1577	5027	4749	0,053	5,2	53	53
Nö	8	818	1777	4955	5218	0,060	4,7	76	52

Gss = Götalands södra slättbygder

Gmb = Götalands mellanbygder

Gsk = Götalands skogsbygder

Gns = Götalands norra slättbygder

Ss = Svealands slättbygder

Ssk = Mellersta Sveriges skogsbygder

Nn = Nedre Norrland

Nö = Övre Norrland

För spårelementen är den regionala variationen tydligare. Kadmiumhalterna i vete är högst i Skåne, sydväst om en linje från Helsingborg till Simrishamn och i slättbygderna i Östergötland och Mälardalen (Karta 1a, Tabell 8). Detta variationsmönster överensstämmer i stora drag med det som redovisades för Cd-halten i matjorden i Eriksson *et al.* (1997). Cd i kornkärna (Karta 1b, Tabell 8) visar i stora drag samma variationsmönster som i vetekärna. Havre uppvisar dock, som även redovisats av Eriksson (1990a), ett lite annorlunda mönster (Karta 1c, Tabell 8). De lägsta medelhalterna finns i Götalands slättbygder, medan de högsta medelhalterna uppmätts i Norrland. I det senare fallet är antalet observationer dock litet, men tendensen är ändå rätt tydlig. Denna skill-

nad i variationsmönster kan till viss del hänga samman med att upptaget av Cd i havre är relativt pH-beroende (Eriksson, 1990a). I Götalands slättbygder har de flesta jordar ett högt pH p g a ett naturligt kalkinnehåll. Längs Norrlandskusten är jordarna däremot ofta sura p g a stort inslag av gyttejordar och sparsam kalkning. Halterna av Cu, Mn och Zn i höstvetekärna visar alla en tendens att vara högre i Mellansverige än i södra Sverige (Karta 2, Tabell 8). Samma trend finns också i korn- och havrekärna där den också fortsätter vidare upp i Norrland. I havre är halterna av Mn och Zn betydligt högre i Norrland än i Götalands södra slättbygder. Tilläggas bör att skillnader i sortanvändning och i väderleksförhållanden kan bidra till de regionala haltskillnaderna.

Tabell 9 visar de starkaste korrelationerna mellan de analyserade grundämnena i kärnproverna. Fullständiga data finns i Appendix 2. I alla tre grödorna är Mg och P de ämnen som är starkast korrelerade. Även Mg-Zn, Mn-Zn och Co-Mn uppvisar starka korrelationer i alla grödor. I havre är antalet starka korrelationer mellan olika ämnespar stort, vilket antyder att halterna av enskilda ämnen samvarierar mer med den totala nivån i mineralämneshalter än den gör i höstvetete och korn.

Den sammanbindande länken mellan Mg och P kan vara fytinsyra. Fosfor är en beståndsdel i fytinsyra och salter av denna förening fungerar som fosforreserv i kärnan. En stor del av kärnans fytin föreligger som Mg-fytater. Även Zn binds relativt starkt till fytater (Mengel & Kirkby, 1987; Marschner, 1995).

Tabell 9. Korrelationer mellan halter av olika grundämnen i kärna av höstvetete, havre och korn. Se Tabell 2 för signifikansnivåer

*Table 9. Correlations between concentrations of different elements in grains of winter wheat, barley and oats. See Table 2 for levels of significance*

Gröda	Korrelerade grundämnen och korrelationskoefficient								
Höstvetete <i>n=582</i>	Mg-P 0,79	Mg-Zn 0,49	Mn-Zn 0,49	Co-Mn 0,48	Co-Ni 0,46	K-P 0,46	P-Zn 0,41	Cu-Mg 0,36	Mn-Ni 0,35
Korn <i>n=319</i>	Mg-P 0,52	Mn-Zn 0,48	Cu-Zn 0,45	Co-Mn 0,43	K-P 0,43	Mg-Zn 0,43	Mo-Mn -0,39	Mo-Ni -0,33	Cs-Cu 0,32
Havre <i>n=198</i>	Mg-P 0,84	Mg-Zn 0,70	Cu-Zn 0,67	Cu-Mg 0,67	P-Zn 0,63	Cd-Ni 0,62	Cd-Zn 0,61	Cu-Ni 0,59	Co-Mn 0,58

# Samband mellan olika markegenskaper

## Korrelationer i mineraljordar

Fig. 1a-c visar på ett överskådligt sätt de samband mellan olika markvariabler i jordar med upp till och med 12 % mullhalt som faller ut i PCA-analysen. Till denna grupp hör mer än 90 % av det totala antalet jordprov. Analysens fyra komponenter förklarar sammanlagt 80 % av den totala variationen. Den innehåller samma information som den traditionella korrelationsmatrisen i Appendix 3. En mer utförlig beskrivning av hur "PCA-plottar" skall tolkas finns i Appendix 1.

Fig. 1a visar den första och den andra principalkomponenten. Lerhalten har ett stort positivt och sandhalten ett stort negativt värde på den första komponenten, vilket innebär att den visar vilka markvariabler som är korrelerade till mineraljordarten. Det är framförallt en rad spårämnen som är starkt positivt korrelerade till lerhalten. Starkast korrelerade är de ämnen som i diagrammet har positioner nära varandra. Följaktligen är Co, Cr, Cs, Cu, Ni, Pb, Sr, V och Zn de spårämnen som är starkast korrelerade till lerhalten. Även utbytbart Mg visar en stark korrelation. Samtidigt är de naturligtvis också starkt korrelerade inbördes. Sandhalten har en position i diagrammet som är i stort sett densamma som lerhaltens men med omvända tecken på koordinaterna, vilket innebär att den nämnda metallerna samtidigt uppvisar en stark negativ korrelation med sandhalten. Att metallerna visar stark korrelation till lerhalten beror på att de binds hårt till ler och därför anrikas i lerfraktionen i jordmånsbildningen och när de tillförs utifrån. Lerminepartiklar är också små och har därför stora ytor med många reaktiva grupper som binder dessa metaller hårt. Vidare innebär den aktuella extraktionsmetoden (7M HNO<sub>3</sub>) att finkorniga jordar löses upp mer effektivt än grovkorniga. Detta medför att en större andel av totalhalten av metallerna löses ut ur de lerrika jordarna, vilket förstärker sambandet metallhalt-lerhalt alternativt metallhalt-sandhalt.

Notabelt är att av de utbytbara kationerna är Mg starkast och Ca näst starkast korrelerad till lerhalten. Variationen i K-halt förklarades i så liten grad av de aktuella komponenterna att den ej kom med i diagrammet. I Fig. 2a-c visas grafiskt hur halten av de tre kationerna förändras med lerhalten. Att utbytbart K ej är riktigt lika starkt korrelerat till lerhalten som de andra kationerna, trots att de svenska illitrika lerorna innehåller mycket kalium inbyggt i illitens struktur, kan bero på att det här är fråga om den mer lösliga, utbytbara fraktionen som lätt påverkas av t ex gödsling. En del lätta jordar, där potatis odlas, kaliumgödsas intensivt, medan de illitrika styva lerjordarna i Mellansverige kaliumgödsas sparsamt, då man ansett att deras naturliga kaliuminnehåll räckt för grödornas behov. Dessa jordar kan därför ha utarmats en aning på kalium. Troligen skulle sambandet vara starkare mellan lerhalt och förrådskalium (K-HCl) eftersom illitens stora kaliuminnehåll då blir bestämmande. De utbytbara kationerna binds till markpartiklarnas negativa laddning. Att utbytbart Ca, Mg och K ökar med lerhalten beror på att mängden negativa laddningar ökar med lerhalten, vilket illustreras av det fjärde diagrammet som visar kationbyteskapaciteten som funktion av lerhalt. Sambanden i Fig. 2 utgör en del av förklaringen till att lerjordar av hävd ansetts som bördiga och näringsrika odlingsjordar. Ett annat skäl är att rötterna kan tränga djupt ned i alven och därmed kommer åt ett stort förråd av växttillgängligt vatten och växtnäring.

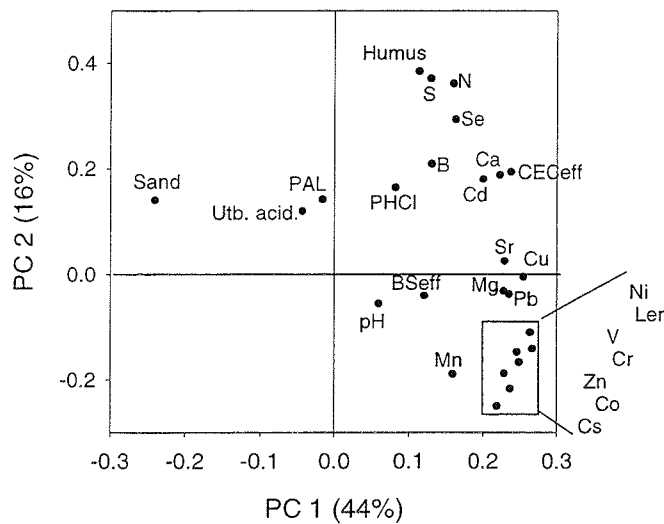


Fig. 1a. Loadings i komponent 1 och 2 för jordar med upp till 12 % humushalt (n=2875).

*Fig. 1a. Loadings in Component 1 and 2 for soils with up to 12 % humus content (n=2875).*

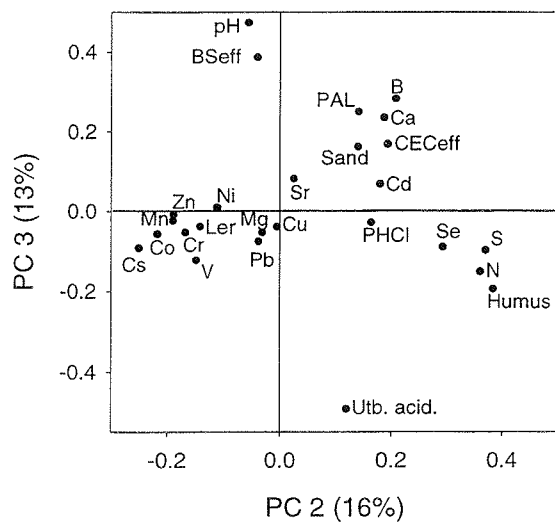


Fig. 1b. Loadings i komponent 2 och 3 för jordar med upp till 12 % humushalt (n=2875).

*Fig. 1b. Loadings in Component 2 and 3 for soils with up to 12 % humus content (n=2875).*

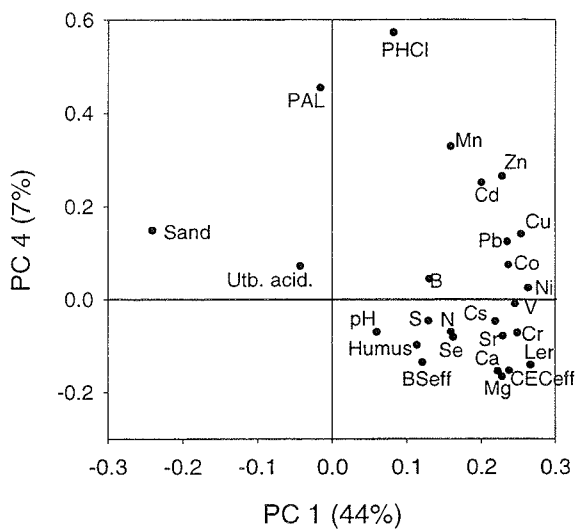
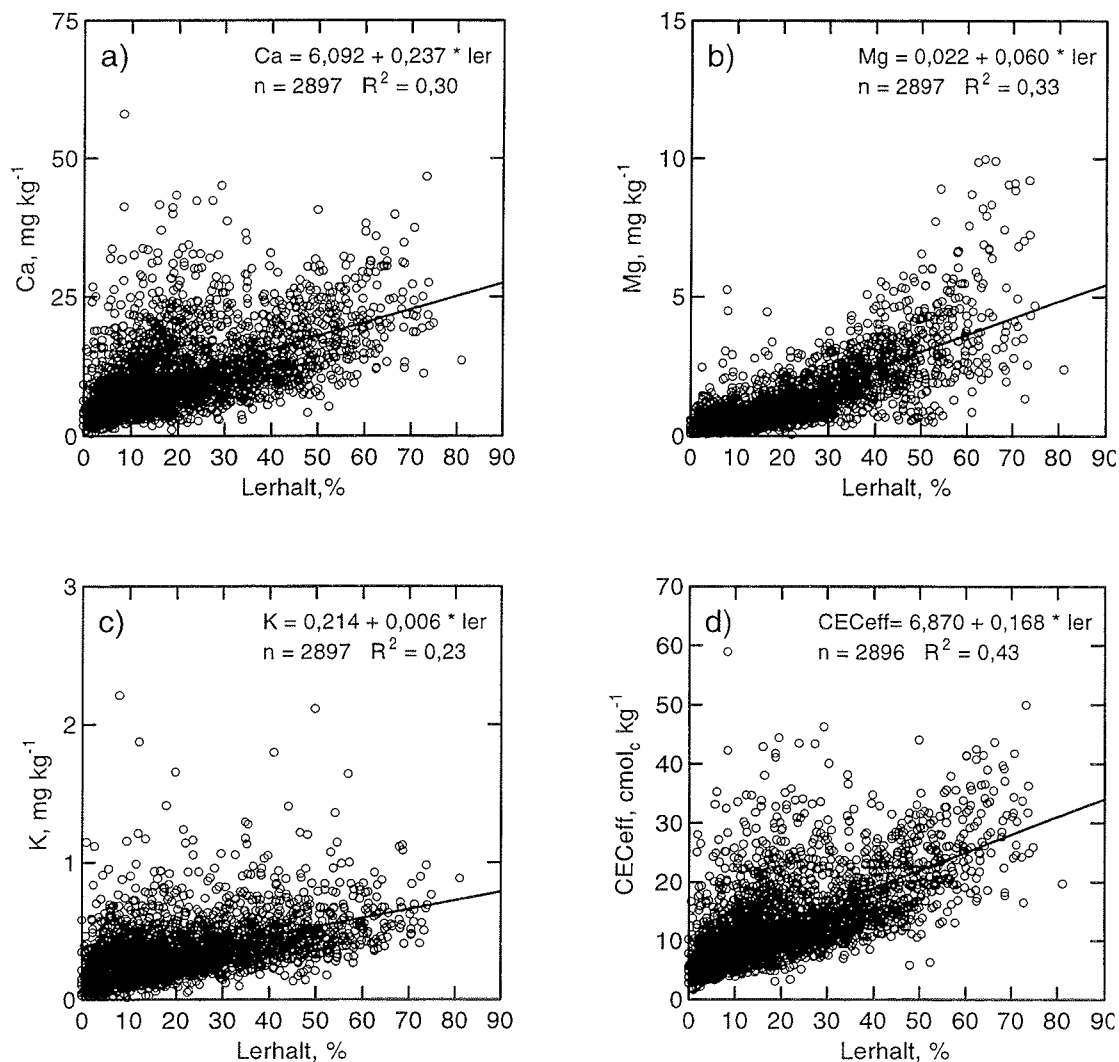


Fig. 1c. Loadings i komponent 1 och 4 för jordar med upp till 12 % humushalt (n=2875).

*Fig. 1c. Loadings in Component 1 and 4 for soils with up to 12 % humus content (n=2875).*



Figur 2. Utbytbar Ca, Mg och K samt effektiv katjonbyteskapacitet som funktion av lerhalt.

*Figure 2. Exchangeable Ca, Mg and K and effective cation exchange capacity as a function of clay content*

Komponent 2 (Fig. 1b) förklarar huvudsakligen variabler som är kopplade till markens humushalt. Eftersom svavel och kväve är viktiga byggstenar i organiskt material är sambandet mellan dessa och humushalten (beräknad från kolhalten) mycket starkt. Humusen utgör markens förråd av N, och i ej sulfidhaltiga jordar även huvudförrådet av S. Även selenhalten är relativt starkt korrelerad till humushalten. I korrelationsmatrisen gäller detta även Hg och Cd (Appendix 3). I övrigt är sambandet mellan mullhalt och andra variabler relativt svagt. De starka korrelationerna mellan Se och Hg och humus antyder att dessa ämnen binds mer selektivt till humusfraktionen än andra spårelement. Eftersom C/N-kvoten ökar med humushalten är Se och Hg de enda spårelement som är positivt korrelerade till denna kvot.

Kol/kväve-kvoten är ett mått på det organiska materialets omsättningsgrad. När organiskt material omsätts sjunker C/N-kvoten, på grund av att proportionellt mer C än N mineraliseras, ned mot ett värde på ca 10. Att den stannar i närheten av värdet 10 beror på att därefter frigörs C och N i just denna proportion. Att C/N-kvoten ökar med humushalten indikerar ökande inblandning av torvjord och att pH sjunker under en nivå som är optimal för den biologiska omsättningen av organiskt material.

Humus har hög katjonbyteskapacitet men den effektiva katjonbyteskapaciteten verkar vara starkare korrelerad till lerhalt (Fig. 1a) än till humushalt. En bidragande orsak till att humusens höga CEC ej slår igenom är sannolikt att sambandet i figuren gäller mineraljordar som innehåller högst 12% humus.

Den tredje komponenten (Fig. 1b) förklarar variabler som beskriver markens syra-bas-status. Den effektiva basmättnadsgraden (B<sub>seff</sub>) anger andelen utbytbara baskatjoner på markkolloiderna och är en viktig styrande faktor för pH i marklösningen och dessa variabler är därför positivt korrelerade. Den utbytbara aciditeten som anger mängden surt verkande utbytbara katjoner (främst Al och H) visar en stark negativ korrelation till de båda andra variablerna. I korrelationsmatrisen är även halten utbytbar Ca relativt starkt korrelerad till dessa variabler framförallt till basmättnadsgraden. En stor del av de utbytbara katjonerna utgörs av Ca vid hög basmättnadsgrad och högt pH.

Den fjärde komponenten (Fig. 1c) förklaras av fosforvariablerna P-AL (lättlöslig fosfor) och P-HCl (förrådsfosfor). AL-löslig P är en relativt lättlöslig och labil fraktion medan HCl-löslig P är en starkare bunden fraktion som fungerar som buffertförråd. Dessa två variabler är dock inte så starkt inbördes korrelerade som man kanske kunde förvänta sig. Andra variabler förklarar i liten grad komponent 4. Korrelationsmatrisen i Appendix 3 antyder dock ett positivt samband mellan P-HCl och Cd som är lika starkt som det mellan fosforvariablerna inbördes. Detta kan bero på att Cd tillförts åkermarken via fosforgödselmedlen. En del av markens fosforförråd finns bundet i det organiska materialet vilket förklarar en positiv korrelation mellan P-HCl och C, N och S (Appendix 3). P-AL är korrelerad till pH, eftersom fosfors löslighet är pH-beroende. P-AL är också positivt korrelerad till sandhalt och K-halt. Det förra kan möjligen vara betingat av djurhållning och därav följande tillförsel av P via stallgödsel till grövre jordar. Sambandet mellan P och K kan bero på att markens P-AL-nivå liksom mängden lättlösligt K i hög grad regleras genom gödsling. Att P-AL i övrigt är relativt oberoende av andra markvariabler kan bero på att gödslingen i dessa fall jämnar ut eventuella naturliga variationer.

### **Korrelationer i humusrika jordar**

Fig. 3a-b visar resultatet från PCA-analysen för de drygt 200 jordarna med mer än 12% humushalt, dvs för humusrika mineraljordar eller rena organogena jordar (>20 humushalt). Analysens tre komponenter förklarar sammanlagt 76 % av den totala variationen. Den första komponenten (Fig. 3a) förklarar i första hand variabler som är korrelerade till CEC<sub>eff</sub> och humushalt. Komponent 2 förklarar främst variationen i spårelementen Zn, Co, V, Cr Cs, Cu och Ni. Dessa spårelement är som tidigare visats starkt korrelerade till lerhalten. Att lerhalten i sig inte kommer med i PCA-plottarna beror på att lerhalt bara kunde bestämmas på ett fåtal av dessa humusrika jordar. Data i korrelationsmatrisen i



Appendix 4 gäller de fall då lerhalten bestämts. Den tredje komponenten förklaras av pH, basmättnadsgrad och utbytbar aciditet (Fig. 3b). Liksom var fallet för de typiska mineraljordarna är dessa tre mått på markens syra-bas-status starkt inbördes korrelerade, medan sambandet med andra faktorer är svagare.

Den effektiva katjonbyteskapaciteten i komponent 1 är korrelerad till C- och N-halt (d v s humushalt). Eftersom humus har mycket högre katjonbyteskapacitet per viktsenhet än ler är CECeff mycket starkare korrelerad till humushalt än till lerhalt i humusrika-organogena jordar. Anmärkningsvärt är att CECeff är starkare korrelerad till humusens kvävehalt än till dess kolhalt. Detta kan bero på att CEC inte bara ökar med mängden humus utan också med omsättningsgraden. Omsättningsgraden speglas bäst av C/N-kvoten som i dessa jordar tenderar att öka med C-halten (Appendix 4). Att CEC är bättre korrelerad till N än till C kan alltså bero på att N integrerar effekten av stigande humushalt och omsättningsgrad, och därmed materialets ytaktiva egenskaper, bäst.

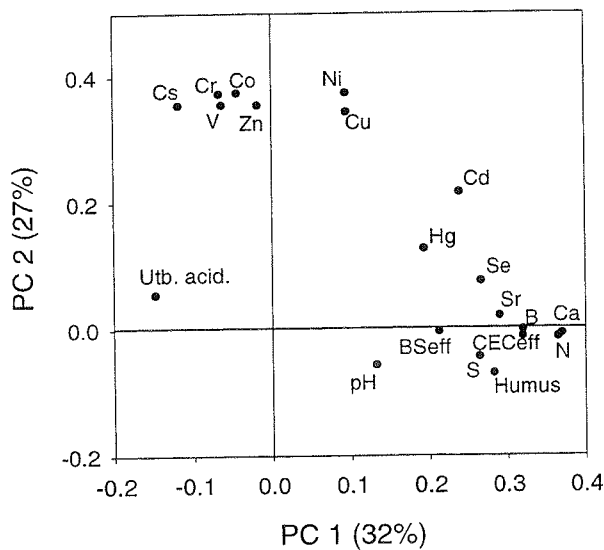


Fig. 3a. Loadings i komponent 1 och 2 för jordar med mer än 12 % humushalt (n=208).

*Fig. 3a. Loadings in Component 1 and 2 for soils with more than 12 % humus content (n=208).*

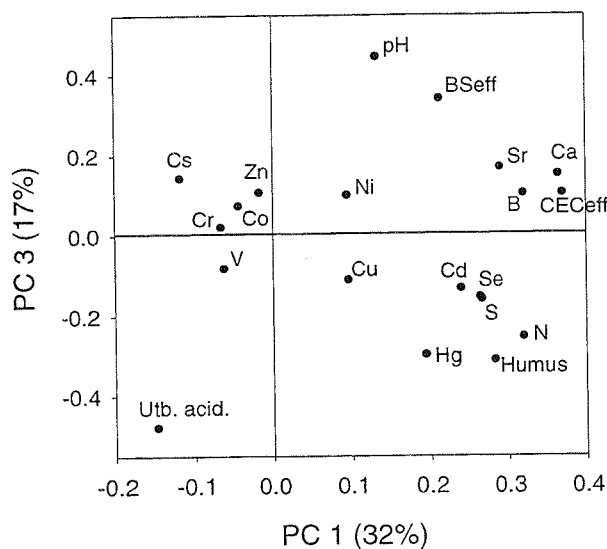


Fig. 3b. Loadings i komponent 1 och 3 för jordar med mer än 12 % humushalt (n=208).

*Fig. 3b. Loadings in Component 1 and 3 for soils with more than 12 % humus content (n=208).*

Även utbytbart Ca är mycket starkt korrelerat till CECeff. Korrelationskoefficienten är så hög som 0,9 (Appendix 4). Förklaringen är att humus binder Ca effektivt i utbyttbar form och att Ca-halten i jorden därför stiger med ökande humushalt. Vidare stiger andelen utbyttbart Ca också när pH stiger. Eftersom även CECeff är positivt korrelerad till humushalt och pH, samtidigt som de två senare variablerna är negativt korrelerade inbördes, blir utbyttbart Ca och CECeff mycket starkare korrelerade till varandra än de är till pH och humushalt var för sig. Detta är en samverkande effekt av 1) att Ca binds effektivt till humus 2) att CECeff och därmed mängden utbytbara katjoner ökar med humushalten 3) att både utbyteskomplexets Ca-mättnadsgrad och CECeff ökar med pH.

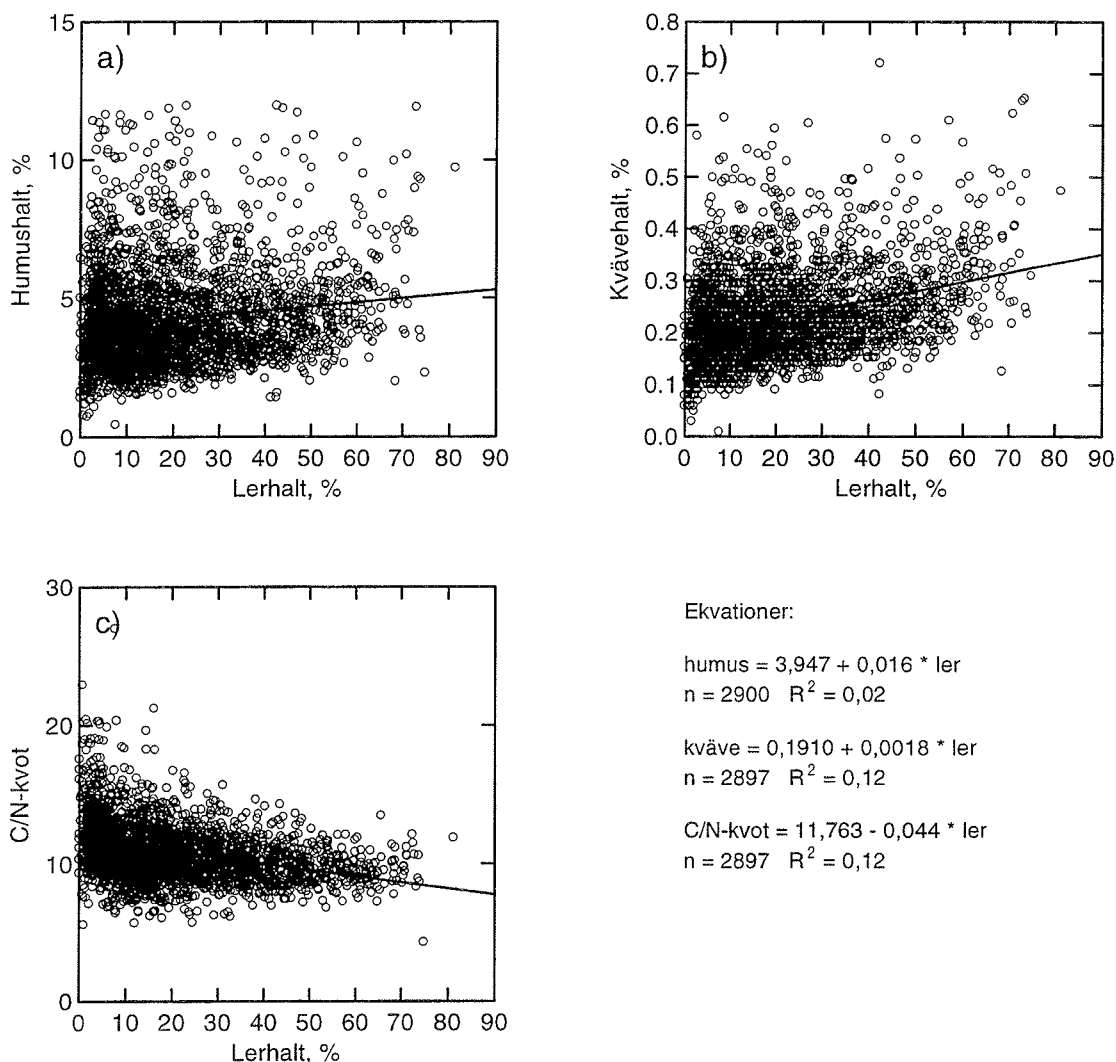
Att den effektiva katjonbyteskapaciteten och Ca ökar både med pH och humushalt, illustreras i PCA-plottarna av att variablerna prickas i en position mellan humus och pH.

Även B och Sr är starkt positivt korrelerade till pH, CECeff och Ca. För strontiums del bör detta bero på att Sr och Ca är geokemiskt starkt associerade. Ca-rika miljöer innehåller därför även mycket Sr. Bor är mest lösligt i sura jordar, så den vattenlösliga fraktionen borde om förhållandena i övrigt är lika snarare öka med sjunkande pH (Sauchelli, 1969). Att så inte är fallet kan bero på att jordarna med högt pH också har B-rikt modermaterial. Förutom på Västkusten där inverkan av vinddrivna havssalter tycks ge förhöjda halter i jordarna är borhalterna också höga i områden påverkade av kambrosilurisk berggrund som t ex Gotland, Norduppland och Jämtland (Eriksson *et al.*, 1997). Enligt Bowen (1979) innehåller lerskiffar upp mot 10 ggr mer B än magmatiska bergarter (basalt, granit etc). Kambrosilurpåverkade jordar har också högt pH och hög Ca-mättnadsgrad vilket tillsammans med modermaterialens borinnehåll kan förklara sambandet mellan dessa faktorer och B. Selen och Hg binds hårt till organiska material och halterna av dessa ämnen är därför positivt korrelerade till humushalten. Kadmium binds svagare än andra tungmetaller till ler och humus, men är ändå relativt starkt korrelerat till dessa. Matjordens Cd-halt är också korrelerad till CECeff. Dessa samband förklaras förmodligen av att Cd i relativt hög grad binds i utbyttbar form (Eriksson, 1990b). Katjonbyteskapaciteten ökar med markens ler- och humushalt och därmed också förmågan att utbyttbart binda kadmium.

### **Humushalt, kvävehalt, C/N-kvot och andra markegenskaper som funktion av lerhalten**

Vid varje lerhaltsnivå är det en stor variation i matjordens humushalt, men generellt ökar den som funktion av lerhalten (Fig. 4a). Av figuren framgår också att det finns en relativt skarp nedre gräns för humushalten som stiger med lerhalten, dvs som är jordartsberoende och förmodligen också beror av växtföljd och brukningsmetoder. En på fri hand dragen linje som tangerar den undre gränsen för den del av punktsvärmen som har hög densitet ger följande ekvation:

$$\text{humushalt (\%)} = 1,2 + 0,0275 * \text{lerhalt (\%)}$$



Figur 4. Humushalt (=C-halt/0,58), kvävehalt och C/N-kvot som funktion av lerhalt.

Figure 4. Humus content (=C-content/0.58), nitrogen content and C/N ratio as a function of clay content

En ökning av lerhalten med 10 % innebär att minimivärdet för humushalten ökar med knappt 0,3 %. En lerjord med 50 % ler har en minimihalt av humus som är dubbelt så hög som den är i en sandjord som bara innehåller någon procent ler. Enstaka punkter som ligger klart under de minimivärden som ekvationen anger kan antas höra till jordar där humusfattig alvjord av en eller annan anledning blandats in i matjorden; det kan ha skett genom djupare plöjning eller genom att alvjord kommit med i det uttagna jordprovet på platser med tunt matjordsskikt.

En förklaring till att humushaltens minimivärde stiger med lerhalten är förmodligen att lerpartiklarna och det mest humifierade organiska materialet binds relativt hårt till varandra i marken. Detta kan ske t ex genom att katjoner och seskvioxider binder ihop ne-

gativt laddade ler- och humuspartiklar eller genom s k hydrofob adsorption av oladdade humusämnen (Cornejo & Hermosin, 1996). Dessa processer är mest verksamma i lerrika jordar och association mellan mineraljords- och organisk komponent leder till att en del av markens humus är mer eller mindre otillgängligt för de nedbrytande organismerna. Även den ökande aggregeringen och aggregatstabiliteten med ökande lerhalt kan ha en hämmande effekt på omsättningen av väl humifierat material, genom att humusen blir mindre tillgänglig inne i aggregatens mikroporer.

Även kvävehalten i marken stiger med lerhalten och uppvisar samma skarpa begränsning nedåt som humushalten (Fig. 4b), vilket är naturligt då nästan allt kväve i marken ingår i det organiska materialet och kväve- och humushalt därför samvarierar starkt. Ekvationen för kvävehaltens undre begränsningslinje som funktion av lerhalten skattades till:

$$\text{kvävehalt (\%)} = 0,06 + 0,002 * \text{lerhalt (\%)}$$

Kvävehalten i marken påverkas dock också av typ av humus, framförallt av dess omsättningsgrad vilken som tidigare nämnts speglas av C/N-kvoten. C/N-kvoten minskar med lerhalten (Fig. 4c), vilket leder till att kvävehalten relativt sett stiger mer än humushalten när lerhalten ökar (jfr Fig. 4a och 4b). Därigenom blir också kvävehalten i mineraljordar starkare korrelerad till lerhalten än vad humushalten är.

Den med lerhalten ökande N-halten kan knappast bero på större N-tillförsel än i animalieproduktionen på lättare jordar. Den sjunkande C/N-kvoten antyder att det organiska materialet är mer omsatt i lerjordarna än i grovkornigare jordar. Detta stämmer överens med den bild som kartbilderna i Eriksson *et al.* (1997) gav, där både humushalter och C/N-kvoter tenderade att vara lägre än genomsnittet i de lerjordsdominerade slättområdena. Det kan finnas många förklaringar till högre omsättningsgrad hos humusen i lerjordar. Betingelserna för mikrobiell omsättning kan generellt vara bättre i lerjordarna än i grovkornigare jordar på grund av t ex högre pH, bättre vattenhushållning och en mer näringsrik miljö. Lerjordarna har ett högre innehåll av komplexbunden och sannolikt mycket starkt omsatt humus (se ovan). Liten vallandel i spannmålsodlingen i slättjordsområdena leder till bortodling av humus. Lägre C/N-kvot i lerjordarna kan möjligen också bero på bättre förmåga att kvarhålla kvävet i marken, dels genom lerets förmåga att åtminstone temporärt fixera NH<sub>4</sub>-N, dels genom mindre utlakning.

I de allra lerfattigaste jordarna till vänster i Fig. 4c tenderar merparten av jordarna att ha en C/N-kvot som avviker uppåt från den inlagda regressionslinjen. En regressionslinje i intervallet 0-8 % ler har ca en 5 ggr större lutningskoefficient än den i Figur 4c, medan koefficienten för en regressionslinje gällande jordar med mer 8% ler är hälften av den inlagda regressionslinjens. En orsak till denna skillnad kan vara intensiv animalieproduktion och stallgödseltillförsel på lätta jordar. Om man ser enbart till organiskt bundet kväve har stallgödsel en C/N-kvot på 21-26 (Steineck *et al.*, 1999). Sandiga jordar på gamla ljunghedar i sydvästra Sverige kan också innehålla elementärt kol från ljunghedbränningen. Analysen skiljer ej på elementärt kol i träkol och organisk bundet kol i humusen.

I Tabell 10 redovisas hur olika markegenskaper förändras med jordarten. Eftersom jordartsklasserna i hög grad definieras utifrån lerhalt, visar tabellen hur mycket jordens egenskaper förändras med lerhalten. Halterna av spårelement ökar med en faktor 2-10 om man jämför de lerfattigaste och de lerrikaste jordarterna. Som tidigare nämnts beror detta till viss del på att det använda extraktionsmedlet (7 M HNO<sub>3</sub>) tar ut större del av totalhalten i finkornigare jordar. Flera variabler som t ex vattenlösligt B, Cd, pH, P-AL och P-HCl visar en tendens till avtagande värden från sandiga till mjäliga undergrupper i de olika lerhaltsklasserna. Eftersom det är osannolikt att den finkorniga mjälan skulle vara mindre ytaktiv än sand och mo, måste detta bero på skillnader i modermaterialens egenskaper. Mjälajordar förekommer främst i ett bälte från Värmland över Dalarna och upp längs Norrlandskusten medan sandiga jordar är mest frekventa i Sydsverige (Eriksson *et al.*, 1999). Förmodligen finns det en skillnad i lermineralogi mellan dessa geografiska områden. Halten av CaCO<sub>3</sub> visar också på skillnader i modermaterial. Lägre karbonathalt i mjälajordar än i sand- och mojordar ger lägre pH, vilket i sin tur också ger lägre effektiv CEC.

## Korrelation mellan grundämneshalter i spannmålskärna och markens egenskaper och innehåll

Sambanden mellan halten av makronäringsämnen och spårelement i grödorna och markens egenskaper har undersökts med PLS och enkla statistiska korrelationer. PLS är jämförbar med stegvis multipel regressionsanalys, men kräver inte att variablerna är inbördes oberoende, vilket multipel regression gör.

### PLS-modeller

Diagrammen i Fig 5a-c. visar vilka markvariabler Ca-halten i kärna i de tre grödorna är bäst korrelerad till. Genomgående är upptaget positivt korrelerat till Ca-halten och negativt korrelerat till Mg-halten i marken. I korn och havre finns också en korrelation till variabler som bestämmer eller är korrelerade med markens kalktillstånd. Högt pH innebär vanligen rikligt med växttillgängligt Ca i svenska jordar. Diagrammen ger ungefär samma bild som korrelationsmatrisen i Appendix 5.

Sambandet mellan markegenskaper och Ca-halt i spannmålskärna är dock, som framgår av det låga RPD-värdet, relativt svagt. Om en modells RPD-värde (standardavvikelse dividerad med medelfelet i av modellen i predikterade värden) är minst 3 kan modellen också användas för att med hjälp av markegenskaper förutsäga upptaget av Ca i kärna. RPD-värdena är dock för Ca genomgående nära 1 vilket innebär att modellens prediktiva kapacitet är dålig. En grafisk illustration av ett RPD-värde nära 1 finns i Fig. 7e, där punktsvärmen avviker starkt från den ideala diagonala 1:1 linjen. När sambandet är så svagt blir det lite slumpmässigt vilka markvariabler som kommer med i stapeldiagrammen.

Tabell 10. Medelvärden för olika egenskaper hos matjorden per jordart. Alla halter är angivna per jordens torrsubstans.

Table 10. Mean values for different plough layer properties in different textural classes. All concentrations are given per unit soil dry matter

Jordart	Antal	Humus-	Kväve	Svavel	C/N-	pH	Karbo-	P-AL	P-HCl
		halt	%	%	kvot		natkol,		
		%	%	%			% CaCO <sub>3</sub>	mg 100 g <sup>-1</sup>	
lerfri sand	50	3,4	0,16	0,029	12,6	6,1	0,7	13,9	64
lerfri mo	64	3,7	0,17	0,026	13,0	6,0	0,2	9,1	70
lerfri mjåla	0	-	-	-	-	-	-	-	-
svagt lerig sand	156	4,9	0,21	0,033	12,7	6,1	0,1	13,6	90
svagt lerig mo	202	4,9	0,22	0,035	12,6	6,0	0,0	10,5	81
svagt lerig mjåla	0	-	-	-	-	-	-	-	-
lerig sand	246	4,5	0,23	0,037	10,8	6,5	0,6	14,5	91
lerig mo	591	4,3	0,22	0,034	11,2	6,3	0,4	11,4	81
lerig mjåla	66	5,1	0,24	0,041	11,7	6,1	0,2	8,4	84
sandig lättlera	81	5,6	0,29	0,048	10,6	6,7	1,3	14,3	93
moig lättlera	406	4,6	0,24	0,036	10,6	6,5	0,5	10,4	75
mjålig lättlera	166	5,3	0,26	0,044	11,2	6,0	0,0	6,9	80
mellanlera	536	5,2	0,27	0,044	10,5	6,4	0,3	9,5	82
styv lera	366	5,7	0,31	0,044	10,1	6,5	0,3	8,6	78
mycket styv lera	80	7,9	0,43	0,064	10,1	6,4	0,5	8,4	82

Jordart	Utbytbara katjoner									CEC <sub>eff</sub>	BS <sub>eff</sub>
	Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na	Acid.		
	% av CEC <sub>eff</sub>				cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>					%	
lf Sa	77	6	3,7	0,6	5,5	0,37	0,19	0,04	0,54	6,7	87
lf Mo	73	7	3,5	0,8	4,4	0,36	0,17	0,04	0,61	5,6	85
lf Mj	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
svl Sa	77	7	3,4	0,8	7,0	0,50	0,22	0,05	0,64	8,4	88
svl Mo	77	7	3,2	0,7	5,7	0,48	0,21	0,05	0,68	7,2	88
svl Mj	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
l Sa	84	6	3,2	0,6	10,4	0,58	0,31	0,06	0,44	11,8	94
l Mo	83	7	3,2	0,7	8,8	0,60	0,28	0,06	0,48	10,2	93
l Mj	80	9	3,4	0,9	8,1	0,80	0,31	0,08	0,55	9,8	93
sa LL	89	6	2,4	0,5	17,9	1,59	0,37	0,08	0,26	20,2	98
mo LL	84	8	2,7	0,6	13,1	0,98	0,34	0,08	0,39	14,9	96
mj LL	78	11	3,1	0,8	9,0	1,15	0,32	0,08	0,62	11,1	93
ML	81	12	2,8	0,6	14,3	1,78	0,42	0,10	0,44	17,0	96
SL	80	15	2,6	0,6	18,0	2,95	0,51	0,11	0,42	22,0	98
MSL	78	15	2,2	0,6	23,7	4,38	0,60	0,17	0,87	29,7	96

Tabell 10. fortsättning

Table 10. continued

Jordart	As	B	Pb	Cs	Cd	Co	Cu	Cr
	mg kg <sup>-1</sup>							
lerfri sand	1,4	0,27	7,6	0,55	0,13	1,3	5,4	4,0
lerfri mo	2,0	0,22	7,5	0,71	0,12	1,9	5,3	8,1
lerfri mjäla	-	-	-	-	-	-	-	-
svagt lerig sand	2,2	0,31	11,9	0,81	0,17	2,2	7,0	6,2
svagt lerig mo	2,5	0,25	10,3	0,96	0,14	2,3	6,8	8,0
svagt lerig mjäla	-	-	-	-	-	-	-	-
lerig sand	3,3	0,48	14,9	1,37	0,24	3,8	10,0	11,6
lerig mo	3,6	0,37	13,3	1,50	0,20	4,1	9,8	12,6
lerig mjäla	4,0	0,22	15,4	1,96	0,18	5,9	11,4	19,6
sandig lättlera	7,2	0,63	19,4	2,21	0,40	6,8	17,2	19,3
moig lättlera	4,2	0,43	16,1	2,46	0,23	6,2	12,9	19,4
mjällig lättlera	4,9	0,25	18,1	2,86	0,20	8,0	14,2	22,9
mellanlera	4,3	0,42	20,6	3,67	0,25	9,3	17,7	27,9
styv lera	4,9	0,43	24,3	5,02	0,27	11,7	26,0	40,1
mycket styv lera	5,5	0,64	26,3	6,31	0,33	13,0	35,8	52,7

Jordart	Hg	Mn	Mo	Ni	Se	Sr	V	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>							
lf Sa	0,025	155	0,33	2,4	0,16	11,2	9,4	22
lf Mo	0,025	191	0,42	4,0	0,15	13,0	16,3	25
lf Mj	-	-	-	-	-	-	-	-
svl Sa	0,035	295	0,63	3,7	0,24	14,2	16,4	35
svl Mo	0,036	278	0,76	4,3	0,21	14,0	18,1	32
svl Mj	-	-	-	-	-	-	-	-
l Sa	0,040	357	0,97	7,9	0,27	21,9	23,0	49
l Mo	0,039	397	1,17	8,5	0,25	19,3	25,5	46
l Mj	0,037	491	0,95	11,4	0,22	27,3	33,4	56
sa LL	0,047	478	4,09	16,9	0,38	31,7	38,6	68
mo LL	0,040	416	1,38	12,7	0,30	25,8	34,5	58
mj LL	0,042	526	1,42	13,6	0,27	27,3	41,6	67
ML	0,043	529	1,18	16,3	0,31	31,6	46,9	75
SL	0,044	522	1,20	22,3	0,35	36,9	61,4	92
MSL	0,056	436	1,38	30,1	0,46	42,2	73,7	107

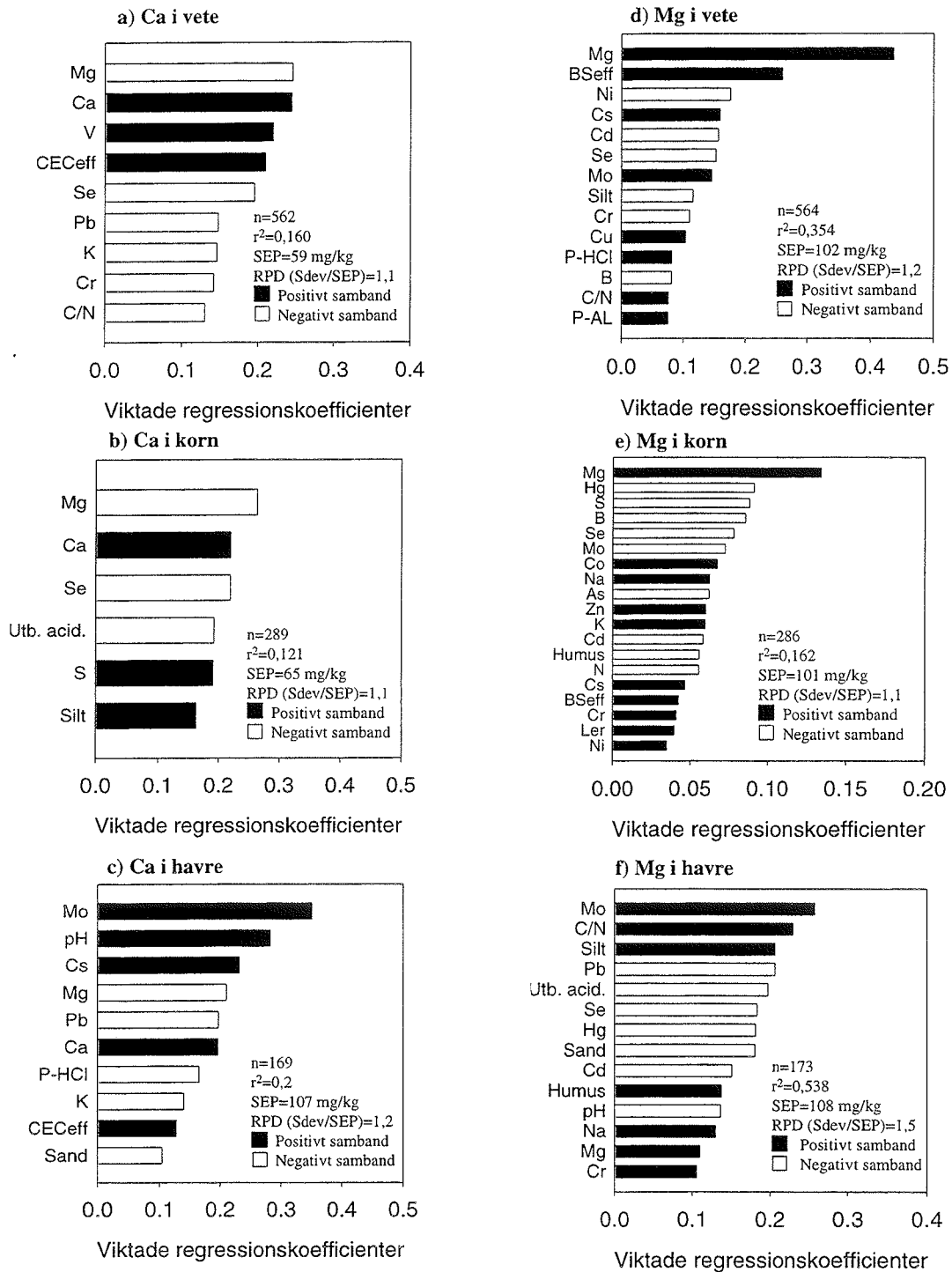


Fig. 5. Samband mellan elementhalter i spannmålskärna och enskilda markvariabler enligt korsvaliderade PLS-modeller.

Fig. 5. Relationship between element contents in grain and soil properties according to crossvalidated PLS-models.



Kärnans Mg-halt är relativt starkt korrelerad till markens halt av utbytbar Mg för vete och korn (Fig. 5d-e). Sambanden har dock låga RPD-värden.

Kaliumupptaget i kärna tycks i PLS modellerna vara relativt oberoende av markens egenskaper eftersom RPD-värdena är 1 i både vete och havre (Fig 6a och 6c). RPD-värdet 1 innebär att standardavvikelsen i uppmätta halter är lika med medelfelet i av modellen i predikterade värden, dvs att man med hjälp av markdata inte kan förutsäga K-halten i kärna bättre än om man slumpmässigt väljer ett värde som ligger inom standardavvikelsen för den aktuella grödans medelhalt.

Även fosforhalten i kärna är i liten grad korrelerad till matjordens egenskaper (Fig. 6d-f). Det finns dock genomgående ett visst samband med P-AL och P-HCl-talen (se även Appendix 5). Det finns även ett inflytande på upptagningen från markens surhetsgrad, uttryckt antingen som pH, basmättnadsgrad eller utbytbar aciditet. Förutsatt att det finns ett samband mellan skördenivå och fosforhalt i kärna kan de svaga sambanden tolkas som att P-AL och P-HCl-talen inte ger en bra bild av markens fosforstatus, men det kan kanske också hänga samman med att en stor del av Sveriges åkermark har ett gott fosfortillstånd (Andersson *et al.*, 1998). Om det finns tillräckligt med fosfor bestäms grödornas fosforhalt förmodligen i hög grad av andra faktorer än P-nivån i marken t ex sort, lokala väderbetingelser etc.

Modellen för Cd- halt i vetekärna har ett lite högre RPD-värde än modellerna för makroelementhalter (Fig 7a). Detta innebär att urvalet av markvariabler till vilka kärnans Cd-halt är korrelerad blir säkrare, men fortfarande är modellens förmåga att utifrån matjordens egenskaper förutsäga grödans halter dålig. Som visats redan i tidigare undersökningar baserade på delar av det aktuella materialet (Eriksson, 1990a; Eriksson & Söderström, 1996), är Cd-halten i vete relativt starkt positivt korrelerad till Cd-halten i marken (Fig. 7a). Upptaget av Cd är enligt PLS-analysen också negativt korrelerat till Mn-halten och pH. Den relativt starka korrelationen till Mn är svårtolkad men den kan bero på att Cd binds i sekundära manganföreningar t. ex genom s k ocklusion (Andersson, 1979), vilket medför att dess växttillgänglighet minskar. I övrigt är Cd i vetekärna positivt korrelerat till andra spårelement i marken. Troligen är det ej frågan om orsaksamband utan handlar mer om att jordar som innehåller mycket Cd ofta också innehåller förhöjda halter av andra element. Notabelt är att matjordens humushalt inte tycks påverka Cd-halten i vetekärna särskilt mycket.

För korn, som i jämförelse med andra spannmålsgrödor tar upp lite Cd, är modellens RPD-värde nära 1 och möjligheten att förutsäga Cd-halt i kärnan från de aktuella markvariablerna liten (Fig. 7b). Vilka variabler som rankas högst i PLS-diagrammet blir därför godtyckligt.

För havre är graden av samband mellan Cd-halt i kärna och markegenskaperna nästan densamma som för höstvet (Fig. 7c). I modellen är Cd-halten i marken den viktigaste faktorn, men markens kalktillstånd spelar också stor roll. Detta speglas av ett negativt samband med både pH och basmättnadsgrad. Eftersom dessa är starkt inbördes korrelerade, blir de var och en den viktigaste faktorn för Cd-upptaget i växten om den andra utesluts. Att kalktillståndet har stor betydelse framgår också av Appendix 5c, där även

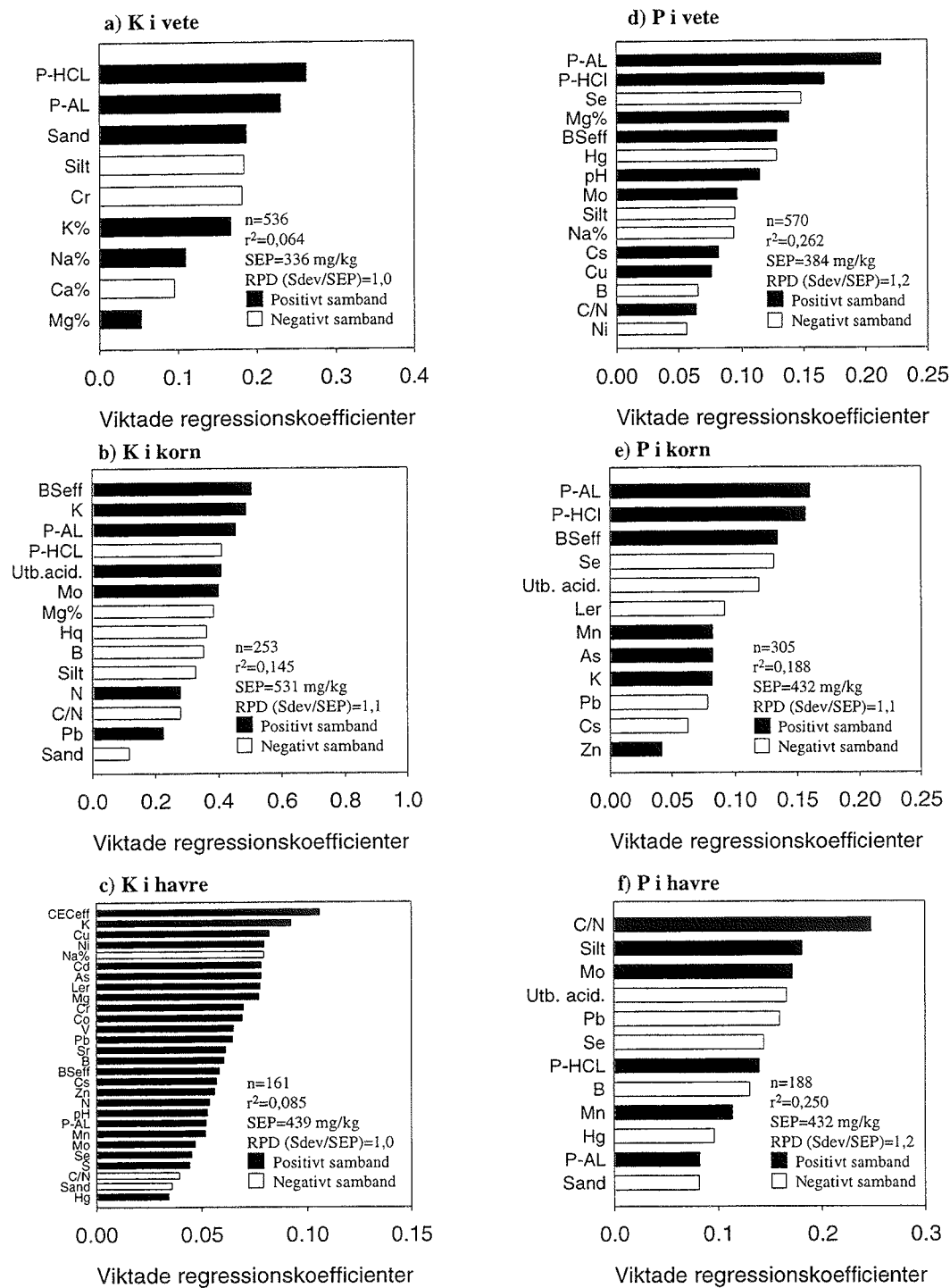


Fig. 6. Samband mellan elementhalter i spannmålskärna och enskilda markvariabler enligt korsvaliderade PLS-modeller.

Fig. 6. Relationship between element contents in grain and soil properties according to crossvalidated PLS-models.

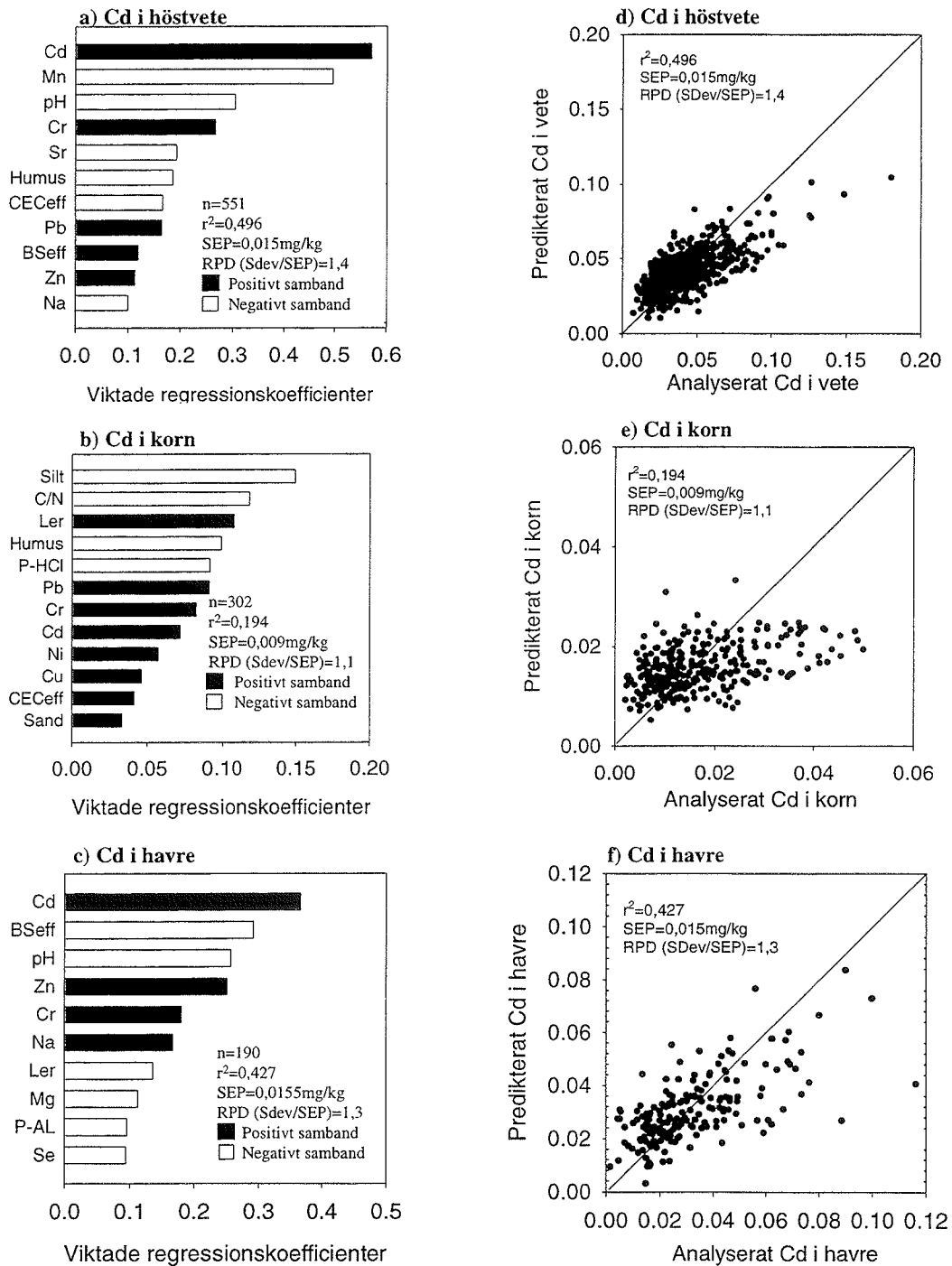


Fig. 7. Samband mellan Cd-halter i spannmålskärna, och markegenskaper enligt korsvaliderade PLS-modeller. a-c) Modellens samband mellan halter i kärna och enskilda markvariabler. d-f) Förhållandet mellan PLS-predikterade och analyserade halter i kärna.

Fig. 7. Relationship between Cd contents in grain and soil properties according to crossvalidated PLS-models. a-c) Modelled relationship between grain Cd contents and single soil variables. d-f) Relationship between predicted and analysed Cd contents in grain.

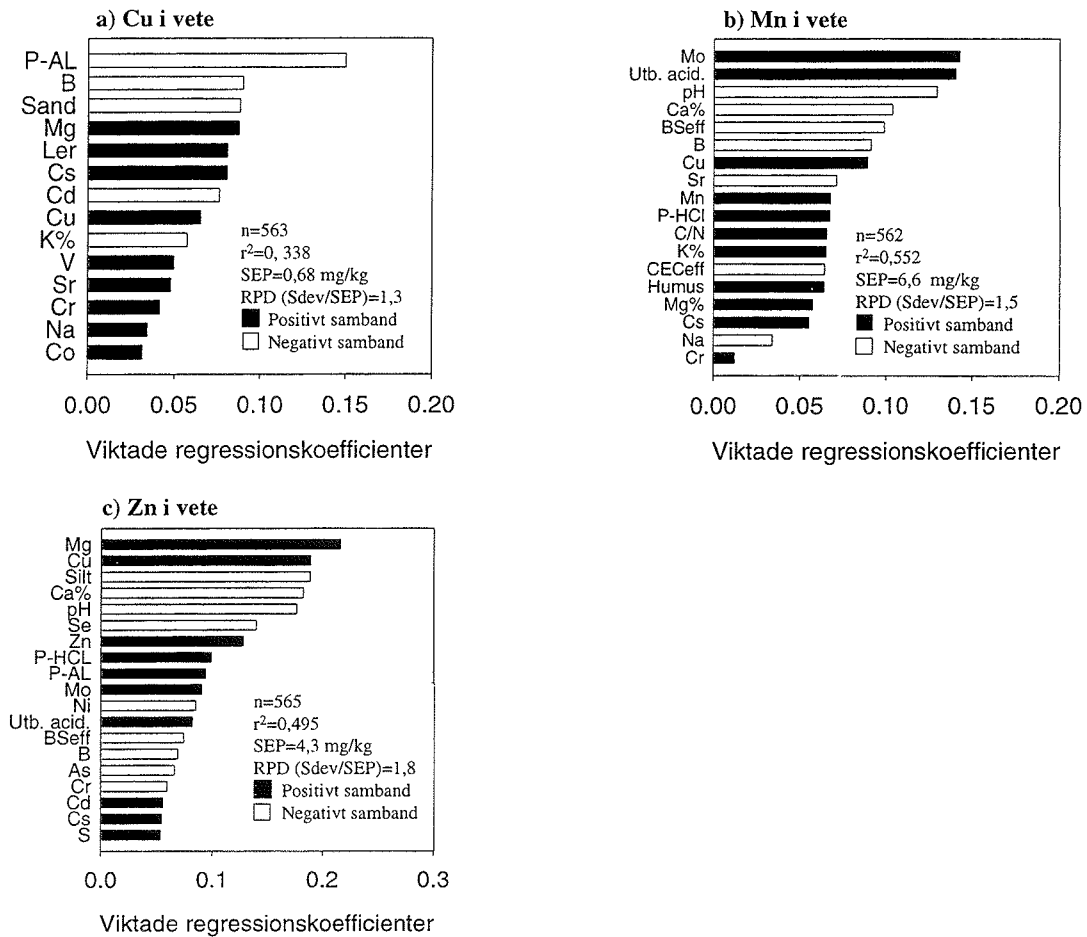


Fig. 8. Samband mellan elementhalter i spannmålskärna och enskilda markvariabler enligt korsvaliderade PLS-modeller.

Fig. 8. Relationship between element contents in grain and soil properties according to crossvalidated PLS-models.

andra variabler kopplade till markens syra-bas-status som utbytbar Ca och utbytesaciditet ('Acid') är starkt korrelerade till Cd i havrekärna.

Halten koppar i vetekärna är enligt korrelationerna i Appendix 5 starkt negativt korrelerad till P-AL och sandhalt. Dessa samband framgår även av PLS-modellen även om den har ett relativt lågt RPD-värde (Fig 8a).

Modellen för sambandet mellan Mn-halt i vete och markegenskaper har lite högre RPD-värde. Manganets växttillgänglighet i marken styrs i hög grad av pH och redoxpotential. Lågt pH och låg redoxpotential (syrebrist) ger hög löslighet. Att pH-nivån i marken spelar stor roll för upptaget framgår tydligt i Fig 8b eftersom flera variabler som kan kopplas till gott kalktillstånd ingår i modellen.

Modellen för sambandet Zn-halt i vete och markegenskaper har samma RPD-värde som modellen för Cd (Fig 8c), och både modellen och korrelationsmatrisen (Appendix 5a) antyder ett starkt positivt samband med utbytbart Mg och ett negativt samband med utbytbart Ca. Dessa samband förklaras troligen av att Zn-upptaget sjunker med ökande pH. De högsta pH-värdena har kalkrika jordar som innehåller mycket utbytbart Ca, men relativt lite utbytbart Mg.

Det finns flera tänkbara förklaringar till de relativt svaga sambanden mellan upptaget i växten och markens egenskaper i PLS-modellerna. En är att upptaget styrs av en mängd olika samverkande faktorer där markfaktorerna bara är en del. I detta provmaterial som härrör från ett stort geografiskt område kommer faktorer som varierande väderbetingelser, olika sortval i olika områden m m in. Kanske skulle man kunna få en bättre korrelation om prover från ett mer begränsat geografiskt område analyserades. Materialet är dock för litet för att göra en sådan uppdelning. Man får inte heller glömma att alvens egenskaper också påverkar upptaget. Att alla element, för vilka PLS-modeller redovisas, utom Cd är växtnäringsämnen kan också bidra till att skillnader i markens egenskaper ej slår igenom. Matjordens växtnäringsstillstånd regleras genom gödsling, vilket gör det lättare för växterna att ta upp vad de behöver oavsett vilka egenskaper marken har.

### Enkla korrelationer

I Tabellerna 11-15 har några av de starkaste korrelationerna i Appendix 5 sammanställts för att få fram eventuella gemensamma mönster i sambandet mellan elementhalter i kärna och markegenskaper för de undersökta sädeslagen. Tabell 11 visar sambandet mellan halt i kärna och halt i matjord för några av de analyserade grundämnena. Några entydiga mönster är svåra att se men för Ni, Cu och Mo verkar sambandet vara relativt starkt för alla de undersökta grödorna. För Cd och Cs är korrelationen något sämre.

Manganhalten i kärna är genomgående starkt negativt korrelerad till pH (Tabell 12), vilket förklaras av att pH tillsammans med redoxpotential i hög grad styr manganets växttillgänglighet. Manganbrist uppstår lätt vid höga pH i marken. Även upptaget av Zn och Mo är starkt korrelerat till pH. Molybden som förekommer i anjonform i marken är till skillnad från många andra spårelement mest lösligt vid höga pH i marken. Kadmium och Ni för vilka upptaget i vårvete, morötter och potatis i en annan undersökning (Öborn *et al.*, 1995) var starkt korrelerat till pH uppvisar här en svagare korrelation än flera andra ämnen. I havre är dock korrelationskoefficienten för dessa ämnen, liksom för en hel rad andra, hög. Detta kan till en viss del bero på att sambandet bäst kommer fram i havre eftersom den odlas på jordar över hela den i Sverige aktuella pH-skalan.

Matjordens humushalt tycks ha ganska liten betydelse för halterna av de flesta växtnäringsämnena och spårelementen (Tabell 13). I vete och korn är Co och Zn de ämnen vars halter har en viss positiv korrelation till humushalten. I korn är Cu (positivt) och Sr (negativt) de ämnen vars halter är starkast korrelerade till humushalten.

Mangan (negativt samband) och för korn och havre också Mo (positivt samband) är de ämnen vars upptag är starkast korrelerade till den effektiva katjonbyteskapaciteten (Tabell 14). Sambanden är troligen av indirekt natur. Den effektiva katjonbyteskapacitet-

Tabell 11. Korrelationer mellan halt i kärna och halt i matjorden för olika grundämnen. Data från Appendix 5a-c

*Table 11. Correlations between concentrations of different elements in grains and in the plough layer. Data from Appendix 5a-c*

Höstvete	Mo	Cd	Ni	Cu	Zn	Cs		
	0,52	0,44	0,41	0,40	0,17	0,15		
Korn	Cu	Ni	Zn	Cd	Cs	Mo	Co	
	0,37	0,37	0,28	0,28	0,21	0,18	0,15	
Havre	Ni	Mo	Cu	Cs	Co	Cd	Mn	Sr
	0,57	0,33	0,31	0,31	0,20	0,19	0,17	0,15

Tabell 12. Korrelationer mellan halt av olika grundämnen i kärna och pH i matjorden. Data från Appendix 5a-c

*Table 12. Correlations between concentrations of different elements in grains and pH in the plough layer. Data from Appendix 5a-c*

Höstvete	Mn	Zn	Mo	Co	Ni	Cs	Cd		
	-0,51	-0,47	0,38	-0,38	-0,25	-0,24	-0,22		
Korn	Mn	Mo	Zn	Ni	Co	Cu	Pb	Cd	
	-0,68	0,50	-0,41	-0,36	-0,21	-0,16	-0,15	-0,11	
Havre	Mn	Zn	Co	Mo	Cd	Ni	Cu	Mg	Ca
	-0,77	-0,60	-0,54	0,47	-0,46	-0,41	-0,38	-0,36	0,35

Tabell 13. Korrelationer mellan halt av olika grundämnen i kärna och humushalt i matjorden. Data från Appendix 5a-c

*Table 13. Correlations between concentrations of different elements in grains and organic matter content in the plough layer. Data from Appendix 5a-c*

Höstvete	Co	Zn	Cu		
	0,24	0,15	0,12		
Korn	Cu	Sr	Co	Mn	
	0,25	-0,25	0,21	0,16	
Havre	Co	Zn	Cd	Sr	Cu
	0,27	0,24	0,14	-0,14	0,12

ten och Mo-löslighet ökar, medan Mn-lösligheten minskar med ökande pH, därför samvarierar grödornas Mn- och Mo-halt med CEC. Även Sr-upptagningen är genomgående negativt korrelerad till CECEff, i detta fall förmodligen beroende på ökande konkurrens med Ca då CECEff ökar med ökande basmättnadsgrad (Ca-mättnadsgrad) och pH.

De element i växten som är starkast korrelerade till mineraljordarten är spårelement som Cu, Ni och Co (Tabell 15), som också uppvisar en stark korrelation mellan halt i marken och lerhalt (jfr Appendix 3). Det är dock svårt att göra någon generell rangordning, möjligen med undantag för kopparhalten som är relativt starkt positivt korrelerad till lerhalt. Ämnen som är starkt korrelerade till lerhalt är oftast också starkt korrelerade till sandhalt men med omvänt tecken.

Tabell 14. Korrelationer mellan halt av olika grundämnen i kärna och effektiv katjonbyteskapacitet i matjorden. Data från Appendix 5a-c

*Table 14. Correlations between concentrations of different elements in grains and effective CEC in the plough layer. Data from Appendix 5a-c*

Höstvete	Mn	Cu	Mo	Zn	Sr				
	-0,33	0,29	0,26	-0,22	-0,19				
Korn	Mn	Mo	Sr	Cu	Cd	Ca			
	-0,36	0,34	-0,27	0,21	0,20	0,14			
Havre	Mn	Mo	Zn	K	Sr	Ca	Mg	P	Cd
	-0,48	0,43	-0,29	0,26	-0,24	0,24	-0,18	-0,16	-0,14

Tabell 15. Korrelationer mellan halt av olika grundämnen i kärna och lerhalt i matjorden. Data från Appendix 5a-c

*Table 15. Correlations between concentrations of different elements in grains and clay content in the plough layer. Data from Appendix 5a-c*

Höstvete	Cu	Ni	Mg	Co	Mo	Sr	P		
	0,51	0,33	0,26	0,23	0,18	-0,16	0,12		
Korn	Cd	Cu	Co	Mn	Mo	Cs	Ni	Mg	
	0,29	0,29	0,26	-0,19	0,15	0,15	0,13	0,13	
Havre	Ni	Co	Cu	Cs	K	V	Zn		
	0,47	0,38	0,29	0,17	0,15	0,13	-0,10		

### Interaktioner mellan olika element i grödornas upptag

Korrelationsmatrisen (Appendix 5) visar att det mellan några element finns en ömsesidig påverkan mellan halten i marken och upptagningen i växten. De starkaste och tydligaste av dessa interaktioner redovisas i Tabell 16. I Tabell 17 redovisas också hur upp-

Tabell 16. Parvisa korrelationer mellan ett element i kärna och ett annat i mark (KM) och mellan samma element i marken (MM). För K, Mg och Ca har de procentuella andelarna av CECEff och för alla övriga variabler halter i mg kg<sup>-1</sup> använts i korrelationerna. Se Tabell 2 för signifikansnivåer

*Table 16. Pairwise correlations between one element in soil and another in grain (KM) and between the same elements in soil (MM). For K, Mg and Ca percent of effective CEC and for all other variables concentrations in mg kg<sup>-1</sup> were used. See Table 2 for levels of significance.*

Höstvete (n=582)			Korn (n=280)			Havre (n=198)		
KM	KM	MM	KM	KM	MM	KM	KM	MM
K-Mg	Mg-K	K-Mg	K-Mg	Mg-K	K-Mg	K-Mg	Mg-K	K-Mg
0,05	0,04	0,30	0,01	0,16	0,38	0,00	0,14	0,33
Ca-K	K-Ca	Ca-K	Ca-K	K-Ca	Ca-K	Ca-K	K-Ca	Ca-K
-0,18	-0,04	-0,46	-0,15	-0,07	-0,52	-0,25	0,04	-0,39
Mg-Ca	Ca-Mg	Mg-Ca	Mg-Ca	Ca-Mg	Mg-Ca	Mg-Ca	Ca-Mg	Mg-Ca
-0,32	-0,25	-0,81	-0,21	-0,23	-0,66	-0,28	-0,24	-0,59
Cd-Zn	Zn-Cd	Cd-Zn	Cd-Zn	Zn-Cd	Cd-Zn	Cd-Zn	Zn-Cd	Cd-Zn
0,21	0,02	0,55	0,23	0,06	0,58	0,24	-0,05	0,54
Cu-Mo	Mo-Cu	Cu-Mo	Cu-Mo	Mo-Cu	Cu-Mo	Cu-Mo	Mo-Cu	Cu-Mo
0,16	0,36	0,57	0,25	0,15	0,47	0,37	0,25	0,49
Cs-K	K-Cs	-	Cs-K	K-Cs	-	Cs-K	K-Cs	-
-0,36	-0,07		-0,36	-0,14		-0,25	0,05	
Sr-Ca	Ca-Sr	-	Sr-Ca	Ca-Sr	-	Sr-Ca	Ca-Sr	-
-0,02	0,05		-0,25	-0,06		-0,31	0,14	

Tabell 17. Parvisa korrelationer mellan ett element i kärna och kvoten mellan samma element och annat element i mark. Se Tabell 2 för signifikansnivåer

*Table 17. Pairwise correlations between an element in grain and the ratio between the same element and another element in soil. See Table 2 for levels of significance*

Höstvete (n=598)		Korn (n=319)		Havre (n=206)	
K – Mg/K	Mg – K/Mg	K – Mg/K	Mg – K/Mg	K – Mg/K	Mg – K/Mg
-0,01	-0,40	-0,10	-0,21	0,05	-0,20
Ca – K/Ca	K – Ca/K	Ca – K/Ca	K – Ca/K	Ca – K/Ca	K – Ca/K
-0,24	-0,08	-0,18	-0,08	-0,35	0,05
Ca – Mg/Ca	Mg – Ca/Mg	Ca – Mg/Ca	Mg – Ca/Mg	Ca – Mg/Ca	Mg – Ca/Mg
-0,32	-0,45	-0,24	-0,36	-0,29	-0,28
Cd – Zn/Cd	Zn – Cd/Zn	Cd – Zn/Cd	Zn – Cd/Zn	Cd – Zn/Cd	Zn – Cd/Zn
-0,24	-0,17	-0,05	-0,25	0,11	-0,12
Cu – Mo/Cu	Mo – Cu/Mo	Cu – Mo/Cu	Mo – Cu/Mo	Cu – Mo/Cu	Mo – Cu/Mo
-0,09	-0,38	0,01	-0,10	0,15	-0,15



taget av ett visst element i kärnan påverkas av kvoten mellan halterna av ett annat element och det aktuella elementet i marken.

För K och Mg är det känt att balansen i marken har betydelse för grödornas försörjning med dessa ämnen (Johansson & Hahlin, 1977). Av Tabell 16 framgår att för korn och havre har K-mättnadsgraden i marken viss positiv effekt på Mg-halten i kärnan, däremot gäller inte motsatsen. Om man istället relaterar Mg-upptaget till kvoten mellan de utbytbara fraktionerna K/Mg i marken (Tabell 17) får man en negativ samvariation för de studerade grödorna, dvs Mg-halten i kärnan minskar då K/Mg-kvoten i marken ökar. Däremot finns ingen liknande effekt på K-upptagningen.

En liknande interaktion finns mellan Ca-halten i kärnan och K-mättnadsgraden i marken (Tabell 16) innebärande att kärnans Ca-halt minskar med ökande K-mättnadsgrad på markens utbyteskomplex och att kärnans Ca-halt minskar med ökande K/Ca -kvot på utbyteskomplexet i marken (Tabell 17). Effekten kan tyckas självklar eftersom Ca och K konkurrerar om samma platser på utbyteskomplexet, men är ändå anmärkningsvärd med tanke på att Ca-mättnadsgraden är ca 75-90 % och K-mättnadsgraden 2-4 % (se Tabell 10). Kaliumupptaget förefaller inte påverkas av Ca-mättnadsgraden.

Även mellan utbytbart Ca och Mg i marken finns interaktioner som påverkar halten i kärnan, i detta fall dock ömsesidiga. Ökad mättnadsgrad av det ena elementet minskar upptaget av det andra (Tabellerna 16 och 17). Praktiskt innebär dessa interaktioner mellan Ca och andra utbytbara katjoner att kalkningen som ökar Ca-mättnadsgraden, ökar upptagningen av Ca men minskar upptagningen av Mg i stråsådeskärna. Det negativa samband som finns mellan utbytbart Ca och utbytbart Mg respektive K (Tabell 16) betyder också att en höjning av Ca-mättnadsgraden kan medföra en förlust av Mg och K genom jonbyte och utlakning. Det är därför klokt att inte eftersträva onödigt högt pH och hög basmättnadsgrad i marken vid kalkning.

När det gäller spårelementen förekommer liknande interaktioner. En sådan är att Cd och Zn är starkt positivt korrelerade i marken (Tabell 16). Detta leder till att Cd-halten i kärnan är praktiskt taget lika starkt positivt korrelerad till markens Zn-halt som till dess Cd-halt (Appendix 5). Däremot finns inga korrelationer mellan kärnans Zn-halt och markens Cd-halt. Det finns dock genomgående en negativ korrelation mellan kärnans Zn-halt och Cd/Zn-kvoten i marken. En tydlig tendens till minskad Cd-halt i grödan med ökande Zn/Cd-kvot i marken finns bara i vete (Tabell 17). Detta antyder att Zn-tillskott till marken inte generellt skulle minska Cd-upptagningen i grödan.

För Cu och Mo finns också en stark positiv korrelation mellan halterna i marken, och det finns också en ömsesidig positiv korrelation mellan dessa och halterna i kärnan (Tabell 16). Endast när det gäller Mo-upptagning finns det ett entydigt negativt samband med Cu/Mo-kvoten i marken (Tabell 17).

Vid kärnvapenprov i atmosfären och eventuella kärnkraftsolyckor kan man få en spridning av långlivade radioaktiva isotoper av Cs och Sr som deponeras på bland annat åkermarken. Enkla och billiga medel som testats för att förhindra upptag i grödorna via marken är tillförsel av kemiskt besläktade element, nämligen K via gödsling och Ca via kalkning (Haak, 1986). Den bakomliggande idén är att den relativt stora tillförseln av K

och Ca skall konkurrera med radioaktivt Cs respektive Sr och därmed minska upptaget av radioaktivitet. De Cs- och Sr-analyser som redovisas här domineras helt av markens naturliga innehåll av dessa ämnen, men även om mängderna är försumbara ingår naturligtvis också de långlivade radioaktiva isotoper som härrör från kärnvapenproven och Tjernobylolyckan, utspädda i det naturliga innehållet.

Som framgår av Appendix 3 och 4 finns en relativt stark positiv samvariation mellan halterna i marken av K-Cs respektive Ca-Sr. Tabell 16 visar att för Cs finns en tämligen stark och entydig, negativ samvariation med mängden utbytbart K i marken och Cs-upptaget i kärnan. För Sr finns ett entydigt negativt samband mellan Ca-mättnadsgraden hos markens utbyteskomplex och Sr-upptaget i kärnan. När det gäller höstvetete är dock sambandet närmast obefintligt, möjligen beroende på att vetejordarna naturligt har ett relativt stort innehåll av utbytbart växttillgängligt Ca.

## Kompletteringar av data publicerade i tidigare rapporter

### Tungmetaller och avloppsslam

I den första rapporten av data från åkermarksprovtagningen (Eriksson *et al.*, 1997) diskuterades halterna av de tungmetaller för vilka det finns restriktioner när det gäller spridning av avloppsslam. De data som kom fram i undersökningen ledde till att gränsvärdena för tillåtna halter av Zn och Cr i marken vid slamspridning höjdes (NV, 1998). Motiveringen var att de framtagna alvkartorna visade att höga halter i framförallt Mälardalen är betingade av höga halter i modernmaterial och att de tidigare gränsvärdena därför tenderade att ligga lägre än markens naturliga halter. Därför höjdes de generella gränsvärdena för Cr från 30 till 60 mg kg<sup>-1</sup> och för Zn från 75 till 100 mg kg<sup>-1</sup>. I Jämtlands, Stockholms, Södermanlands, Uppsala, Västernorrlands och Västmanlands län sattes det nya gränsvärdet för Zn-halt i matjorden till 150 mg kg<sup>-1</sup>. Eftersom just Cr och Zn med de tidigare gränsvärdena var de tungmetaller som framförallt begränsade användningen av slam har andelen mark där slamtillförsel ej är tillåten minskat avsevärt. Andelen jordar med Zn-halter över gränsvärdet minskade från 27 till 3 % och andelen jordar med Cr-halter över gränsvärdet minskade från 22 till 0,3 %. Den sammanlagda andelen jordar med halter över gränsvärdet för någon av de aktuella sju metallerna minskade från 37 till drygt 13 %.

Nickel är en av tungmetallerna för vilka det finns restriktioner när det gäller spridning av avloppsslam. I Eriksson *et al.* (1997) redovisades dock inga kartor över åkermarkens Ni-halter, men då sådana efterfrågats redovisas de här (Karta 3). Kartorna visar ungefär samma mönster som kartorna över Pb- och Cu-halter i Eriksson *et al.* (1997). Nickelhalterna är liksom halterna av dessa ämnen högst i lerjordsområdena i Mellansverige samt i Jämtland och Västernorrland. Nickel hör till den grupp tungmetaller vars halter enligt PCA-analysen var starkt korrelerade till lerhalten. De höga Ni-halterna i Jämtland torde, liksom är fallet för flera av de andra tungmetallerna, bero på inslaget av alunskiffer i jordarnas modernmaterial. Matjorden innehåller i genomsnitt mindre Ni än alven (Karta 3). Nettotillskottet av Ni till åkermarken under 1900-talet kan, bortsett från lokala

undantag bara ha varit några procent (Andersson, 1992). En förklaring till den högre halten i alvjorden kan vara att lerhalten ofta är högre där än i matjorden. Frigörande i löslig form genom vittring och efterföljande lakning nedåt och fastläggning i djupare delar av profilen kan också ha bidragit till högre halter i alven än i matjorden. Andelen jordar med Ni-halter över gränsvärdet på  $30 \text{ mg kg}^{-1}$  vid spridning av avloppsslam är 4,5 %.

## Jämtland och Norrbottens län

I Tabellerna 18-19 redovisas statistik över matjordarna i Jämtlands och Norrbottens län efter komplettering med data från prover tagna och analyserade 1998 (se Material och metoder). Medel- och medianvärden skiljer sig ej särskilt mycket från dem som tidigare redovisats i Eriksson *et al.* (1997). I Jämtlands län är de nya medelhalterna av spårelementen i många fall lite lägre än tidigare redovisat. Fortfarande är dock halterna av de flesta spårelement bland de högsta i landet, vilket som framgår av Eriksson *et al.* (1997) troligen kan förklaras av förekomsten av alunskiffer i modermaterialet. Jämtlands län har de högsta och Norrbottens län de lägsta Cd-halterna i landet. I Norrbottens län hade de tillkommande proven högre humushalt än de tidigare redovisade varför den nya medelhalten blev ca 1 % och medianvärdet 0,3 % högre än tidigare. Anmärkningsvärt är att norrbottensjordarna näst efter jordarna i Kronobergs län har landets högsta median- och medelvärden för P-HCl. Dessa halter är naturligt betingade och P-AL-värdena är betydligt lägre än i Sydsverige

## Geografisk variation i markens naturliga cesium- och strontiumhalter

Matjordens naturliga cesiumhalter visar samma geografiska variationsmönster som många andra spårelement t ex Cu, Mn och Zn (Eriksson *et al.*, 1997) med högsta halter i ett stråk från Jämtland ut mot kusten samt i lerjordsområdena i östra Mellansverige (Karta 4). I södra Sverige inklusive Öland och Gotland är halterna under genomsnittet speciellt i åkermarken på Sydsvenska höglandet. Höga halter i lerjordarna beror troligen på att Cs binds på samma sätt som K i lermineralen. För andra spårelement tycks höga halter i marken i Jämtland vara relaterade till förekomst av alunskiffer. För Cs är en sådan koppling dock tveksam eftersom områdena med alunskiffer på Öland och på Österlen i Skåne inte visar några förhöjda halter.

De naturliga Sr-halterna är högre än genomsnittet i lerjordsområdena i östra Götaland och östra Svealand, i kalkhaltiga jordar i t ex sydvästra Skåne, Västergötland, Öland och Gotland samt i ett område i östra Småland (Karta 5). Strontiums geokemiska association till Ca förklarar förekomsten i kalkhaltiga jordar och höga uppmätta halter av Sr och andra spårelement i lerjordar kan som tidigare diskuterats, både bero på att elementen anrikas i leret i jordmånsbildningen och på att den använda extraktionsmetoden är mer effektiv på finkorniga jordar. De höga halterna i östra Småland är dock svåra att förklara. Området i östra Småland har höga Sr-halter även i skogsmarkernas C-horisont (Melkerud *et al.*, 1992).

Tabell 18. Matjordens egenskaper i åkermarken i Jämtlands län. Alla halter är angivna per jordens torrs substans

Table 18. Properties of the plough layer of arable land in Jämtland county. All concentrations are given per unit soil dry matter

	Humus- halt, %	Kväve, %	C/N- kvot	Svavel, %	C/S- kvot	N/S- kvot	Karbo- natkol, % CaCO <sub>3</sub>	pH
Antal	52	52	52	52	52	52	52	52
Min värde	2,4	0,14	8	0,019	8	0,5	0,0	5,0
Max värde	49,4	1,92	17	0,323	127	11,0	8,4	8,0
Medelvärde	8,3	0,41	11	0,065	78	7,2	0,3	6,1
Stdav	7,6	0,28	2	0,060	18	1,6	1,3	0,6
Percentiler:								
10 %	3,7	0,21	9	0,025	61	5,5	0,0	5,6
25 %	4,5	0,25	10	0,034	69	6,2	0,0	5,8
50 %	6,3	0,34	11	0,047	78	7,4	0,0	6,0
75 %	8,4	0,43	12	0,064	86	8,2	0,0	6,3
90 %	14,6	0,66	13	0,113	93	8,8	0,0	7,0

	Utbytbara katjoner, % av CEC					CECeff cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Effektiv basm. grad %	Ca/Mg- kvot
	Ca %	Mg %	K %	Na %	Aciditet %			
Antal	52	52	52	52	52	52	52	52
Min värde	43	0,6	0,2	0,1	0,0	4,6	50	8
Max värde	98	13,7	9,8	1,8	50,2	99,7	100	255
Medelvärde	86	5,6	2,2	0,5	6,2	22,6	94	44
Stdav	12	3,2	1,9	0,3	9,4	20,1	9	46
Percentiler:								
10 %	72	1,6	0,7	0,1	0,2	7,8	84	14
25 %	80	3,0	1,2	0,2	0,6	11,0	93	18
50 %	90	5,3	1,7	0,3	2,5	16,0	98	27
75 %	95	7,6	2,4	0,6	7,5	25,4	99	53
90 %	96	9,1	4,2	0,8	15,9	50,5	100	97

	K/Mg- kvot	P-AL	P-HCl	P-AL/ P-HCl- kvot	As	B	Pb	Cs
		mg 100 g <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>			
Antal	52	52	52	52	52	38	52	52
Min värde	0,4	1,1	44	0,02	0,9	0,10	6,8	0,9
Max värde	3,7	26,5	148	0,21	33,0	2,26	52,1	10,9
Medelvärde	1,3	5,9	87	0,07	9,9	0,47	20,5	3,5
Stdav	0,7	4,6	23	0,04	6,8	0,38	10,1	1,9
Percentiler:								
10 %	0,6	2,1	54	0,03	4,8	0,14	11,6	1,7
25 %	0,9	2,4	71	0,04	5,9	0,25	14,8	2,4
50 %	1,1	4,0	87	0,05	8,0	0,39	17,9	3,0
75 %	1,5	8,0	100	0,08	10,4	0,55	23,6	4,1
90 %	2,1	10,6	116	0,12	17,9	0,76	31,5	5,4

Tabell 18. fortsättning

Table 18. continued

	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mn	Mo	Ni
	mg kg <sup>-1</sup>							
Antal	52	52	52	52	52	52	52	52
Min värde	0,07	0,5	3,1	6,0	0,018	141	0,54	4,0
Max värde	2,83	21,1	80,4	33,2	0,334	6209	69,26	86,5
Medelvärde	0,50	9,4	20,8	19,5	0,058	1120	6,85	27,0
Stdav	0,48	4,4	13,0	5,2	0,048	960	13,13	15,4
Percentiler:								
10 %	0,14	3,5	9,6	13,5	0,027	362	1,44	9,6
25 %	0,22	6,7	12,0	16,3	0,035	627	1,64	17,2
50 %	0,35	9,4	18,9	19,6	0,046	916	2,15	25,9
75 %	0,67	12,1	25,2	22,4	0,061	1368	3,32	33,5
90 %	0,90	15,0	34,7	26,0	0,095	1671	16,29	44,9

	Se	Sr	V	Zn	Cu/Mo- kvot	Cd/Zn- kvot
	mg kg <sup>-1</sup>					
Antal	52	52	52	52	52	52
Min värde	0,11	6	15	17	1	0,002
Max värde	2,69	87	285	223	26	0,016
Medelvärde	0,54	24	43	96	8	0,005
Stdav	0,55	15	40	39	5	0,003
Percentiler:						
10 %	0,17	14	25	53	1	0,002
25 %	0,21	16	27	71	5	0,003
50 %	0,34	19	33	100	8	0,004
75 %	0,62	26	40	117	11	0,006
90 %	1,16	35	62	142	14	0,010

### Jordarternas fördelning och betydelse för växtnäringsförluster

De provtagna jordarnas kornstorleksammansättning har tidigare redovisats i Eriksson *et al.* (1999). En aspekt som ej redovisades i den rapporten är att de framtagna jordartskartorna något avviker från de kartor som togs fram av Ekström på 1950-talet (Ekström, 1953). Detta gäller även om man tar hänsyn till att Ekström har andra gränser mellan lättlera och mellanlera liksom också mellan mellanlera och styv lera. På vår interpolerade karta faller Ängelholmsslättens jordar till övervägande del inom jordartsklassen lättlera, medan Ekströms karta visar ett stort område dominerat av vad han benämner styv mellanlera (40-50% ler). Karta 6c och d visar att det förekommer styva leror i området men att omfattningen förmodligen är betydligt mindre än vad Ekström ansåg eftersom det också finns många lerbria och svagt leriga jordar i samma område (karta 6a). I norra Västergötland syns området med de mycket styva Vadsbolerorna tydligt även på våra kartor men i övrigt verkar frekvensen styva leror vara mindre öster om Väneren än vad Ekström anger. Den höga frekvensen av styva leror i östra Götaland och östra Svealand (Karta 6c och d) stämmer i stort sett överens med Ekströms jordartskarta. Karta 6 d visar

Tabell 19. Matjordens egenskaper i åkermarken i Norrbottens län. Alla halter är angivna per jordens torrsbstans

Table 19. Properties of the plough layer of arable land in Norrbotten county. All concentrations are given per unit soil dry matter

	Humus- halt, %	Kväve %	C/N- kvot	Svavel %	C/S- kvot	N/S- kvot	Karbo- natkol, % CaCO <sub>3</sub>	pH
Antal	47	44	44	44	44	44	44	47
Min värde	0,5	0,01	9	0,015	6	0,2	0,0	4,3
Max värde	32,9	1,27	27	0,402	237	16,9	0,0	7,8
Medelvärde	6,6	0,28	13	0,076	74	5,7	0,0	6,0
Stdav	6,8	0,25	3	0,099	38	2,9	0,0	0,6
Percentiler:								
10 %	2,3	0,11	10	0,018	37	2,7	0,0	5,1
25 %	3,3	0,15	11	0,022	53	4,2	0,0	5,7
50 %	4,2	0,18	13	0,030	71	5,7	0,0	5,9
75 %	6,6	0,26	15	0,064	96	7,2	0,0	6,3
90 %	11,1	0,52	17	0,257	107	8,3	0,0	6,7

	Utbytbara katjoner, % av CEC					CECeff cmol <sub>e</sub> kg <sup>-1</sup>	Effektiv basm. grad %	Ca/Mg- kvot
	Ca %	Mg %	K %	Na %	Aciditet %			
Antal	42	42	42	42	32	42	42	42
Min värde	43	3,6	0,9	0,3	0,1	2,9	55	3
Max värde	94	34,8	12,6	2,0	45,1	31,0	100	41
Medelvärde	71	12,9	3,4	1,0	11,4	9,2	89	13
Stdav	12	7,5	2,5	0,4	13,0	5,2	13	8
Percentiler:								
10 %	55	5,9	1,4	0,5	0,7	4,1	68	6
25 %	60	7,7	2,0	0,6	2,4	5,1	83	7
50 %	75	11,5	2,6	0,9	5,0	7,7	95	9
75 %	80	16,5	3,9	1,2	16,9	12,2	98	16
90 %	84	22,0	5,7	1,5	32,4	13,8	99	22

	K/Mg- kvot	P-AL	P-HCl	P-AL/ P-HCl- kvot	As	B	Pb	Cs
		mg 100 g <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>			
Antal	42	44	44	44	47	19	47	47
Min värde	0,1	1,7	60	0,01	0,9	0,06	4,2	0,4
Max värde	6,1	18,7	177	0,22	15,1	0,37	19,5	3,5
Medelvärde	1,2	7,4	105	0,07	5,5	0,19	9,2	1,4
Stdav	1,1	3,9	29	0,04	3,4	0,09	3,7	0,7
Percentiler:								
10 %	0,3	3,6	71	0,04	1,6	0,09	4,8	0,4
25 %	0,5	4,5	85	0,05	2,7	0,12	6,3	0,8
50 %	1,0	6,5	99	0,06	4,9	0,17	8,7	1,4
75 %	1,4	9,2	123	0,09	7,8	0,26	10,8	1,9
90 %	2,0	12,5	140	0,12	10,3	0,29	13,8	2,1

Tabell 19. fortsättning

Table 19. continued

	<b>Cd</b>	<b>Co</b>	<b>Cu</b>	<b>Cr</b>	<b>Hg</b>	<b>Mn</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>
	<b>mg kg<sup>-1</sup></b>							
Antal	47	47	47	47	47	47	47	47
Min värde	0,03	1,4	2,3	5,5	0,012	93	0,21	3,2
Max värde	0,46	14,1	100,0	46,3	0,075	1527	7,59	32,1
Medelvärde	0,13	5,1	14,3	24,7	0,028	362	1,57	10,9
Stdav	0,08	2,9	14,3	9,4	0,013	270	1,38	6,2
Percentiler:								
10 %	0,06	2,0	5,4	13,2	0,014	144	0,43	4,9
25 %	0,08	3,2	7,2	17,8	0,020	213	0,65	6,8
50 %	0,11	4,4	11,7	23,6	0,026	278	1,10	9,6
75 %	0,14	5,9	17,6	30,0	0,032	383	2,00	13,1
90 %	0,23	8,6	20,8	37,6	0,041	665	3,24	17,0

	<b>Se</b>	<b>Sr</b>	<b>V</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu/Mo-</b>	<b>Cd/Zn-</b>
	<b>mg kg<sup>-1</sup></b>				<b>kvot</b>	<b>kvot</b>
Antal	44	47	47	47	47	47
Min värde	0,03	11	14	14	2	0,001
Max värde	0,51	68	177	98	33	0,011
Medelvärde	0,19	23	50	46	11	0,003
Stdav	0,12	10	31	20	7	0,002
Percentiler:						
10 %	0,06	12	26	24	5	0,002
25 %	0,10	16	35	29	7	0,002
50 %	0,16	21	39	48	9	0,003
75 %	0,25	27	57	56	12	0,003
90 %	0,33	34	78	71	21	0,004

också att de mycket styva lerorna, totalt ca 75000 ha, är betydligt vanligare i dessa områden än i någon annan del av landet. I vår undersökning har mineraljordens kornstorleksfraktioner separerats och bestämts enligt standardiserade kemiskt-fysikaliska metoder. Ekström (1953) kan ibland ha fått förlita sig på fältmetoder som bygger på materialets plasticitet. Plasticiteten bestäms visserligen i hög grad av materialets finfördelningsgrad (lerhalt), men också av sådana faktorer som mineraltyp, partikelform, humushalt m m.

Karta 6a över de lerfattigaste jordarna (ca 420000 ha) ger en god indikation på var frekvensen är hög av genomsläppliga sandiga-moiga jordar med stor risk för utlakning, främst av nitrat. På dessa jordar, som är speciellt vanliga i sydvästra delen av landet är grödornas rotzon i stort sett begränsad till matjorden. Detta medför att nitrat som lakas till djupare horisonter är förlorat för grödorna. Den höga genomsläppligheten gör också att grundvattnet lätt kan förorenas genom utlakningen. Karta 6b visar områden med jordar med högt mjälainnehåll där finkornigt material lätt eroderar vid kraftig nederbörd och hög vattenmättand på grund av jordarnas låga aggregatstabilitet. På de styva lerjor-

och d) kan igensvällning vid hög vattenmättnad leda till ytavrinning och erosionsförluster av finkornigt material, speciellt från tjälad och obevuxen mark. I vissa områden med svårgenomsläppliga jordar har man medvetet genom jordbearbetningen skapat en ytreliet som underlättar ytavrinning i samband med t ex snösmältningen. Motivet är att få en snabbare upptorkning och ett tidigare vårbruk till stånd.

Genom partikelerosion, som i första hand berör markens mest finkorniga och näringsrika delar, förloras också partiklarnas innehåll av växtnäring. Utöver erosion genom ytvattenavrinning uppvisar lerjordarna också en intern erosion i markprofilen, med partikelförluster via dräneringsledningarna. Enligt Leek & Rekolainen (1996) sker bara ca en tredjedel av arealförlusterna av fosfor genom utlakning i löst form. Resterande två tredjedelar sker i suspenderad form i samband med partikelerosion. Den suspenderade delen anses dock inte vara lika omedelbart biotillgänglig som löst ortofosfat. Kartorna 6b-d visar områden med speciella förutsättningar för denna typ av växtnäringsförluster. Hur mycket ytvattensystemen sedan påverkas blir beroende av hur stor andel av avrinningsområdet som är åkermark, alla andra faktorer lika.



# Avslutande kommentarer

---

## Trender i efterkrigstidens jordbruk

Efterkrigstiden har inneburit stora förändringar i svenskt jordbruk och svensk jordbruksmark. Bl a har det skett en differentiering av markanvändningen innebärande en intensiv animalieproduktion i områden med magrare och mindre produktiva jordar, t ex på Sydsvenska höglandet med randområden. Verksamheten där har baserats på en intensiv foderproduktion på den egna arealen kombinerat med köpta fodermedel från områden med produktion av avsalugrödor och liten djurhållning, t ex slättområdena i Mälardalen, eller från utlandet. Resultatet har blivit en hög djurtäthet med riklig tillgång på stallgödsel i animalieproducerande områden. Det har skett en omfördelning dit av växtnäring från områden och enheter med produktion av avsalugrödor och liten eller ingen djurhållning. Detta är speciellt märkbart för fosfor (Andersson *et al.*, 1998) som binds hårt i marken och som därför lagras upp där när tillförda mängden överstiger bortförsele.

Det har också skett stora förändringar i djurhållning och stallgödselhantering. För femtio år sedan dominerade blandad djurhållning med nötkreatur och svin, och gödseln från dessa hanterades som fastgödsel. Med tiden har det sedan skett en allt mer långtgående specialisering på olika typer av djurhållning med nötkreatur på vissa brukningsenheter och svin på andra. Utvecklingen har också gått mot ytterligare specialisering med skilda enheter för smågris- respektive slaktsvinsproduktion och, när det gäller nöt, för mjölk- respektive köttproduktion. Speciellt när det gäller svinproduktionen har marknadskrafterna och produktionsrådgivningen lett till uppfödningmetoder som frestar hårt på djurmaterialet. Exempel är den tidiga avvänjningen i smågrisproduktionen och sammanföringen av djur med olika ursprung till allt större enheter i slaktsvinsproduktionen. Detta är produktionsmetoder som verkar kräva generella antibiotikatillsatser i fodret för att undvika produktionsstörningar. Eftersom sådana är förbjudna i Sverige har man försökt nå samma effekt med relativt höga tillsatser av Zn och i viss mån Cu i fodret, vilket ger förhöjda halter i stallgödseln (Steineck *et al.*, 1999) och så småningom också i åkermarken (Eriksson *et al.*, 1997). En indikation på produktionsmetodernas påfrestringar är antalet av veterinärer och djurägare utförda sjukdomsbehandlingar. I vissa län (Hallands, f d Malmöhus och Kristianstads län) uppgick dessa 1995 till 30 eller fler per 100 svin (SCB, 1999a).

Uppspjälkningen av animalieproduktionen på ett antal driftsformer med skillnader i utfodringen ger stallgödsel med olika innehåll av växtnäring och spårelement. Detta innebär att man i ett miljövänligt jordbruk inte kan använda schablon doseringar (Claesson & Steineck, 1991; Steineck *et al.*, 1991) oberoende av stallgödsetyp. Om man vill ha precision i växtnäringstillförelsen måste doseringsrekommendationerna anpassas till driftsform och stallgödsetyp, och baseras på någorlunda aktuella och representativa analysdata rörande åtminstone halterna av N och P. En stor del av stallgödselagringen och spridningen sker numera också i form av flytgödsel som inkluderar urin. Detta ger högre

N- och K-halter än i fastgödsel, vilket också motiverar differentierade doseringsrekommendationer. Bristerna i stallgödselanvändningen och stallgödselns betydelse för växt-näringsutlakningen har tidigare påtalats av t ex Wiklander (1973) och Brink (1985) och detaljstuderats och utvärderats av Andersson (1986) som bl a påpekar att man använde handelsgödsel utan att beakta växtnäringstillförseln med stallgödseln. Vad som därefter skett är att man försökt anpassa djurtätheten och eliminera lagrings- och spridningsförluster, men fortfarande används stallgödseln praktiskt taget i blindo. Man har en grov uppfattning om mängden producerad gödsel, men vet oftast mycket lite om dess halter av växtnäringssämnen, och fortfarande används handelsgödsel utan hänsyn till N-tillförseln med stallgödseln (LRF, 1998). Det är anmärkningsvärt hur stora resurser som spenderats på doseringen av den lätthanterliga handelsgödseln och hur lite som gjorts för att få bättre precision i stallgödseldoseringen. För detta krävs att stallgödseln på de enskilda brukningsenheterna analyseras då och då, t ex en eller ett par gånger i växtföljden eftersom utfodringen förändras över tiden.

En företeelse under efterkrigsperioden som starkt påverkat åkermarken är den medvetna uppgödsling med fosfor som skett i avsikt att öka bördighet och odlingssäkerhet. Innebörden är att man överfört fosfor från världens brytbara tillgångar till åkermarken där huvuddelen lagrats upp som ett välbehövligt buffertförråd, vilket inte är liktydigt med att fosfor förbrukats. Av de skånska bördighetsförsökens uppläggning framgår hur takten i uppgödslingen var tänkt, nämligen en långsam variant med en överskottstillförsel jämfört med bortförseln motsvarande  $15 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  och en snabbare variant motsvarande ett överskott på  $30 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  i genomsnitt (Jansson, 1975). Den kartering som genomförts visar att man lyckats väl med uppgödslingen och att fosfortillståndet numera är gott i de flesta jordar (Eriksson *et al.*, 1997). Under perioden 1955-1995 har som genomsnitt för landet ett fosforförråd motsvarande ca 600 kg P per hektar lagrats upp i matjorden (Andersson *et al.*, 1998). I genomsnitt per år motsvarar detta ca 15 kg P per hektar, dvs vad som i bördighetsförsöken betecknas långsam uppgödsling.

Det finns emellertid en region där upplagringen varit betydligt snabbare och större, nämligen Sydsvenska höglandet med randområden. I några av länen här (Hallands, Kronobergs, Blekinge och f d Kristianstads län) finns numera ca 1 000 kg P eller mer upplagrat i åkermarkens matjordsskikt. Detta motsvarar en årlig överskottstillförsel på ca 25-30 kg P per hektar under den aktuella perioden. Från försäljningsstatistiken för handelsgödsel (SCB, 1995; 1999b) avseende Hallands och Blekinge län, där det finns statistik för hela perioden 1955-1995, kan utläsas att handelsgödsel förbrukningen i länen svarat för ca 75 % eller 700-900 kg P per hektar. Resterande fjärdedel, eller ca 200-300 kg P per hektar, härrör från en omfördelning av fosfor från köpta fodermedel som via stallgödseln tillförts marken. I denna region har man således utöver den medvetna bördighetsförbättringen genom överskottstillförsel av handelsgödsel fosfor också fått en oplanerad överskottstillförsel med stallgödseln genom en omfördelning av fosfor från foderproducerande områden.

Stallgödseln har emellertid också tillfört kväve. Från konventionell djurhållning (Stein-eck *et al.*, 1999) kan beräknas att stallgödseln kan innehålla ca 3-3,5 kg N per kg P. Detta skulle betyda att tillskotten av fosfor i köpta fodermedel också medfört ett oplanerat tillskott av ca 600-1 000 kg N per hektar eller i genomsnitt  $15-25 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$  under den aktuella perioden. Det är lätt att förstå att Laholmsbukten kan bli hårt belastad av

växtnäring när, utöver tillförseln med havsströmmar, atmosfärisk deposition och tillrinningen från mindre vattendrag i närområdet, två relativt stora vattendrag (Lagan och Nissan) mynnar där. Dessa avvattnar en stor del av Halland och västra Småland, visserligen med relativt liten andel åker men med intensiv animalieproduktion och genomsläppliga jordar.

Även om det på 1950-talet fanns idéer om takten i fosforuppgödslingen så angavs aldrig något mål för densamma. De markkarteringsanalyser som årligen utförs ger inte nämnvärd information om upplagringens storlek och förlopp. Skälet är att man allt för mycket har koncentrerat sig på den lättlösliga fraktionen (P-AL) och till stor del släppt förrådsfosforanalyserna (P-HCl). Skälet är att HCl-extraktionen från produktionssynpunkt anses för stark och att korrelationen med tillväxt och gödslingseffekter är osäker (Mattsson, 1995). P-AL-extraktionen är svagare och frigör en mer labil och variabel fosforfraktion, som utgör ca 5-25 % av förrådsfosforinnehållet (Eriksson *et al.*, 1997). Det finns emellertid inga vattentäta skott mellan olika fosforfraktioner. Om därför belastningen på de lättlösliga fraktionerna ökar genom upptag i biomassan kan dessa fraktioner fyllas på från förråden. Fosforförlusterna från åkermarken till ytvattensystemen sker dessutom utöver i löst form till en del som erosion, dvs i form av suspenderade ler- och humuspartiklar inklusive deras totala innehåll av fosfor (Leek & Rekolainen, 1996). Risken för olägenheter i ytvattensystemen ökar rimligen med mängden fosfor som tillförs dessa, vilket i sin tur ökar med åkermarkens fosforinnehåll, alla andra faktorer lika. Numera har ca 75 % av åkermarken förrådsfosforklass IV eller V (Eriksson *et al.*, 1997), vilket torde vara tillräckligt och från vattenvårdssynpunkt t o m i mesta laget. På de flesta jordar behöver man således inte längre öka fosforhalten genom systematisk överskottstillförsel i förhållande till bortförseln.

Sedan mitten av 1970-talet har man också minskat användningen av handelsgödsel fosfor väsentligt. För Skåne och Hallands län har tillförseln minskat till ungefär en tredjedel eller mindre. Som genomsnitt för landet har P-tillförseln per arealenhet mer än halverats. Totalförbrukningen har minskat från ca 65 000 till ca 22 000 ton P per år (SCB, 1995; 1999b). Nedgången i användandet av handelsgödselkväve har däremot varit närmast försumbar räknat per arealenhet men totalförbrukningen har minskat från ca 230 000 till ca 200 000 ton per år sedan mitten av 1970-talet (SCB, 1995; 1999b). Detta beror emellertid delvis på en minskning av åkermarksarealen från ca 2,98 till ca 2,78 milj. hektar (SCB, 1995; 1999a).

Man kan också finna en viss nedgång i P-halterna i några sydsvenska vattendrag med långa mätserier. Här har emellertid också en minskad användning av fosfor i disk- och tvättmedel samt förbättrad reningsteknik i och utbyggnad av kommunala reningsverk inverkat. Däremot finns definitivt ingen minskning av N-koncentrationerna och N-transporten (SCB, 1998), även om modellberäkningar visar på minskad utlakning från åkermarken (Johnsson & Hoffmann, 1996). Därmed verkar de odlingsåtgärder i form av fånggrödor och förbättrad spridnings- och lagringsteknik för stallgödsel som genomförts ha haft liten effekt på utlakningsförlusterna för kväve. De genomförda åtgärderna var avsedda att öka effektiviteten i kväveförsörjningen genom att kvantiteter som tidigare belastat miljön genom läckage och NH<sub>3</sub>-avdunstning skulle komma åkermark och grödor till godo. Endast om detta leder till motsvarande minskning i tillförseln av handelsgödselkväve eller ökande skördeuttag kan förfarandet förväntas minska utlakningen.

Någon sådan minskning av tillförseln per arealenhet har som nämnts inte skett och avkastningen har under senare år legat tämligen konstant om man bortser från förekommande årsmånsvariationer. Någon ökning i avkastning var för övrigt inte heller att vänta eftersom utbudet av växtnäring redan tidigare var tillräckligt. Troligen är det så att om man vill minska mängden ut från ett öppet system som marken så måste man först minska mängden in. Fånggrödor och övriga åtgärder mot N-läckaget torde därför behöva kompletteras med en minskning av N-tillförseln per arealenhet.

## Metoder att förbättra styrningen av växtnäringsflödena

Flera av undersökningarna som refererats ovan har visat på stallgödselets nyckelroll när det gäller att få balans i växtnäringsflödena. Bristen på differentierade doseringsföreskrifter gör att man med en giva motsvarande 30 ton ha<sup>-1</sup> (våtvikt) kan tillföra från ca 145 kg N och 45 kg P per hektar upp till 230 kg N och 150 kg P per hektar, beroende på om gödseln härrör från en mjölkobesättning eller från en enhet med smågrisproduktion (Steineck *et al.*, 1999). Det räcker då inte med att förfina spridningstekniken så att den ger exakt mängd stallgödsel per arealenhet utan man måste övergå till metoder där spridningen ger avsedd mängd N och P, dvs doseringen måste baseras på analysdata rörande växtnäringsinnehållet i stallgödseln som skall spridas.

Ännu sämre kan resultatet bli om man använder avloppsslam i enlighet med myndigheternas rekommendationer (NV, 1994; 1998). Enligt dessa får man med en giva normalt tillföra maximalt 154 kg P och 150 kg NH<sub>4</sub>-N per hektar. På fosforsvaga jordar (AL-klass I och II) medger reglerna en tillförsel av 245 kg P på en gång. Relationen mellan P- och N-halterna i slammet (SCB, 1997b) betyder då en total N-giva på ca 300 kg tot-N per hektar. Fortfarande gäller emellertid gränsvärdet 150 kg NH<sub>4</sub>-N per hektar, men man bör inte så totalt negligera den totala N-tillförseln om man vill ha ett miljövänligt jordbruk. Även det organiska kvävet mineraliseras och nitrifieras mer eller mindre snabbt och blir därmed tillgängligt för utlakning. Man kan också få en uttvättning i partikulär form. För fosfor gäller att även om en i jämförelse med tillförseln negligierbar mängd på 1-2 % skulle lakas ut, skulle detta ändå betyda en 5-10 dubbling av den genomsnittliga, normala arealförlusten på ca 0,3 kg P ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> (Ulén, 1997).

På de flesta jordar finns det inte längre anledning att öka förråden av fosfor. Stora förråd av fosfor i jordbruksmarken är naturligtvis ingen nackdel för jordbruksdriften, men risken för förluster och olägenheter därav i ytvattensystemen torde öka med ökande växtnäringsförråd i åkermarken. Genom att anpassa tillförseln av fosfor så att den enbart balanserar bortförseln bibehåller man bördigheten men undviker ytterligare upplagring med ökande läckagerisker. Detta kräver analysdata på gödselmedlens innehåll av växtnäring och sedan dosering därefter. Man måste också någorlunda kunna kvantifiera bortförseln i grödorna, speciellt på brukningsenheter med produktion av avsalugrödor. Det är också viktigt att man på brukningsenheter med animalieproduktion kvantifierar tillskotten av växtnäring i köpta fodermedel, liksom förlusterna i sålda produkter. Som påpekats av Ulén (1997) kan det också finnas behov av justeringar i foderstaterna för att undvika lyxkonsumtion av växtnäring. Rådgivningen rörande utfodringen inom anima-

lieproduktionen måste beakta att stallgödselels sammansättning till stor del bestäms av utfodringen. Tillväxtbefrämjande tillskott av t ex Zn hamnar till största delen i stallgödselels och ackumuleras sedan i marken där den sprids. Liksom vid växtodlingsrådgivning krävs det därför att miljöaspekterna beaktas också i utfodringsrådgivningen. Oavsett om det gäller växtodling eller djurhållning bör den typ av produktionsrådgivning försvinna, som inte fullt ut beaktar eventuella miljö- och hälsoeffekter, eftersom den leder in jordbruket i återvändergränder.

De genomförda undersökningarna av tillståndet i åkermarken har visat att det krävs en kraftfullare styrning av växtnäringsflödena än hittills. Som framgått ovan innebär detta krav på betydligt fler representativa analysdata från den egna brukningsenheten och mindre av schablondata. Metoden att anpassa gödselgivorna så att de enbart balanserar bortförelsen i grödorna är prövat för fosfor i försöksmässig skala i ett försöksled (B-ledet) i de skånska bördighetsförelsen (Jansson, 1975) och man har lyckats bra med att hålla en i stort sett konstant nivå. De nuvarande halterna i matjordsskiktet avviker relativt lite från utgångsvärdena 1957 då förelsen startades (Andersson *et al.*, 1998). Provtagnings- och mätprogrammet som använts har dock varit mer omfattande och avancerat än vad som är möjligt i praktisk drift. Det krävs emellertid inga svåra beräkningar för att balansera växtnäringsflödena för den enskilda brukningsenheten. Svårigheterna ligger i de provtagningar som behövs och i att de analyser som krävs medför en kostnad.

Den skisserade typen av växtnäringsstyrning prövas f n i praktisk skala på några typgårdar i delprojektet "Flöden och balanser av mineralnäringsämnen och spårelement på fält- och gårdsnivå i olika produktionssystem", som ingår i det SLU-baserade MISTRA-projektet MAT-21 (MAT-21, 1998). Dessa undersökningar förväntas ge svar på var, när och hur ofta det krävs provtagningar och analyser. I detta delprojekt ingår också att utveckla modeller för beräkningar av vittringsbidraget till elementflödena. Detta är speciellt viktigt i den ekologiska odlingen där man inte generellt använder mineralgödselmedel för att ersätta de oundvikliga förluster som sker i alla driftsformer. Speciellt vallodlingen med stora krav på kaliumförelsen kan bli en flaskhals på lätta jordar. Med en vallgröda bortförelsen 100-200 kg K per hektar (Salomon, 1995), vilket ungefär motsvarar den växttillgängliga fraktionen i ca 15-20 % av åkermarken (Eriksson *et al.*, 1997). Även om det mesta återförelsen med stallgödselels blir vittringsbidraget avgörande för kaliumbalansen och behovet av mineralgödsel.

Inte heller de ekologiska driftsformerna är helt invändningsfria när det gäller risken för växtnäringsläckage. Generellt förelsen längre utevistelseperioder för husdjuren än i konventionell produktion, speciellt för svin. Detta innebär rimligen en sämre gödselvård eftersom en större andel av gödseln faller direkt och ojämnt fördelad på marken där djuren vistas, och den utsätts därmed direkt för lakning och/eller avdunstning. Brukningsenheter med mjölkkor och fastgödselhantering kan få svårigheter att fördela stallgödselels över tillräcklig areal på grund av stor vallandel i växtföljden, vilket begränsar spridningsmöjligheterna. Utöver den egna foderproduktionen får man fritt använda mineralfoder och även en viss andel icke KRAV-märkt köpt foder, som för svin uppgår till 15 % räknat på årsbasis. I en ekologisk driftsform skulle man kanske förvänta att djurantalet strikt anpassades till egen brukad areal och egen foderproduktion, men egentligen krävs endast 50 % självförelseningsgrad när det gäller årsförbrukningen av KRAV-

märkt foder (KRAV, 1999). Det finns därför behov av att också detaljstudera växtnäringsflödena i de ekologiska produktionsformerna.

Även inom den konventionella odlingen har man på senare år genom lantbrukets organisationer inlett ett målinriktat arbete med att minska jordbrukets negativa effekter på miljön. Detta har kanaliserats via konceptet Svenskt Sigill (Lantmännen, 2000) som är ett regelverk för ett miljö- och kvalitetssäkringssystem främst för jordbrukets växtodling, och som utvecklas och administreras av Svenska Lantmännen. Målsättningen är ett miljövänligt och resurshushållande jordbruk med en lönsam växtodling som framställer produkter av god kvalitet. Måluppfyllelsen prioriteras framför medlen. I föreskrifterna för Svenskt Sigill finns också regler för dokumentation av varans ursprung och framställning, samt om hantering och lagring. Reglerna kräver också markkartering, växtodlingsplaner, stallgödselanalys samt gårdsbalanser för NPK, mm.

Gödslingen skall vara behovsanpassad med målsättningen att nyttjandegraden för tillfört kväve skall vara minst 80 % för växtodlingsgårdar och 50-60 % för gårdar med animalieproduktion eller stor areal specialgrödor. Målet för fosforutnyttjandet är att detta skall ligga så nära 100 % som möjligt. Det anges ingen tidsmarginal för när dessa mål skall ha uppnåtts.

Oavsett om det är fråga om KRAV- eller Sigill-odling eller någon annan driftsform, är sk gårdsbalanser (gårdarnas växtnäringsutbyte med omgivningen) viktiga instrument för att få kontroll över växtnäringsflödena. Som underlag för dessa krävs journalföring av köpta insatsvaror, t ex foder- och gödselmedel med avseende på kvantitet och innehåll av åtminstone N och P. Motsvarande gäller för gårdens försålda produktion. Man får heller inte negligera fältbalanser (växtnäringsbalanser för enskilda fält inom gården) för att säkerställa en någorlunda jämn fördelning på brukningsenheten över växtföljden av tillförd växnärning.

Beräkningen av bortförsel och tillförsel av växnärning via köpta insatsvaror förutsätter analys och deklaration av dessa, dvs varupartier måste analyseras på N, P, K, Zn, Cu och Cd. Analytiskt är detta inget problem med nutidens moderna analysinstrument som ICP och ICP-MS, där flera element kan analyseras samtidigt.

Även om man får till stånd bättre balans i växtnäringsflödena kan det ta tid innan detta märks i minskad utlakning. Marken är ett trögt system där förändringar i de flesta fall sker långsamt. När det gäller fosfor är det kanske mer markens ackumulerade innehåll än den årliga tillförseln som kan ge olägenheter i vattenmiljön. En annan sak som försvårar styrningen är att växtnäringsutbudet och grödornas växtnäringsutnyttjande är klimatberoende och den kommande väderleken och årsmånen är okända för brukaren vid gödslingstillfället. Ytterligare en faktor att beakta är att regeringar och livsmedelskonsumenter ställt krav på ett effektivt och högproduktivt jordbruk. Förutsättningen för detta är bördig mark med ett relativt rikligt växtnäringsutbud, som tyvärr också leder till utlakningsförluster. Speciellt är kvävetillskotten och kväveutbudet svåra att kvantifiera och reglera vid sådana moment i jordbruksdriften som t ex vallodling och vallbrott. I avrinningsområden där praktiskt taget all mark brukas intensivt kommer därför också den samlade avrinningen att vara relativt starkt påverkad av jordbruksdriften även med en bättre balans i växtnäringsanvändningen. På grund av trögheten i marken som reak-

tionssystem, kombinerat med årsmånsvariationerna kan det också dröja innan systemets respons på vidtagna förbättringsåtgärder blir mätbara.

## Förslag om journalföring, m m

Forskningsresultaten i denna rapport sammantagna med vad som tidigare redovisats i rapporterna 4778, 4919, 4955 och 4974 från Naturvårdsverket har visat på ett i det stora hela bördighetsmässigt bra marktillstånd, men också tydliggjort att det krävs en reformering av metoderna för styrningen av växtnäringsflödena i jordbruket. De metoder som hittills använts har varit allt för oprecisa och schablonmässiga, vilket speciellt gäller stallgödselhanteringen. Vill man sätta miljömålen någorlunda i paritet med produktionsmålen krävs bättre kontroll över växtnäringsflödena. Detta i sin tur kräver tillgång till aktuella och representativa analysdata för individuella brukningsenheter. Dessutom krävs kännedom om aktuella kvantiteter som måste baseras på noggrann journalföring av inköpta såväl som försålda förnödenheter. Proceduren att balansera växtnäringsflödena är inte svårare än att ansvara, efter viss utbildning och med tillgång till rådgivare, kan läggas på brukarna. En sådan bokföring bör också syfta till att hålla spårelementflödena under uppsikt för att undvika såväl anrikning som utarmning av dessa i åkermarken. De föreslagna åtgärderna för att förbättra kontrollen över växtnäringsflödena bör prövas vetenskapligt i fullskala i några av miljöövervakningens typområden.

Förhoppningen är också att tillgången till det samlade datamaterialet i ovannämnda rapporter skall öka träffsäkerheten i berörda myndigheters prognoser, regelverk och åtgärdsprogram.

# Erkännande

---

Med denna rapport har dataredovisningen från det första omdrevet i en miljöövervakning av jordbruksmarken slutförts. Undersökningen har resulterat i en omfattande markdatabas som avsevärt ökat vår kännedom om förhållandena i åkermarken och om hur dessa förändras på kortare såväl som på längre sikt. Vi vill tacka följande personer och organisationer som på olika sätt bidragit till dessa undersökningar:

- Naturvårdsverket som finansierat mark- och växtprovtagningarna samt huvuddelen av analyserna
- Jordbruksverket som finansierat jordartsbestämningarna samt huvuddelen av en stallgödselundersökning som båda varit till stor hjälp vid datautvärderingen
- Delprojektet "Flöden och balanser av mineralnäringsämnen och spårelement på modellgårdar" i det MISTRA-finansierade MAT-21-projektet, som bidragit till framtagandet av aktuella och representativa stallgödseldata
- SCB, speciellt Gerda Ländell och Lars Hagblad, som svarat för urvalet av provpunkter för mark- och växtprovtagningarna och vars fältpersonal svarat för provtagningarna
- Leif Brohede vid AnalyCen Nordic AB, Kent Utterström och Lars-Gunnar Omberg vid SGAB Analytica, liksom deras medarbetare vid respektive företag för gott samarbete och professionellt utförda analyser av det stora provmaterialet
- Lab-personalen och annan teknisk personal vid Inst f markvetenskap för provhantering och provberedning, genomförande av referensprovsanalyser och andra nödvändiga analyser för den viktiga kvalitetskontrollen
- De jordbrukare som ställt sina grödor och sin mark till förfogande för provtagningarna
- Mary McAfee för språkgranskning av manuskriptets engelska textdelar.



# Referenser

---

- Andersson A (1979): **On the distribution of heavy metals as compared to some other elements between grain size fractions in soils** – Swedish J. agric. Res. 9, 7-13.
- Andersson A (1992): **Trace elements in agricultural soils - fluxes, balances and background values** – Swedish Environmental Protection Agency, report 4077.
- Andersson A & Bingenfors S (1985): **Trends and annual variations in Cd concentration in grain of winter wheat** – Acta Agriculturae Scandinavica 35, 339-344.
- Andersson A, Eriksson J, Mattson L & Andersson R (1998): **Fosforupplagringen i svensk jordbruksmark** – Naturvårdsverket, rapport 4919.
- Andersson R (1986): **Förluster av kväve och fosfor från åkermark i Sverige. Omfattning, orsaker och förslag till åtgärder** – Akademisk avhandling, Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Bowen H J M (1979): **Environmental chemistry of the elements** – Academic Press, London.
- Brink N (1985): **Växtnäringsförluster till yt- och grundvatten efter stallgöd-selspridning** – Vattenvård - valda verk, Kompendium 1, Inst f markvetenskap, Avd f vattenvård, SLU, Uppsala, pp 31-38.
- Claesson S & Steineck S (1991): **Växtnäring, hushållning - miljö** – Sveriges Lantbruksuniversitet, Speciella skrifter 41, Uppsala.
- Cornejo J & Hermosin M C (1996): **Interaction of humic substances with soil clays** – A Piccolo (ed.), Humic substances in terrestrial ecosystems Elsevier, Amsterdam, pp 595-624.
- Ekström G (1953): **Atlas över Sverige, nr 63-64** – Svenska sällskapet för antropologi och geografi, Stockholm.
- Eriksson J E (1990a): **A field study on factors influencing Cd levels in soils and in grains of oats and winter wheat** – Water Air and Soil Pollut. 53, 69-81.
- Eriksson J E (1990b): **Factors influencing adsorption and plant uptake of cadmium from agricultural soils** – Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences, Reports and dissertations 4.
- Eriksson J, Andersson A & Andersson R (1997): **Tillståndet i svensk åkermark** – Naturvårdsverket, rapport 4778.
- Eriksson J, Andersson A & Andersson R (1999): **Åkermarkens matjordstyper** – Naturvårdsverket, rapport 4955.
- Eriksson J & Söderström M (1996): **Cadmium in soil and winter wheat in southern Sweden. I. Factors influencing levels in soil and grain** – Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Science 46, 240-248.
- Haak E (1986): **Effect of K-fertilization, liming and placement, on crop uptake of cesium and strontium** – Å Eriksson (ed.), 1st International Contact Seminar In Radioecology. Proceedings of a seminar in terrestrial radioecology in July 8-11, 1985 at Uppsala, Sweden, Department of Radioecology, Swedish University of Agricultural Sciences, pp 247-254.

- Jansson S L (1975): **Bördighetsstudier för markvård. Försök i Malmöhus län 1957-1974** – Kungl. Skogs. och Lantbruksakademiens Tidskrift, Supplement 10, Stockholm.
- Johansson O A H & Hahlin J M (1977): **Potassium/magnesium balance in soil for maximum yield. Proceedings of international seminar on soil environment and fertility management in intensive agriculture** – Proceedings of the international seminar on soil environment and fertility management in intensive agriculture, Tokyo, pp 487-495.
- Johnsson H & Hoffmann M (1996): **Normalutlakning av kväve från svensk åkermark 1985 och 1994** – Ekohydrologi 39, Avdelningen för vattenvårdslära, SLU, Uppsala.
- KRAV (1999): **Kravregler** - KRAV, Uppsala.
- Lantmännen (2000): **Svenskt Sigill. Regler 2000 med checklista och åtgärdsplan** – Svenska Lantmännen.
- Leek R & Rekolainen S (1996): **Modelling erosion and phosphorus losses.** – R Leek & S I Rekolainen (eds.), Regionalisation of erosion and nitrate losses from agricultural land in Nordic countries, Nordic Council of Ministers, Tema Nord 1996: 615, pp 25-33.
- LRF (1998): **Miljöredovisning för svenskt jordbruk 1997/98** – Lantbrukarnas riksförbund och Statistiska centralbyrån.
- Marschner H (1995): **Mineral nutrients of higher plants** – Academic Press, London.
- MAT-21 (1998): **MAT- 21. Årsrapport 1998** – Inst f livsmedelsvetenskap, SLU, Box 7051, 750 07 Uppsala. pp 14-16.
- Mattsson L (1995): **Markbördighet och jordart i svensk åkermark. En undersökning baserad på fältförsöksdata** – Naturvårdsverket, rapport 4533.
- Melkerud P-A, Olsson M T & Rosén K (1992): **Geochemical atlas of Swedish forest soils** – Reports in Forest Ecology and Forest Soils, report 65, Department of Forest Soils, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Mengel K & Kirkby E A (1987): **Principles of plant nutrition** – Academic Press, London.
- NV (1994): **Kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket** – Statens naturvårdsverks författningssamling, SNFS 1994:2, MS 72.
- NV (1998): **Statens naturvårdsverks föreskrifter om ändring i kungörelsen (SNFS 1994:2) med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket** – Statens naturvårdsverks författningssamling, SNFS 1998:4.
- Salomon E (1995): **Long-term effects of potassium application on yield and soil from three experimental fields in Sweden** – Swedish J. agric. Res. 25, 119-127.
- Sauchelli V (1969): **Trace elements in agriculture** – van Nostrand Reinhold Company, New York.
- SCB (1995): **Handelsgödsel, stallgödsel och kalk i jordbruket. Kväve, fosfor, kalium och CaO i långa tidsserier** – Statistiska meddelanden, Na 30 SM 9503, Statistiska centralbyrån.
- SCB (1997a): **Områdesindelningar i lantbruksstatistiken 1997** – Meddelanden i samordningsfrågor för Sveriges officiella statistik, Statistiska centralbyrån.

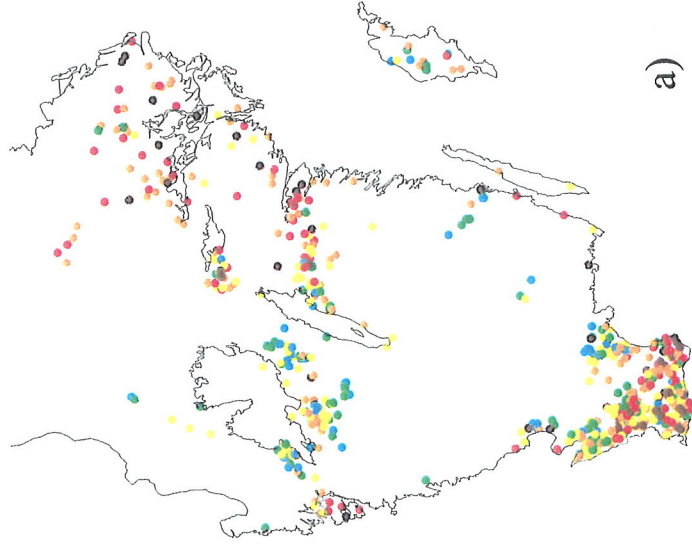
- SCB (1997b): **Utsläpp till vatten och slamproduktion 1995** – Statistiska meddelanden, Na 22 SM 9701, Statistiska centralbyrån.
- SCB (1998): **Miljötilståndet i sjöar och vattendrag** – Statistiska meddelanden, Na 39 SM 9801, Statistiska centralbyrån.
- SCB (1999a): **Jordbruksstatistisk årsbok 1999** – Statistiska centralbyrån.
- SCB (1999b): **Försäljning av mineralgödsel för jord- och trädgårdsbruk under 1997/98** - Statistiska meddelanden, Na 30 SM 9901, Statistiska centralbyrån.
- Steineck S, Djurberg L & Ericsson J (1991): **Stallgödsel** – Sveriges Lantbruksuniversitet, Speciella skrifter 43., Uppsala.
- Steineck S, Gustafson G, Andersson A, Tersmeden M & Bergström J (1999): **Stallgöd-selns innehåll av växtnäring och spårelement** – Naturvårdsverket, rapport 4974.
- Svanberg O (1971): **De svenska skördeprodukternas innehåll av växtnäringsämnen** – Statens Lantbrukskemiska Laboratorium, meddelande 37, Uppsala.
- Ulén B (1997): **Förluster av fosfor från svensk jordbruksmark** – Naturvårdsverket, rapport 4731. pp 78.
- Wiklander L (1973): **Flytgödsling - en miljöfarlig metod?** – Lantbrukshögskolans meddelanden, serie A, nr 198.
- Öborn I, Jansson G & Johnsson L (1995): **A field study on the influence of soil pH on trace element levels in spring wheat (*Triticum aestivum*), potatoes (*Solanum tu-berosum*) and carrots (*Daucus carota*)** – Water Air and Soil Pollut. 85, 835-840.



Cd i höstvete, mg kg<sup>-1</sup>  
(percentiler)

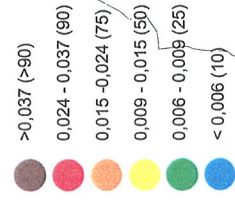


Statistik  
Antal prov 606  
Min. värde 0,007  
Max. värde 0,23  
Medianvärde 0,038  
Medelvärde 0,044  
Stdav 0,025

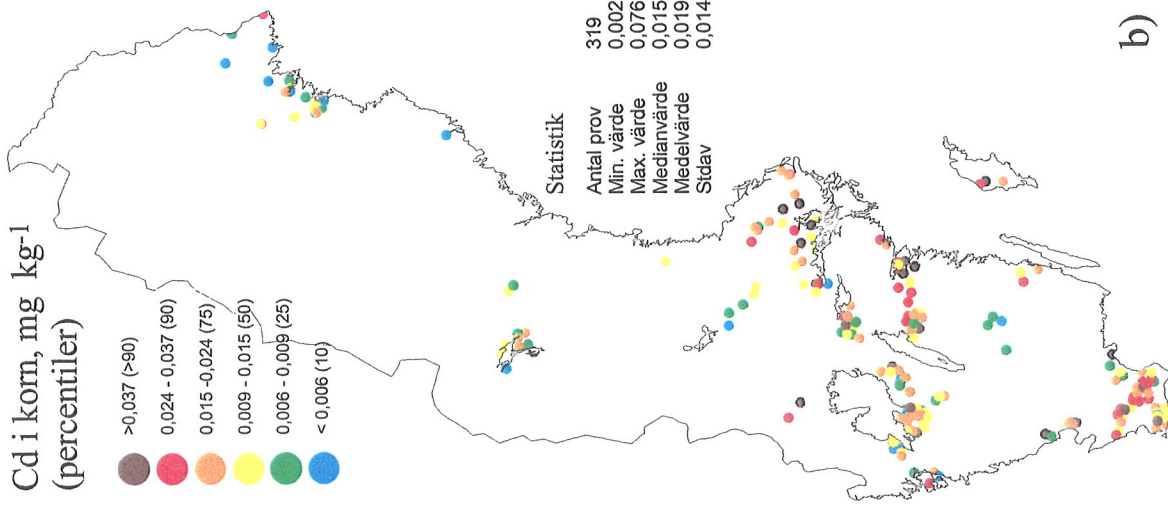


a)

Cd i korn, mg kg<sup>-1</sup>  
(percentiler)



Statistik  
Antal prov 319  
Min. värde 0,002  
Max. värde 0,076  
Medianvärde 0,015  
Medelvärde 0,019  
Stdav 0,014

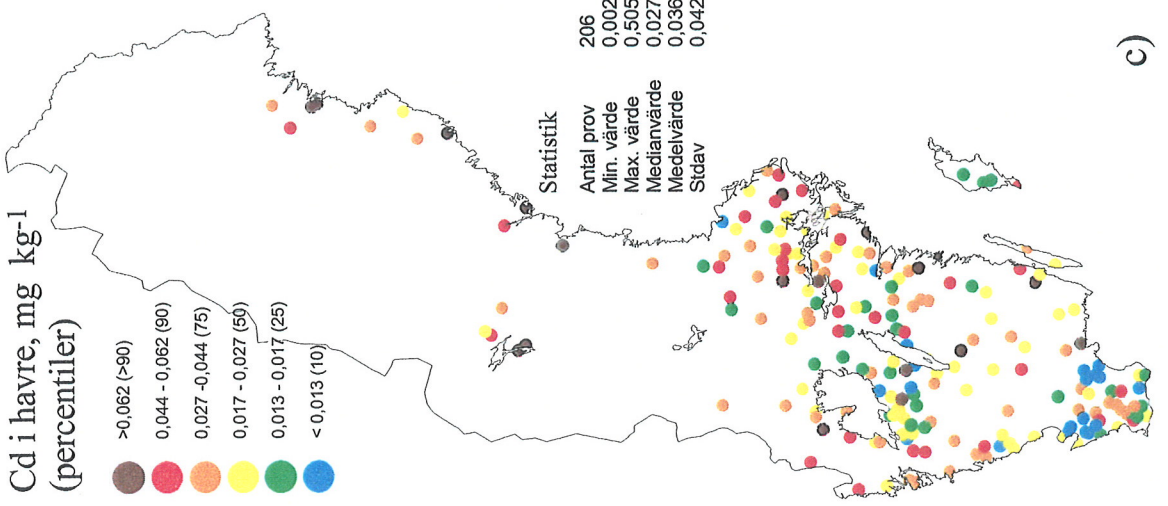


b)

Cd i havre, mg kg<sup>-1</sup>  
(percentiler)



Statistik  
Antal prov 206  
Min. värde 0,002  
Max. värde 0,505  
Medianvärde 0,027  
Medelvärde 0,036  
Stdav 0,042

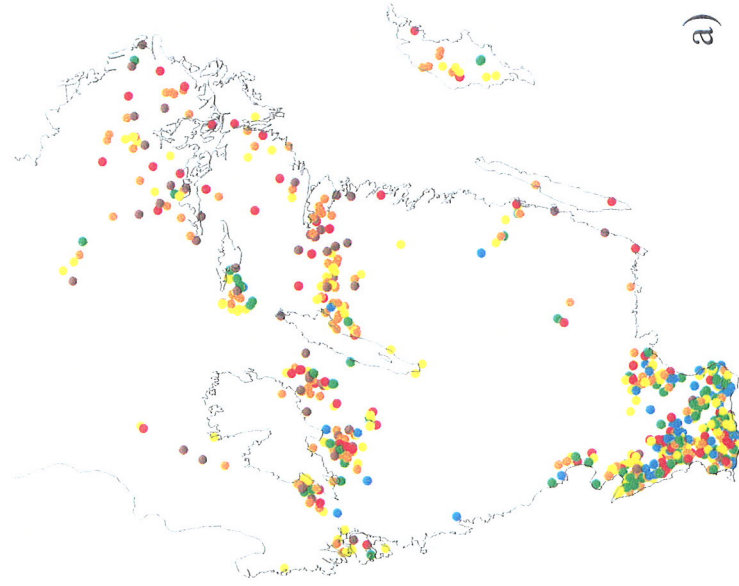


c)

Karta 1. Kadmiumhalter i kärna av höstvete, korn och havre

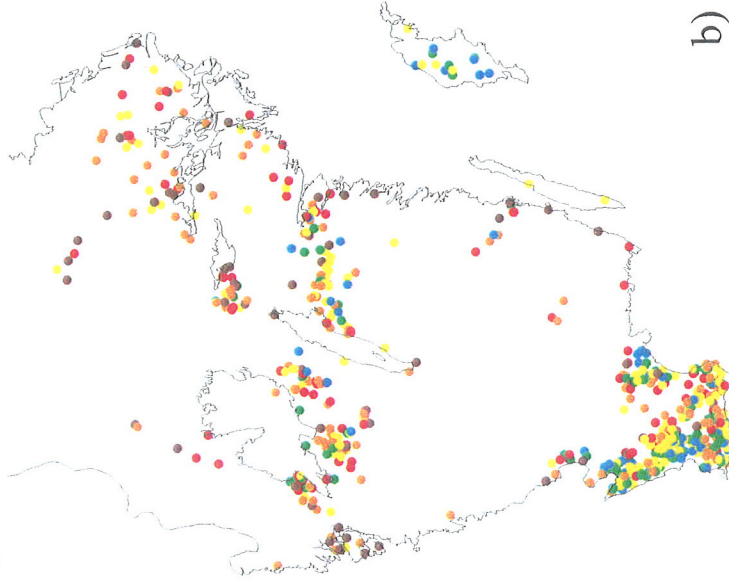
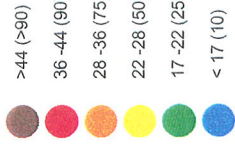
Map 1. Cadmium levels in grain of winter wheat, barley and oats.

Cu i höstvete, mg kg<sup>-1</sup>  
(percentiler)



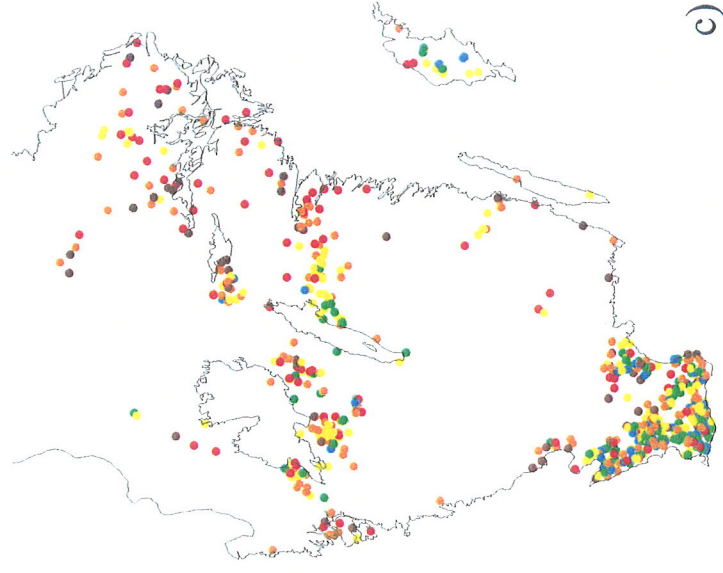
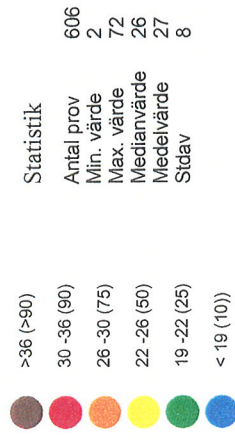
a)

Mn i höstvete, mg kg<sup>-1</sup>  
(percentiler)



b)

Zn i höstvete, mg kg<sup>-1</sup>  
(percentiler)

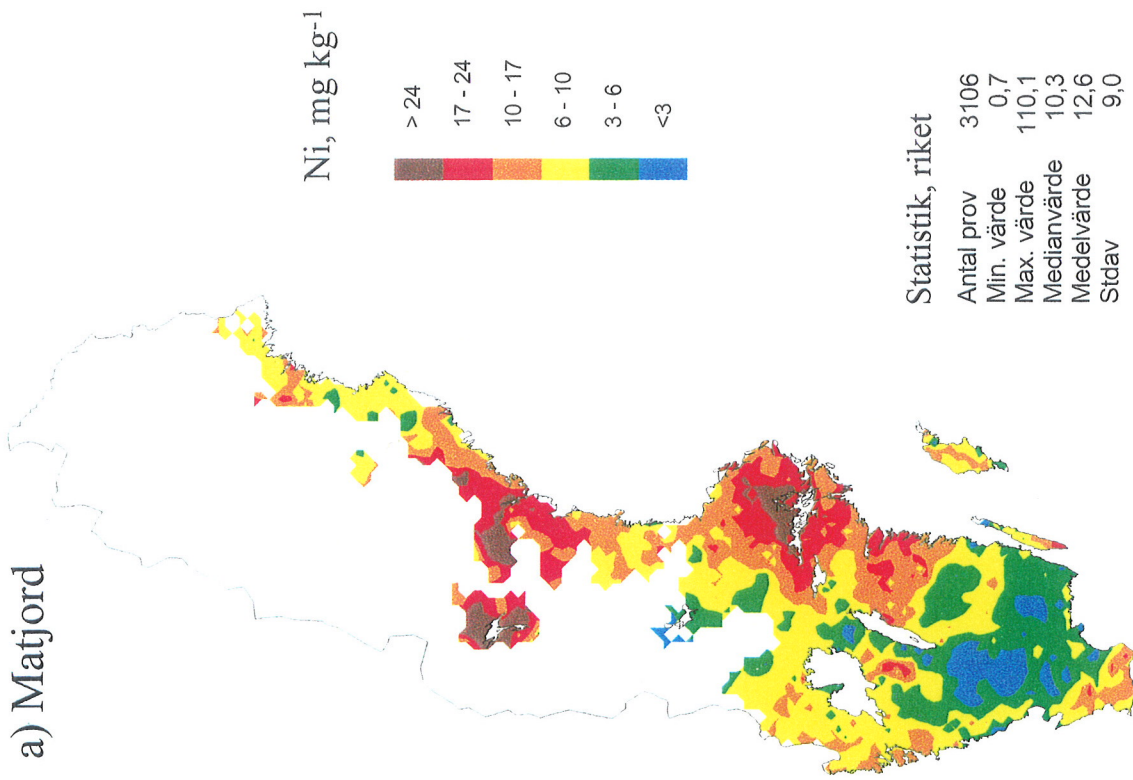


c)

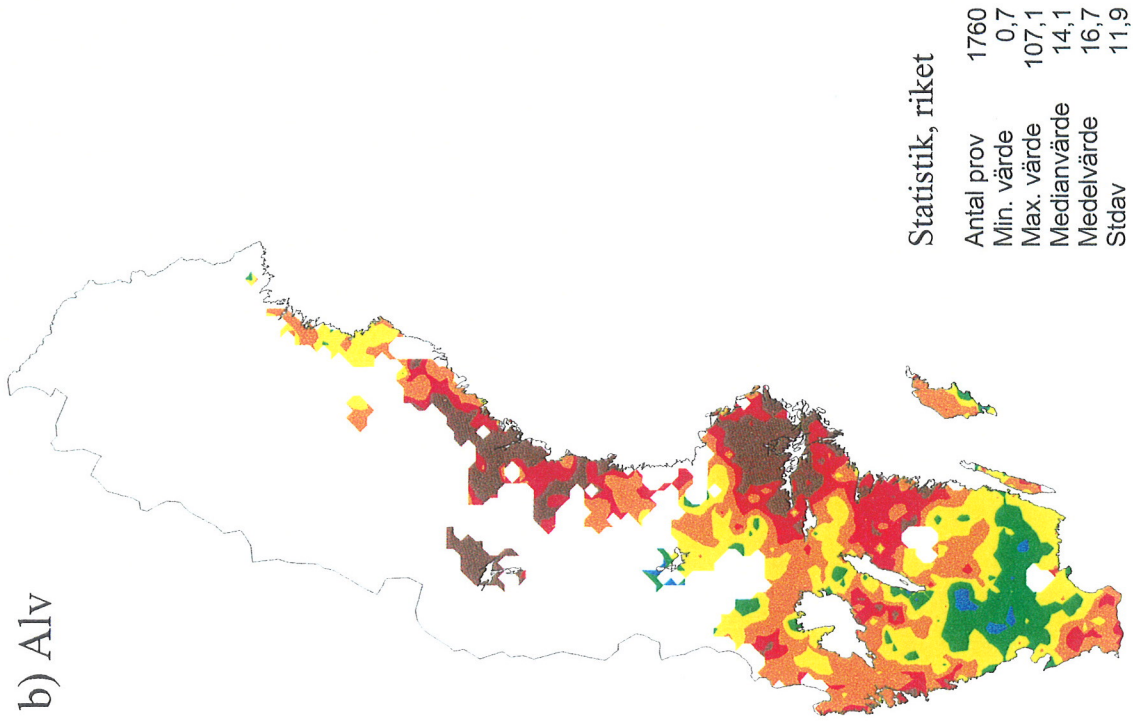
Karta 2. Halter av koppar, mangan och zink i höstvetekärna

Map 2. Copper, manganese and zinc levels in winter wheat grain.

a) Matjord

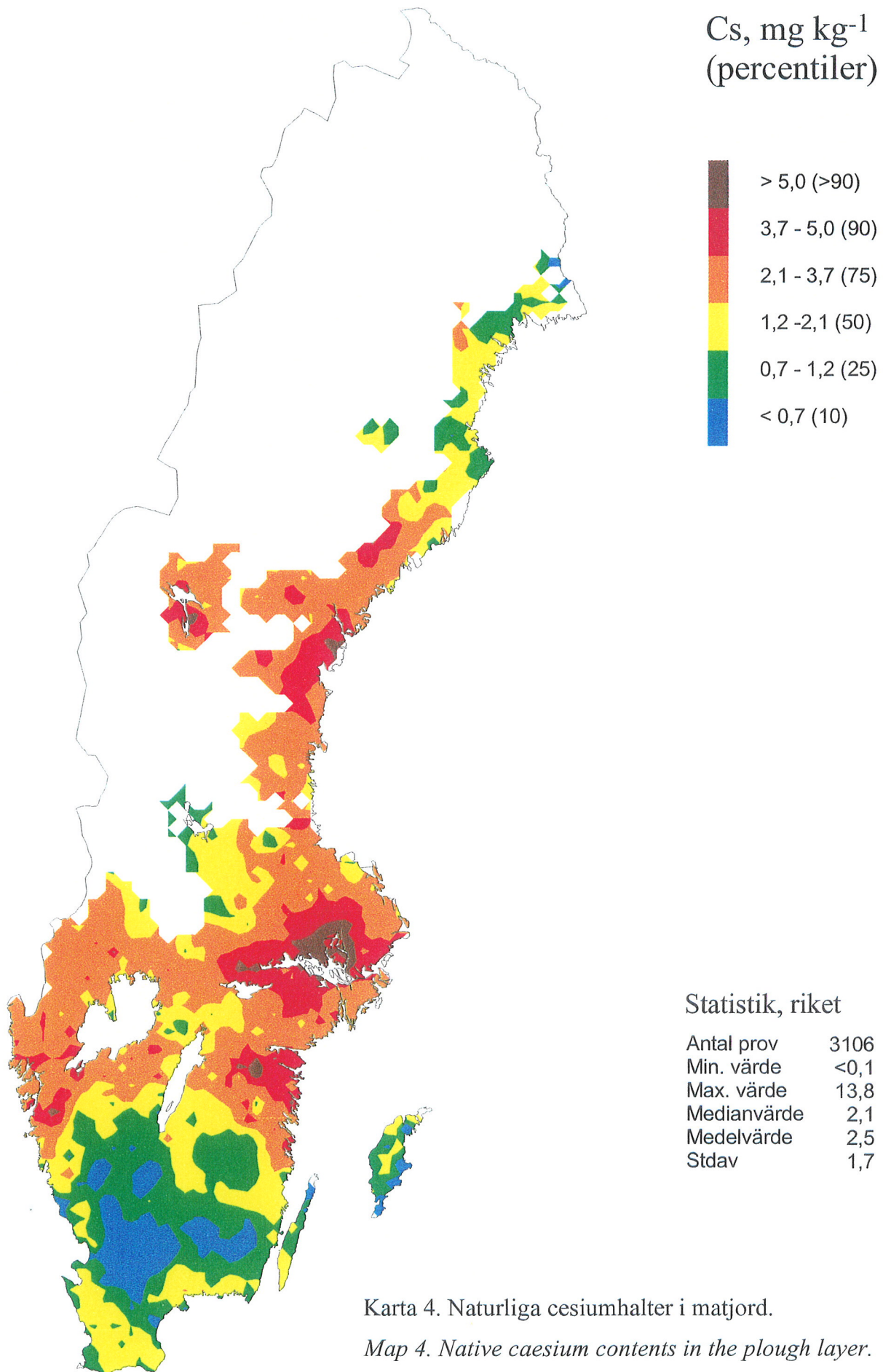


b) Alv



Karta 3. Nickelhalter i matjord och alv.

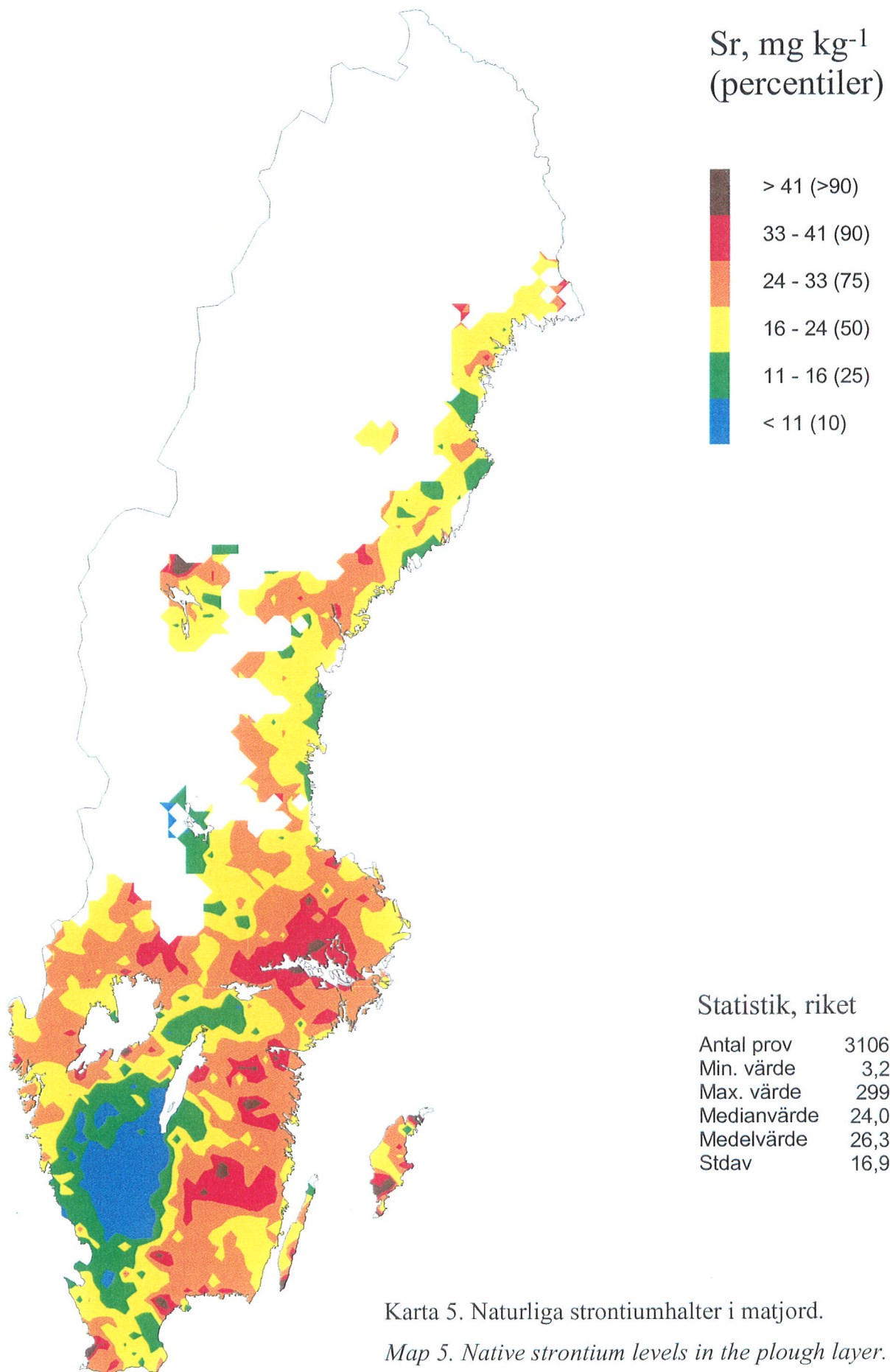
Map 3. Nickel levels in the plough layer (left) and subsoil (right).



Karta 4. Naturliga cesiumhalter i matjord.

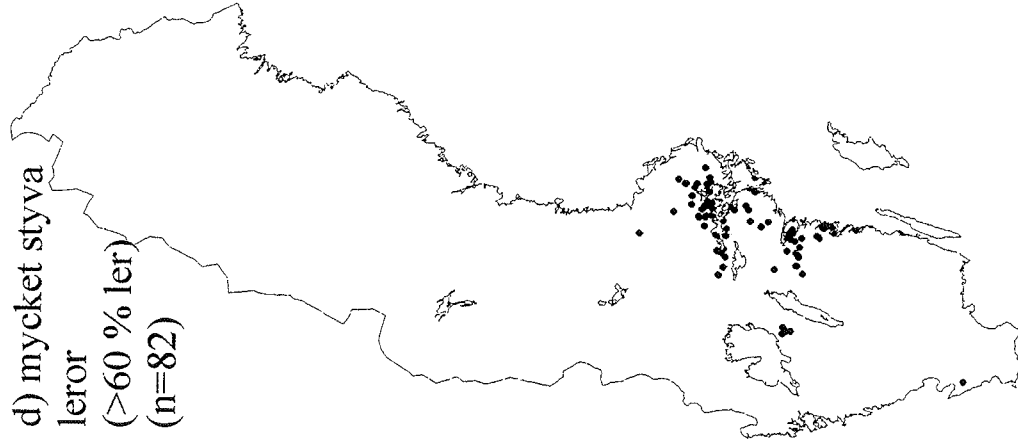
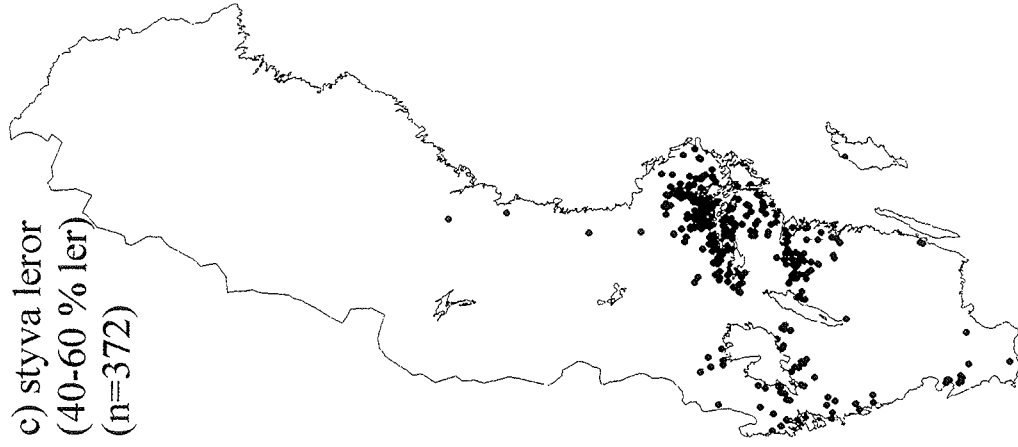
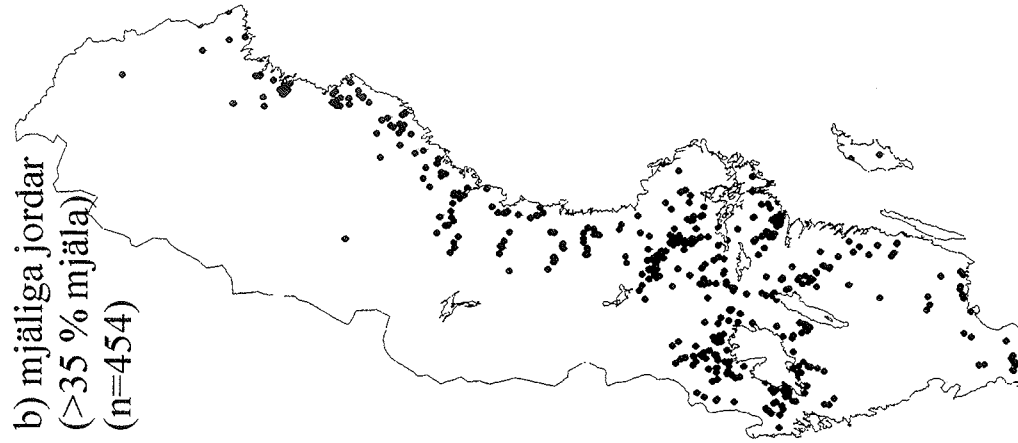
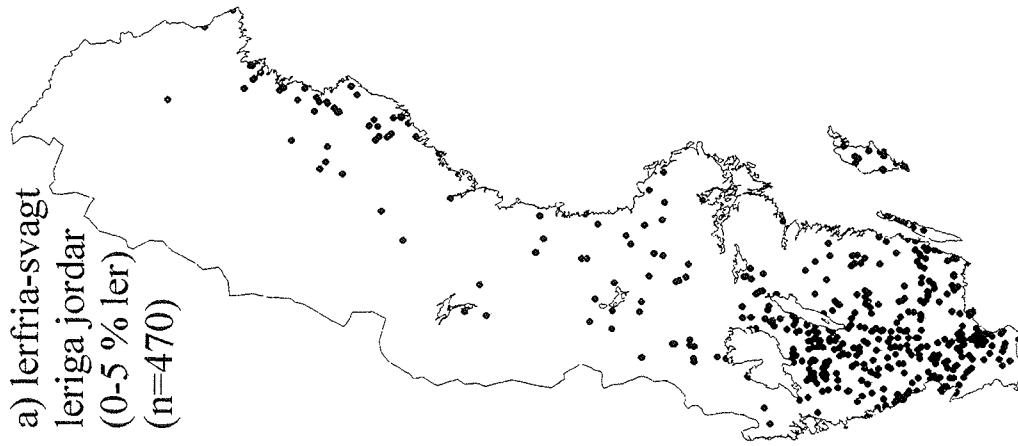
Map 4. Native caesium contents in the plough layer.





Karta 5. Naturliga strontiumhalter i matjord.

Map 5. Native strontium levels in the plough layer.



Karta 6. Förekomst av majjordar som faller inom jordartsklasserna lerfria till svagt leriga jordar, mjälliga jordar, styva leror och mycket styva leror.

Map 6. Distribution of top soils that have a texture class that is a) clay free b) silty c) heavy clay d) very heavy clay.

## Multivariat dataanalys (PCA och PLS)

Multivariat dataanalys används för att möjliggöra en förenklad samlad presentation och tolkning av stora datamaterial. Multivariata metoder används även för att studera sambanden mellan oberoende och beroende variabler.

### PCA

PCA är ett multivariat verktyg och har här använts för att presentera sambandet mellan de markvariabler som har mätts inom projektet. Med PCA extraheras den huvudsakliga variationen i datamaterialet med hjälp av några få latent variabler som är linjära representanter för ett större antal ursprungliga markvariabler. På detta sätt blir materialet mer överskådligt.

Fig. 1 illustrerar datamaterialet i tabellform med variablerna (t. ex. pH, lerinnehåll, humushalt, osv) i kolumnerna och objekten (dvs markproven) i raderna. Från tabellen räknas det fram ett betydligt mindre antal nya, latent variabler (principalkomponenterna; PC). Dessa räknas fram så att största möjliga del av den totala variationen i samtliga ursprungsvariabler förklaras. Detta illustreras i Fig. 1 genom att tabellen har delats upp i score-vektorer ( $p$ ) som representerar markproven, och loading-vektorer ( $t$ ) som representerar variablerna. I figuren har två komponenter räknats fram.

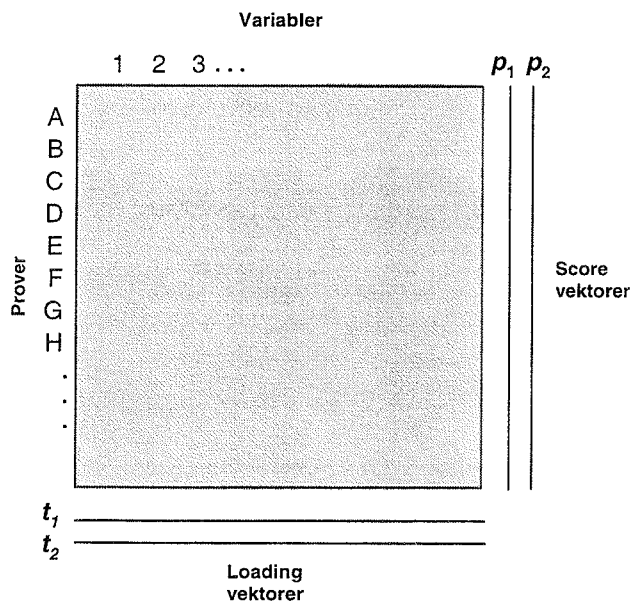


Fig. 1

Vad komponenterna står för förstår man enklare om antalet ursprungsvariabler begränsas till tre, vilka var och en får representera en av de tre rumsliga dimensionerna, som i Fig. 2. Varje boll i figuren representerar ett markprov och får sin placering i kubens mellan de tre variablerna utifrån värdet på var och en av dem. Genom att vrida på kubens sida kan man leta sig fram till ett läge där bollarna sprider sig över en större yta i synfältet än de gör i något annat läge (förutom det rakt motsatta). I detta läge har man alltså en tvådimensionell bild som visar maximal variation hos de tre variablerna. Dessa två dimensioner motsvarar exakt två principalkomponenter som bildar ett plan som i figuren. Man har alltså ersatt tre variabler med två, men ändå behållit större delen av den ursprungliga

variationen. Matematiskt fungerar detta även för ett oändligt antal variabler. Bollarnas placering i planet anges av deras värden  $p$  (scores) på respektive principalkomponent.

Variablernas överensstämmelse med komponenterna kan illustreras i ett motsvarande plan. Värde (loading) på komponenterna räknas fram som cosinus av vinkeln mellan variabeln och komponenten. Cosinus av en liten vinkel blir nära 1 som fallet är för variabel 1 och PC 2 i Fig. 2 ( $\cos 0^\circ = 1$ ). Det är alltså stor överensstämmelse mellan dessa. Tänker man sig ytterligare en variabel med rakt motsatt riktning mot variabel 1 skulle denna få ett loading nära -1 ( $\cos 180^\circ = -1$ ). Vinkeln mellan variabel 2 och 3 och PC 2 är i stället nära  $90^\circ$  och loadings för dessa variabler i PC 2 blir i stället nära 0, liksom variabel 1 i PC 1. PC 1 har en vinkel på omkring  $45^\circ$  till variabel 2 och 3 och de får därmed ett loading på omkring 0,7 i PC 1. Det innebär alltså att variabel 2 och 3 hamnar nära varandra i loading-planet vilket illustrerar att det finns en stark överensstämmelse mellan dessa två variabler – ett högt värde i den ena variabeln motsvaras av ett högt värde i den andra. Något sådant samband finns inte alls till variabel 1.

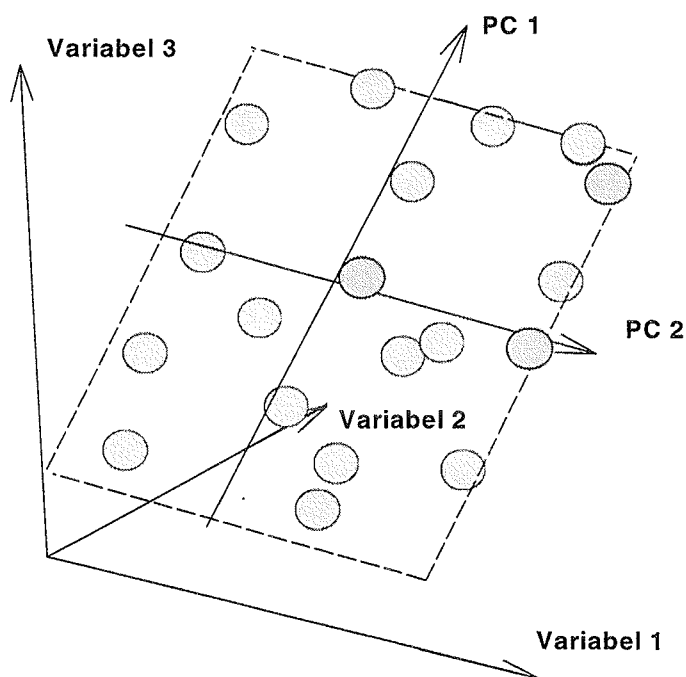


Fig. 2

Sammanfattningsvis kan man alltså läsa ett score-diagram så att jordprover som hamnar nära varandra har stora likheter. På samma sätt kan man läsa ett loading-diagram så att variabler som ligger nära varandra är relaterade till varandra, liksom att variabler med motsatt placering i diagrammet har en motsatt relation.

### PLS

Partial least squares (PLS) regression har använts för att studera sambandet mellan markvariabler och upptaget av utvalda grundämnen (element) i den växande grödan.

Latenta variabler används i PLS liksom med PCA. Skillnaden är att varje komponent är extraherad så att variationen hos den beroende variabeln (elementhalten i grödan) beskrivs optimalt. Man utnyttjar alltså bara den del av variationen i de oberoende markvariablerna som är relaterad till den aktuella elementhalten. En jämförelse av de enskilda markvariablernas betydelse för att beskriva elementhalten i grödan ges av storleken på regressionskoefficienten. Dessa koefficienter är beräknade på normaliserade variabler och är därmed jämförbara med varandra oberoende av storheter. Hur väl elementhalten beskrivs av de ingående markvariablerna anges av medelfelet eller SEP-värdet (standard error of prediction) samt av RPD-värdet (ratio of standard deviation to standard error of prediction). RPD-värdet är alltså standardavvikelsen i uppmätta elementhalter dividerat med SEP. För att modellen skall vara acceptabel för prediktion bör RPD-värdet vara minst 3. Är RPD-värdet 1 innebär det att modellen inte är bättre än en ren gissning.

Samtliga PLS-modeller presenterade här är validerade genom så kallad korsvalidering. Det innebär att objekten ingående i respektive modell har delats upp i 50 slumpmässiga segment. Varje modell har sedan beräknats 50 gånger med ett segment borttaget åt gången. På så vis har varje prov blivit predikerat av en modell där det själv inte ingår i beräkningen och utgör därmed en validering av modellen.

Appendix 2a. Korrelationer mellan halter av olika grundämnen i höstvetekärna( n=582). Se Tabell 2 för signifikansnivåer

*Appendix 2a. Correlations between element concentrations in grain of winter wheat (n=582). See Table 2 for levels of significance*

	Ca	Cd	Co	Cs	Cu	K	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Sr	V	Zn
Ca	1,00	0,04	-0,17	0,12	-0,05	0,04	0,15	-0,14	0,01	0,01	0,24	0,18	0,03	0,06
Cd	0,04	1,00	0,19	-0,02	0,02	-0,02	0,08	0,16	-0,07	0,28	0,08	-0,02	0,10	0,33
Co	-0,17	0,19	1,00	0,05	0,19	0,06	0,09	0,48	-0,19	0,46	-0,03	-0,18	0,12	0,26
Cs	0,12	-0,02	0,05	1,00	0,24	-0,06	0,05	0,02	-0,13	-0,04	-0,13	-0,01	0,02	0,06
Cu	-0,05	0,02	0,19	0,24	1,00	0,10	0,36	0,08	0,09	0,10	0,23	-0,09	0,04	0,20
K	0,04	-0,02	0,06	-0,06	0,10	1,00	0,32	-0,04	0,00	-0,09	0,55	0,03	0,06	0,18
Mg	0,15	0,08	0,09	0,05	0,36	0,27	1,00	0,15	0,24	-0,08	0,79	0,16	0,09	0,49
Mn	-0,14	0,16	0,48	0,02	0,08	0,00	0,15	1,00	0,00	0,35	0,13	0,02	-0,01	0,49
Mo	0,01	-0,07	-0,19	-0,13	0,09	0,00	0,24	0,00	1,00	-0,01	0,34	0,11	-0,10	-0,01
Ni	0,01	0,28	0,46	-0,04	0,10	-0,09	-0,08	0,35	-0,01	1,00	-0,11	-0,18	-0,04	0,24
P	0,24	0,08	-0,03	-0,13	0,23	0,46	0,79	0,13	0,34	-0,11	1,00	0,17	0,05	0,41
Sr	0,18	-0,02	-0,18	-0,01	-0,09	-0,02	0,16	0,02	0,11	-0,18	0,17	1,00	-0,01	0,05
V	0,03	0,10	0,12	0,02	0,04	0,06	0,09	-0,01	-0,10	-0,04	0,05	-0,01	1,00	0,08
Zn	0,06	0,33	0,26	0,06	0,20	0,22	0,49	0,49	-0,01	0,24	0,41	0,05	0,08	1,00

Appendix 2b. Korrelationer mellan halter av olika grundämnen i kornkärna (n=319). Se Tabell 2 för signifikansnivåer

*Appendix 2b. Correlations between element concentrations in grain of barley (n=319) See Table 2 for levels of significance*

	Ca	Cd	Co	Cs	Cu	K	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Sr	V	Zn
Ca	1,00	0,11	-0,02	0,14	0,16	0,21	0,11	0,08	0,08	0,06	0,22	0,12	0,17	0,08
Cd	0,11	1,00	0,19	0,13	0,20	-0,13	0,17	0,01	0,16	0,24	-0,02	0,06	0,03	0,19
Co	-0,02	0,19	1,00	0,20	0,25	0,13	0,17	0,43	-0,08	0,20	-0,01	0,08	0,29	0,16
Cs	0,14	0,13	0,20	1,00	0,32	-0,13	0,13	0,04	-0,07	0,21	-0,16	0,05	0,11	0,07
Cu	0,16	0,20	0,25	0,32	1,00	0,00	0,25	0,21	-0,17	0,23	0,26	-0,10	0,18	0,45
K	0,21	-0,13	0,13	-0,13	0,00	1,00	0,18	0,11	0,13	-0,08	0,43	0,15	0,13	-0,04
Mg	0,11	0,17	0,17	0,13	0,25	0,18	1,00	0,19	-0,03	0,08	0,52	0,20	0,24	0,43
Mn	0,08	0,01	0,43	0,04	0,21	0,11	0,19	1,00	-0,39	0,29	0,02	0,18	0,18	0,48
Mo	0,08	0,16	-0,08	-0,07	-0,17	0,13	-0,03	-0,39	1,00	-0,33	0,18	-0,06	-0,05	-0,21
Ni	0,06	0,24	0,20	0,21	0,23	-0,08	0,08	0,29	-0,33	1,00	-0,09	0,10	0,01	0,31
P	0,22	-0,02	-0,01	-0,16	0,26	0,43	0,52	0,02	0,18	-0,09	1,00	0,05	0,19	0,25
Sr	0,12	0,06	0,08	0,05	-0,10	0,15	0,20	0,18	-0,06	0,10	0,05	1,00	0,00	0,11
V	0,17	0,03	0,29	0,11	0,18	0,13	0,24	0,18	-0,05	0,01	0,19	0,00	1,00	0,16
Zn	0,08	0,19	0,16	0,07	0,45	-0,04	0,43	0,48	-0,21	0,31	0,25	0,11	0,16	1,00

Appendix 2c. Korrelationer mellan halter av olika grundämnen i havrekärna (n=198). Se Tabell 2 för signifikansnivåer

*Appendix 2c. Correlations between element concentrations in grain of oats (n=198) See Table 2 for levels of significance*

	Ca	Cd	Co	Cs	Cu	K	Mg	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Sr	V	Zn
Ca	1,00	-0,07	-0,11	0,17	0,08	0,11	0,19	-0,17	0,22	-0,05	0,27	0,29	0,15	0,24	0,05
Cd	-0,07	1,00	0,39	0,28	0,48	-0,03	0,46	0,48	-0,17	0,62	0,37	0,08	0,25	0,04	0,61
Co	-0,11	0,39	1,00	0,40	0,33	0,09	0,31	0,58	-0,29	0,56	0,00	0,22	0,22	0,53	0,31
Cs	0,17	0,28	0,40	1,00	0,56	-0,09	0,41	0,33	-0,09	0,37	0,18	0,17	0,30	0,28	0,37
Cu	0,08	0,48	0,33	0,56	1,00	0,06	0,67	0,42	-0,04	0,59	0,48	-0,03	0,26	0,08	0,67
K	0,11	-0,03	0,09	-0,09	0,06	1,00	0,16	0,00	0,17	0,06	0,29	0,00	-0,04	-0,02	0,11
Mg	0,19	0,46	0,31	0,41	0,67	0,16	1,00	0,48	-0,05	0,43	0,84	0,10	0,50	0,19	0,70
Mn	-0,17	0,48	0,58	0,33	0,42	0,00	0,48	1,00	-0,41	0,52	0,32	0,02	0,31	0,20	0,57
Mo	0,22	-0,17	-0,29	-0,09	-0,04	0,17	-0,05	-0,41	1,00	-0,14	0,07	-0,06	-0,30	-0,10	-0,23
Ni	-0,05	0,62	0,56	0,37	0,59	0,06	0,43	0,52	-0,14	1,00	0,23	-0,09	0,19	0,09	0,40
P	0,27	0,37	0,00	0,18	0,48	0,29	0,84	0,32	0,07	0,23	1,00	0,02	0,28	-0,02	0,63
Pb	0,29	0,08	0,22	0,17	-0,03	0,00	0,10	0,02	-0,06	-0,09	0,02	1,00	0,17	0,56	0,07
Sr	0,15	0,25	0,22	0,30	0,26	-0,04	0,50	0,31	-0,30	0,19	0,28	0,17	1,00	0,15	0,30
V	0,24	0,04	0,53	0,28	0,08	-0,02	0,19	0,20	-0,10	0,09	-0,02	0,56	0,15	1,00	0,12
Zn	0,05	0,61	0,31	0,37	0,67	0,11	0,70	0,57	-0,23	0,40	0,63	0,07	0,30	0,12	1,00

Appendix 3. Korrelationer mellan olika markegenskaper i matjordar med  $\leq 12\%$  humus ( $n=2895$ ) Se Tabell 2 för signifikansnivåer

Appendix 3. Correlations between different soil properties in plough layers with  $\leq 12\%$  humus ( $n=2895$ ). See Table 2 for levels of significance

	Mull	N	S	C/N	Ler	Silt	Sand	pH	CaCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	K	Na	Acid	CEff	Bseff	P-AL
Mull	1,00	0,95	0,83	0,58	0,14	0,07	-0,27	-0,30	0,09	0,22	0,23	0,06	0,21	0,36	0,54	-0,12	-0,03
N	0,95	1,00	0,84	0,30	0,31	0,09	-0,37	-0,21	0,14	0,43	0,38	0,22	0,34	0,28	0,66	-0,02	-0,01
S	0,83	0,84	1,00	0,35	0,17	-0,01	-0,22	-0,12	0,16	0,37	0,22	0,17	0,25	0,21	0,59	0,01	0,06
C/N	0,58	0,30	0,35	1,00	-0,34	-0,03	0,14	-0,39	-0,10	0,36	0,24	0,30	0,21	0,40	-0,06	-0,31	-0,05
Ler	0,14	0,31	0,17	-0,34	1,00	0,34	-0,83	0,16	-0,01	0,61	0,80	0,56	0,54	-0,14	0,65	0,32	-0,17
Silt	0,07	0,09	-0,01	-0,03	0,34	1,00	-0,75	-0,19	0,04	0,05	0,33	0,12	0,24	0,08	0,03	0,00	-0,30
Sand	-0,27	-0,37	-0,22	-0,03	-0,83	-0,75	1,00	0,04	0,04	-0,37	-0,70	-0,39	-0,46	0,00	-0,48	-0,16	0,29
pH	-0,30	-0,21	-0,12	0,09	0,04	1,00	0,04	1,00	0,36	0,68	0,08	0,23	0,08	-0,80	0,42	0,65	0,30
CaCO <sub>3</sub>	0,09	0,14	0,16	-0,10	-0,01	-0,15	0,04	0,36	1,00	0,27	-0,07	0,06	0,00	-0,17	0,26	0,12	0,09
Ca	0,22	0,43	0,37	0,36	0,61	0,05	-0,37	0,68	0,27	1,00	0,51	0,47	0,42	-0,56	0,98	0,74	0,16
Mg	0,23	0,38	0,22	0,24	0,80	0,33	-0,70	0,08	-0,07	0,51	1,00	0,52	0,57	-0,16	0,62	0,38	0,15
K	0,06	0,22	0,17	0,30	0,56	0,12	-0,39	0,23	0,06	0,47	0,52	1,00	0,32	-0,21	0,51	0,37	0,28
Na	0,21	0,34	0,25	0,21	0,54	0,24	-0,46	0,08	0,00	0,42	0,57	0,32	1,00	-0,09	0,49	0,25	-0,06
Acid	0,36	0,28	0,21	0,40	-0,14	0,08	0,00	-0,80	-0,17	-0,56	-0,16	-0,21	-0,09	1,00	-0,27	-0,70	-0,17
CEff	0,54	0,66	0,59	-0,06	0,65	0,03	-0,48	0,42	0,26	0,98	0,62	0,51	0,49	-0,27	1,00	0,52	0,11
Bseff	-0,12	-0,02	0,01	-0,31	0,32	0,00	-0,16	0,65	0,12	0,74	0,38	0,37	0,25	-0,70	0,52	1,00	0,15
P-AL	-0,03	-0,01	0,06	-0,05	-0,17	-0,30	0,29	0,30	0,09	0,16	-0,15	0,28	-0,06	-0,17	0,11	0,15	1,00
P-HCl	0,32	0,35	0,34	0,05	0,00	0,02	-0,04	-0,09	0,03	0,09	0,06	0,23	0,03	0,11	0,20	0,00	0,49
As	0,22	0,30	0,27	-0,12	0,40	0,16	-0,34	0,12	0,05	0,41	0,28	0,30	0,24	-0,07	0,44	0,19	-0,04
B	0,25	0,39	0,40	-0,25	0,22	-0,24	-0,02	0,43	0,26	0,64	0,18	0,37	0,21	-0,33	0,66	0,42	0,31
Cd	0,43	0,55	0,50	-0,11	0,40	-0,01	-0,27	0,17	0,12	0,58	0,30	0,39	0,24	-0,06	0,65	0,26	0,22
Co	-0,01	0,13	0,04	-0,37	0,79	0,47	-0,74	0,11	-0,05	0,47	0,62	0,48	0,40	-0,13	0,41	0,25	-0,21
Cr	0,09	0,22	0,13	-0,31	0,87	0,44	-0,80	0,13	-0,06	0,55	0,69	0,49	0,48	-0,12	0,51	0,28	-0,18
Cs	-0,04	0,08	-0,03	-0,33	0,88	0,48	-0,81	0,06	-0,11	0,46	0,70	0,49	0,43	-0,10	0,35	0,23	-0,26
Cu	0,31	0,44	0,36	-0,20	0,73	0,23	-0,62	0,09	-0,01	0,56	0,62	0,51	0,38	-0,05	0,62	0,25	0,02
Hg	0,59	0,60	0,53	0,25	0,22	0,08	-0,22	-0,12	-0,03	0,30	0,15	0,16	0,17	0,15	0,46	0,04	0,09
Mn	-0,10	0,02	-0,04	-0,36	0,42	0,36	-0,42	0,10	0,00	0,24	0,34	0,33	0,15	-0,13	0,20	0,17	-0,09
Mo	0,34	0,40	0,38	-0,01	0,27	0,18	-0,30	-0,17	-0,02	0,14	0,24	0,20	0,08	0,09	0,30	0,03	-0,14
Ni	0,14	0,30	0,23	-0,35	0,80	0,36	-0,70	0,24	0,05	0,64	0,60	0,51	0,42	-0,17	0,63	0,34	-0,13
Pb	0,26	0,38	0,26	-0,18	0,72	0,35	-0,65	0,02	-0,06	0,48	0,60	0,45	0,43	0,00	0,51	0,20	-0,03
Se	0,72	0,76	0,69	0,24	0,34	0,02	-0,30	-0,07	0,09	0,45	0,32	0,19	0,36	0,14	0,62	0,08	-0,04
Sr	0,30	0,42	0,34	-0,16	0,68	0,34	-0,66	0,31	0,29	0,62	0,57	0,45	0,44	-0,18	0,70	0,37	0,04
V	0,16	0,28	0,17	-0,22	0,83	0,48	-0,80	0,01	-0,12	0,48	0,69	0,46	0,47	-0,05	0,47	0,21	-0,22
Zn	-0,05	0,11	0,03	-0,42	0,71	0,38	-0,64	0,14	-0,05	0,47	0,60	0,53	0,39	-0,16	0,38	0,28	0,01

Fortsätter på nästa sida



Appendix 3. Fortsättning

	P-HCl	As	B	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
Mull	0,32	0,22	0,25	0,43	-0,01	0,09	-0,04	0,31	0,59	-0,10	0,34	0,14	0,26	0,72	0,30	0,16	-0,05
N	0,35	0,30	0,39	0,55	0,13	0,22	0,08	0,44	0,60	0,02	0,40	0,30	0,38	0,76	0,42	0,28	0,11
S	0,34	0,27	0,40	0,50	0,04	0,13	-0,03	0,36	0,53	-0,04	0,38	0,23	0,26	0,69	0,34	0,17	0,03
C/N	0,05	-0,12	-0,25	-0,11	-0,37	-0,31	-0,33	-0,20	0,25	-0,36	-0,01	-0,35	-0,18	0,24	-0,16	-0,22	-0,42
Ler	0,00	0,40	0,22	0,40	0,79	0,87	0,88	0,73	0,22	0,42	0,27	0,80	0,72	0,34	0,68	0,83	0,71
Silt	0,02	0,16	-0,24	-0,01	0,47	0,44	0,48	0,23	0,08	0,36	0,18	0,36	0,35	0,02	0,34	0,48	0,38
Sand	-0,04	-0,34	-0,02	-0,27	-0,74	-0,80	-0,81	-0,62	-0,22	-0,42	-0,30	-0,70	-0,65	-0,30	-0,66	-0,80	-0,64
pH	-0,09	0,12	0,43	0,17	0,11	0,13	0,06	0,09	-0,12	0,10	-0,17	0,24	0,02	-0,07	0,31	0,01	0,14
CaCO <sub>3</sub>	0,03	0,05	0,26	0,12	-0,05	-0,06	-0,11	-0,01	-0,03	0,00	-0,02	0,05	-0,06	0,09	0,29	-0,12	-0,05
Ca	0,09	0,41	0,64	0,58	0,47	0,55	0,46	0,56	0,30	0,24	0,14	0,64	0,48	0,45	0,62	0,48	0,47
Mg	0,06	0,28	0,18	0,30	0,62	0,69	0,70	0,62	0,15	0,34	0,24	0,60	0,60	0,32	0,57	0,69	0,60
K	0,23	0,30	0,37	0,39	0,48	0,49	0,49	0,51	0,16	0,33	0,20	0,51	0,45	0,19	0,45	0,46	0,53
Na	0,03	0,24	0,21	0,24	0,40	0,48	0,43	0,38	0,17	0,15	0,08	0,42	0,43	0,36	0,44	0,47	0,39
Acid	0,11	-0,07	-0,33	-0,06	-0,13	-0,12	-0,10	-0,05	0,15	-0,13	0,09	-0,17	0,00	0,14	-0,18	-0,05	-0,16
CECe <sub>eff</sub>	0,20	0,44	0,66	0,65	0,41	0,51	0,35	0,62	0,46	0,20	0,30	0,63	0,51	0,62	0,70	0,47	0,38
Bse <sub>eff</sub>	0,00	0,19	0,42	0,26	0,25	0,28	0,23	0,25	0,04	0,17	0,03	0,34	0,20	0,08	0,37	0,21	0,28
P-AL	0,49	-0,04	0,31	0,22	-0,21	-0,18	-0,26	0,02	0,09	-0,09	-0,14	-0,13	-0,03	-0,04	0,04	-0,22	0,01
P-HCl	1,00	0,20	0,22	0,42	0,13	0,08	0,01	0,36	0,31	0,29	0,32	0,16	0,24	0,25	0,19	0,17	0,29
As	0,20	1,00	0,23	0,49	0,47	0,49	0,38	0,54	0,30	0,36	0,56	0,60	0,43	0,40	0,32	0,51	0,43
B	0,22	0,23	1,00	0,56	0,12	0,17	0,01	0,34	0,26	0,07	0,13	0,33	0,25	0,39	0,43	0,10	0,20
Cd	0,42	0,49	0,56	1,00	0,39	0,37	0,25	0,64	0,51	0,35	0,49	0,57	0,60	0,58	0,47	0,39	0,52
Co	0,13	0,47	0,12	0,39	1,00	0,82	0,81	0,70	0,17	0,71	0,37	0,85	0,68	0,20	0,55	0,83	0,81
Cr	0,08	0,49	0,17	0,37	0,82	1,00	0,82	0,74	0,20	0,43	0,32	0,88	0,66	0,27	0,62	0,87	0,73
Cs	0,01	0,38	0,01	0,25	0,81	0,82	1,00	0,64	0,10	0,55	0,35	0,76	0,62	0,14	0,48	0,82	0,75
Cu	0,36	0,54	0,34	0,64	0,70	0,74	0,64	1,00	0,40	0,48	0,53	0,82	0,68	0,44	0,57	0,73	0,72
Hg	0,31	0,30	0,26	0,51	0,17	0,20	0,10	0,40	1,00	0,11	0,31	0,26	0,43	0,60	0,29	0,28	0,17
Mn	0,29	0,36	0,07	0,35	0,71	0,43	0,55	0,48	0,11	1,00	0,41	0,56	0,49	0,06	0,32	0,54	0,73
Mo	0,32	0,56	0,13	0,49	0,37	0,32	0,35	0,53	0,31	0,41	1,00	0,46	0,31	0,44	0,17	0,46	0,36
Ni	0,16	0,60	0,33	0,57	0,85	0,88	0,76	0,82	0,26	0,56	0,46	1,00	0,67	0,35	0,63	0,81	0,77
Pb	0,24	0,43	0,25	0,60	0,68	0,66	0,62	0,68	0,43	0,49	0,31	0,67	1,00	0,43	0,54	0,69	0,72
Se	0,25	0,40	0,39	0,58	0,20	0,27	0,14	0,44	0,60	0,06	0,44	0,35	0,43	1,00	0,33	0,36	0,14
Sr	0,19	0,32	0,43	0,47	0,55	0,62	0,48	0,57	0,29	0,32	0,17	0,63	0,54	0,33	1,00	0,54	0,54
V	0,17	0,51	0,10	0,39	0,83	0,87	0,82	0,73	0,28	0,54	0,46	0,81	0,69	0,36	0,54	1,00	0,72
Zn	0,29	0,43	0,20	0,52	0,81	0,73	0,75	0,72	0,17	0,73	0,36	0,77	0,72	0,14	0,54	0,72	1,00

Appendix 3. Fortsättning

Appendix 4. Korrelationer mellan olika markegenskaper i matjordar med >12 % humus (n=212). Se Tabell 2 för signifikansnivåer *Appendix 4. Correlations between different soil properties in plough layers with >12 % humus (n=212). See Table 2 for levels of significance*

	Mull	N	S	C/N	Ler	Silt	Sand	pH	CaCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	K	Na	Acid	CECeff	Bseff	P-AL
Mull	1,00	0,93	0,58	0,37	-0,10	-0,09	-0,09	-0,22	-0,06	0,52	0,36	0,16	0,34	0,20	0,60	0,03	0,16
N	0,93	1,00	0,64	0,00	0,18	-0,01	-0,32	-0,12	0,01	0,64	0,39	0,26	0,37	0,12	0,70	0,09	0,15
S	0,58	0,64	1,00	-0,02	-0,05	0,01	-0,10	-0,01	0,03	0,51	0,27	0,14	0,26	-0,04	0,53	0,14	0,13
C/N	0,37	0,00	-0,02	1,00	-0,49	-0,12	0,41	-0,30	-0,19	-0,19	0,00	-0,22	-0,01	0,23	-0,15	-0,13	0,06
Ler	-0,10	0,18	-0,05	-0,49	1,00	0,20	-0,78	-0,04	-0,07	0,05	0,46	0,54	0,25	0,14	0,16	0,00	-0,13
Silt	-0,09	-0,01	0,01	-0,12	0,20	1,00	-0,64	-0,20	-0,15	-0,27	-0,04	0,14	0,04	0,23	-0,30	-0,23	0,13
Sand	-0,09	-0,32	-0,10	0,41	-0,78	-0,64	1,00	0,08	-0,03	-0,02	-0,38	-0,52	-0,26	-0,19	-0,09	0,10	-0,01
pH	-0,22	-0,12	-0,01	-0,30	-0,04	-0,20	0,08	1,00	0,53	0,47	0,06	-0,04	-0,09	-0,89	0,46	0,63	0,06
CaCO <sub>3</sub>	-0,06	0,01	0,03	-0,19	-0,07	-0,15	-0,03	0,53	1,00	0,22	-0,11	-0,17	0,01	-0,41	0,21	0,18	-0,14
Ca	0,52	0,64	0,51	-0,19	0,05	-0,27	-0,02	0,47	0,22	1,00	0,41	0,17	0,27	-0,50	0,90	0,50	0,19
Mg	0,36	0,39	0,27	0,00	0,46	-0,04	-0,38	0,06	-0,11	0,41	1,00	0,45	0,49	-0,16	0,53	0,38	0,21
K	0,16	0,26	0,14	-0,22	0,54	0,14	-0,52	-0,04	-0,17	0,17	0,45	1,00	0,22	0,03	0,26	0,13	0,36
Na	0,34	0,37	0,26	-0,01	0,25	0,04	-0,26	-0,09	0,01	0,27	0,49	0,22	1,00	0,07	0,28	0,04	0,17
Acid	0,20	0,12	-0,04	0,23	0,14	0,23	-0,19	-0,89	-0,41	-0,50	-0,16	0,03	0,07	1,00	-0,48	-0,73	-0,09
CECeff	0,60	0,70	0,53	-0,15	0,16	-0,30	-0,09	0,46	0,21	0,90	0,53	0,26	0,28	-0,48	1,00	0,61	0,16
Bseff	0,03	0,09	0,14	-0,13	0,00	-0,23	0,10	0,63	0,18	0,50	0,38	0,13	0,04	-0,73	0,61	1,00	0,04
P-AL	0,16	0,15	0,13	0,06	-0,13	0,13	-0,01	0,06	-0,14	0,19	0,21	0,36	0,17	-0,09	0,16	0,04	1,00
P-HCI	0,48	0,48	0,32	0,08	-0,07	0,19	-0,10	-0,27	-0,24	0,07	0,13	0,27	0,14	0,30	0,14	-0,11	0,45
As	0,17	0,27	0,20	-0,21	0,25	0,13	-0,25	-0,06	-0,06	0,14	0,18	0,22	-0,02	0,03	0,23	0,10	0,00
B	0,41	0,58	0,58	-0,34	0,06	-0,27	-0,03	0,36	0,24	0,71	0,32	0,25	0,24	-0,40	0,79	0,46	0,10
Cd	0,44	0,53	0,34	-0,14	0,38	-0,02	-0,27	-0,03	-0,09	0,32	0,32	0,35	0,23	-0,02	0,46	0,17	0,15
Co	-0,30	-0,15	-0,16	-0,43	0,81	0,25	-0,67	-0,04	-0,22	-0,17	0,09	0,30	-0,03	0,08	-0,08	0,01	-0,17
Cr	-0,23	-0,12	-0,17	-0,31	0,87	0,33	-0,81	-0,15	-0,29	-0,22	0,24	0,34	0,04	0,16	-0,13	-0,08	-0,09
Cs	-0,48	-0,36	-0,35	-0,40	0,89	0,30	-0,72	-0,01	-0,23	-0,29	0,16	0,28	-0,03	0,02	-0,22	-0,01	-0,18
Cu	0,15	0,23	0,14	-0,19	0,64	0,22	-0,58	-0,18	-0,34	0,08	0,30	0,39	0,13	0,15	0,17	-0,02	0,05
Hg	0,59	0,54	0,36	0,25	0,18	0,04	-0,08	-0,27	-0,33	0,24	0,23	0,18	0,17	0,16	0,31	0,02	0,13
Mn	-0,09	0,07	0,08	-0,42	0,43	0,18	-0,36	0,22	0,02	0,21	0,11	0,21	-0,07	-0,21	0,23	0,29	-0,12
Mo	0,27	0,44	0,36	-0,36	0,22	0,08	-0,19	-0,07	-0,06	0,36	0,14	0,27	0,04	-0,05	0,40	0,16	-0,02
Ni	-0,08	0,10	0,05	-0,47	0,76	0,15	-0,65	0,09	-0,13	0,16	0,32	0,39	0,10	-0,12	0,26	0,17	-0,09
Pb	0,22	0,24	0,11	0,01	0,61	0,20	-0,47	-0,24	-0,29	-0,04	0,33	0,36	0,19	0,17	0,06	-0,04	0,16
Se	0,52	0,60	0,50	-0,10	0,14	-0,13	-0,01	0,04	-0,02	0,49	0,16	0,19	0,19	-0,04	0,50	0,15	0,04
Sr	0,39	0,49	0,31	-0,19	0,39	0,03	-0,48	0,46	0,46	0,67	0,45	0,27	0,29	-0,42	0,74	0,50	0,05
V	-0,14	-0,08	-0,14	-0,18	0,74	0,35	-0,65	-0,28	-0,38	-0,28	0,15	0,33	-0,01	0,25	-0,16	-0,13	-0,06
Zn	-0,27	-0,15	-0,18	-0,36	0,74	0,20	-0,61	0,02	-0,16	-0,15	0,24	0,34	0,04	-0,05	-0,03	0,08	0,00

Fortsätter på nästa sida

Appendix 4. Continued

Appendix 4. Fortsättning

	P-HCl	As	B	Cd	Co	Cr	Cs	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Sr	V	Zn
Mull	0,48	0,17	0,41	0,44	-0,30	-0,23	-0,48	0,15	0,59	-0,09	0,27	-0,08	0,22	0,52	0,39	-0,14	-0,27
N	0,48	0,27	0,58	0,53	-0,15	-0,12	-0,36	0,23	0,54	0,07	0,44	0,10	0,24	0,60	0,49	-0,08	-0,15
S	0,32	0,20	0,58	0,34	-0,16	-0,17	-0,35	0,14	0,36	0,08	0,36	0,05	0,11	0,50	0,31	-0,14	-0,18
C/N	0,08	-0,21	-0,34	-0,14	-0,43	-0,31	-0,40	-0,19	0,25	-0,42	-0,36	-0,47	0,01	-0,10	-0,19	-0,18	-0,36
Ler	-0,07	0,25	0,06	0,38	0,81	0,87	0,89	0,64	0,18	0,43	0,22	0,76	0,61	0,14	0,39	0,74	0,74
Silt	0,19	0,13	-0,27	-0,02	0,25	0,33	0,30	0,22	0,04	0,18	0,08	0,15	0,20	-0,13	0,03	0,35	0,20
Sand	-0,10	-0,25	-0,03	-0,27	-0,67	-0,81	-0,72	-0,58	-0,08	-0,36	-0,19	-0,65	-0,47	-0,01	-0,48	-0,65	-0,61
pH	-0,27	-0,06	0,36	-0,03	-0,04	-0,15	-0,01	-0,18	-0,27	0,22	-0,07	0,09	-0,24	0,04	0,46	-0,65	0,02
CaCO <sub>x</sub>	-0,24	-0,06	0,24	-0,09	-0,22	-0,29	-0,23	-0,34	-0,33	0,02	-0,06	-0,13	-0,29	-0,02	0,46	-0,38	0,16
Ca	0,07	0,14	0,71	0,32	-0,17	-0,22	-0,29	0,08	0,24	0,21	0,36	0,16	-0,04	0,49	0,67	-0,28	-0,15
Mg	0,13	0,18	0,32	0,32	0,09	0,24	0,16	0,30	0,23	0,11	0,14	0,32	0,33	0,16	0,45	0,15	0,24
K	0,27	0,22	0,25	0,35	0,30	0,34	0,28	0,39	0,18	0,21	0,27	0,39	0,36	0,19	0,27	0,33	0,34
Na	0,14	-0,02	0,24	0,23	-0,03	0,04	-0,03	0,13	0,17	-0,07	0,04	0,10	0,19	0,19	0,29	-0,01	0,04
Acid	0,30	0,03	-0,40	-0,02	0,08	0,16	0,02	0,15	0,16	-0,21	-0,05	-0,12	0,17	-0,04	-0,42	0,25	-0,05
CECeff	0,14	0,23	0,79	0,46	-0,08	-0,13	-0,22	0,17	0,31	0,23	0,40	0,26	0,06	0,50	0,74	-0,16	-0,03
Bseff	-0,11	0,10	0,46	0,17	0,01	-0,08	-0,01	-0,02	0,02	0,29	0,16	0,17	-0,04	0,15	0,50	-0,13	0,08
P-AL	0,45	0,00	0,10	0,15	-0,17	-0,09	-0,18	0,05	0,13	-0,12	-0,02	-0,09	0,16	0,04	0,05	-0,06	0,00
P-HCl	1,00	0,35	0,13	0,44	0,09	0,29	-0,12	0,31	0,56	0,20	0,28	0,05	0,39	0,38	0,02	0,28	0,04
As	0,35	1,00	0,16	0,41	0,31	0,29	0,19	0,34	0,34	0,42	0,50	0,40	0,22	0,29	0,14	0,32	0,27
B	0,13	0,16	1,00	0,38	-0,04	-0,14	-0,20	0,18	0,16	0,21	0,44	0,27	0,00	0,44	0,63	-0,19	-0,01
Cd	0,44	0,41	0,38	1,00	0,27	0,23	0,11	0,59	0,68	0,33	0,55	0,50	0,51	0,60	0,36	0,31	0,44
Co	0,09	0,31	-0,04	0,27	1,00	0,75	0,77	0,60	0,10	0,56	0,27	0,77	0,34	0,07	-0,01	0,72	0,73
Cr	0,09	0,29	-0,14	0,23	0,75	1,00	0,80	0,63	0,08	0,37	0,22	0,72	0,38	0,00	-0,02	0,77	0,68
Cs	-0,12	0,19	-0,20	0,11	0,77	0,80	1,00	0,52	-0,06	0,40	0,16	0,71	0,27	-0,13	-0,07	0,68	0,70
Cu	0,31	0,34	0,18	0,59	0,60	0,63	0,52	1,00	0,46	0,30	0,47	0,74	0,44	0,33	0,11	0,60	0,59
Hg	0,56	0,34	0,16	0,68	0,10	0,08	-0,06	0,46	1,00	0,22	0,37	0,19	0,55	0,59	0,12	0,29	0,10
Min	0,20	0,42	0,21	0,33	0,56	0,37	0,40	0,30	0,22	1,00	0,44	0,49	0,20	0,27	0,26	0,41	0,47
Mo	0,28	0,50	0,44	0,55	0,27	0,22	0,16	0,47	0,37	0,44	1,00	0,49	0,11	0,51	0,19	0,26	0,20
Ni	0,05	0,40	0,27	0,50	0,77	0,72	0,71	0,74	0,19	0,49	0,49	1,00	0,29	0,24	0,29	0,60	0,72
Pb	0,39	0,22	0,00	0,51	0,34	0,38	0,27	0,44	0,55	0,20	0,11	0,29	1,00	0,25	0,07	0,46	0,48
Se	0,38	0,29	0,44	0,60	0,07	0,00	-0,13	0,33	0,59	0,27	0,51	0,24	0,25	1,00	0,30	0,10	0,00
Sr	0,02	0,14	0,63	0,36	-0,01	-0,02	-0,07	0,11	0,12	0,26	0,19	0,29	0,07	0,30	1,00	-0,15	0,11
V	0,28	0,32	-0,19	0,31	0,72	0,77	0,68	0,60	0,29	0,41	0,26	0,60	0,46	0,10	-0,15	1,00	0,60
Zn	0,04	0,27	-0,01	0,44	0,73	0,68	0,70	0,59	0,10	0,47	0,20	0,72	0,48	0,00	0,11	0,60	1,00

Appendix 5a. Korrelationer mellan grundämneshalter i höstvetekärna och matjordens egenskaper (n=582). Se Tabell 2 för signifikansnivåer

Appendix 5a. Correlations between element concentrations in winter wheat grain and properties of the plough layer (n=582). See Table 2 for levels of significance

Jord	Kärna													
	Ca	K	Mg	P	Cd	Co	Cs	Cu	Mn	Mo	Ni	Sr	V	Zn
Mull	-0,06	-0,01	0,08	0,02	0,11	0,24	0,05	0,12	0,10	0,07	-0,02	-0,12	0,04	0,15
N	0,00	-0,03	0,05	0,00	0,15	0,19	0,01	0,15	0,02	0,07	0,06	-0,17	0,02	0,08
S	0,01	-0,02	0,05	0,04	0,16	0,17	-0,04	0,10	0,04	0,17	0,05	-0,09	-0,01	0,11
C/N	-0,16	0,03	0,10	0,05	-0,06	0,18	0,10	-0,01	0,22	0,04	-0,18	0,07	0,04	0,20
Ler	-0,09	-0,10	0,26	0,12	0,07	0,23	0,07	0,51	0,04	0,18	0,33	-0,16	-0,05	0,07
Silt	-0,14	-0,09	0,16	-0,03	-0,02	0,06	0,17	0,28	0,13	-0,06	0,07	-0,11	0,02	0,01
Sand	0,13	0,09	-0,29	-0,09	-0,04	-0,22	-0,15	-0,48	-0,11	-0,10	-0,24	0,16	0,03	-0,11
pH	0,14	0,00	-0,04	0,12	-0,22	-0,38	-0,24	-0,02	-0,51	0,38	-0,25	0,11	-0,13	-0,47
CaCO <sub>3</sub>	0,09	-0,01	-0,02	0,02	-0,07	-0,10	-0,07	-0,03	-0,22	0,09	-0,08	0,07	-0,03	-0,10
Ca%	0,25	-0,04	-0,32	-0,10	-0,02	-0,35	-0,14	-0,22	-0,47	0,13	-0,27	-0,02	0,02	-0,51
Mg%	-0,25	0,05	0,45	0,21	0,02	0,28	0,18	0,35	0,33	0,02	0,23	0,00	-0,02	0,43
K%	-0,18	0,08	0,04	0,06	0,02	0,16	-0,36	-0,14	0,30	-0,20	0,23	-0,04	-0,02	0,27
Na%	-0,10	0,08	0,01	-0,12	-0,02	0,19	0,27	-0,05	0,16	-0,42	0,11	-0,03	0,00	0,15
Acid	-0,18	0,04	0,03	-0,05	0,09	0,34	0,06	0,04	0,56	-0,24	0,22	0,04	-0,02	0,43
CECeff	0,10	-0,06	0,06	0,08	0,04	0,00	-0,05	0,29	-0,33	0,26	0,04	-0,19	0,02	-0,22
Bseff	0,07	0,05	0,06	0,14	-0,03	-0,26	-0,09	0,06	-0,42	0,28	-0,15	-0,04	-0,02	-0,39
P-AL	0,10	0,16	-0,06	0,21	-0,03	-0,18	-0,41	-0,34	-0,20	0,05	-0,11	0,03	0,09	-0,05
P-HCl	-0,03	0,17	0,13	0,22	0,08	0,04	-0,13	-0,02	0,10	0,09	0,13	-0,09	0,12	0,25
As	0,06	0,00	-0,04	0,01	0,24	-0,02	-0,12	0,15	0,00	0,35	0,28	-0,16	-0,08	-0,07
B	0,18	-0,04	-0,21	-0,06	0,09	-0,16	-0,20	-0,12	-0,42	0,07	0,00	-0,12	0,00	-0,30
Cd	0,08	0,03	-0,09	0,04	0,44	0,02	-0,15	0,02	0,00	0,25	0,29	-0,15	0,01	0,02
Co	-0,08	-0,06	0,17	0,08	0,10	0,12	0,00	0,39	0,07	0,19	0,37	-0,19	-0,06	0,01
Cr	-0,09	-0,07	0,15	0,08	0,19	0,19	-0,03	0,42	0,01	0,12	0,40	-0,16	-0,06	0,00
Cs	-0,10	-0,07	0,31	0,19	0,04	0,18	0,15	0,48	0,16	0,28	0,27	-0,16	-0,06	0,12
Cu	-0,02	-0,03	0,21	0,19	0,23	0,13	-0,05	0,40	0,18	0,36	0,43	-0,18	-0,04	0,19
Hg	0,03	-0,06	-0,07	-0,10	0,20	0,11	-0,03	0,09	-0,01	0,05	0,15	-0,13	0,03	0,01
Mn	-0,06	-0,05	0,13	0,10	-0,10	-0,17	-0,03	0,23	0,10	0,26	0,14	-0,11	-0,05	0,02
Mo	-0,03	0,01	0,16	0,18	0,19	0,06	0,02	0,16	0,28	0,52	0,22	-0,10	-0,01	0,20
Ni	-0,05	-0,06	0,07	0,06	0,20	0,12	-0,11	0,35	0,00	0,25	0,41	-0,21	-0,06	-0,08
Pb	-0,10	0,02	0,11	0,06	0,30	0,15	-0,11	0,27	0,05	0,07	0,36	-0,23	-0,01	0,08
Se	-0,05	-0,05	-0,07	-0,10	0,22	0,18	0,01	0,15	-0,02	0,15	0,12	-0,16	-0,03	-0,05
Sr	0,05	-0,04	0,14	0,09	-0,07	0,02	-0,01	0,30	-0,24	0,15	0,10	0,11	-0,04	-0,10
V	-0,07	-0,02	0,22	0,12	0,14	0,19	0,09	0,43	0,08	0,26	0,37	-0,19	-0,05	0,05
Zn	-0,04	1,00	0,20	0,16	0,21	0,04	-0,07	0,32	0,07	0,21	0,35	-0,16	-0,03	0,17

Appendix 5b. Korrelationer mellan grundämnesshalter i korn-  
kärna och matjordens egenskaper (n=319) . Se Tabell 2 för  
signifikansnivåer

Appendix 5b. Correlations between element concentrations in barley  
grain and properties of the plough layer (n=319). See Table 2 for  
levels of significance

Jord	Kärna	Ca	K	Mg	P	Cd	Co	Cs	Cu	Mn	Mo	Ni	Sr	V	Zn
Mull	0,10	-0,04	-0,09	-0,08	-0,04	0,21	0,07	0,25	0,16	-0,05	0,14	-0,25	-0,01	0,14	
N	0,10	-0,08	-0,09	-0,07	0,04	0,16	0,05	0,27	0,06	-0,01	0,17	-0,27	-0,04	0,15	
S	0,14	-0,02	-0,13	-0,04	-0,01	0,14	0,06	0,26	0,07	0,02	0,14	-0,30	-0,05	0,13	
C/N	0,04	0,08	-0,02	-0,04	-0,22	0,20	0,06	0,02	0,32	-0,13	-0,03	-0,02	0,07	0,03	
Ler	-0,09	-0,12	0,13	-0,08	0,29	0,26	0,15	0,29	-0,19	0,15	0,13	-0,04	-0,12	0,10	
Silt	0,03	-0,08	0,06	0,00	-0,15	0,10	0,13	0,34	0,12	-0,34	-0,07	-0,03	0,00	0,01	
Sand	0,03	0,13	-0,12	0,04	-0,08	-0,28	-0,21	-0,44	0,01	0,13	-0,14	0,07	0,05	-0,12	
pH	0,07	0,05	-0,04	0,11	0,11	-0,21	-0,05	-0,16	-0,68	0,50	-0,36	-0,09	-0,05	-0,41	
CaCO <sub>3</sub>	0,08	0,00	-0,09	-0,03	0,07	-0,11	-0,01	-0,11	-0,35	0,17	-0,15	-0,11	-0,08	-0,18	
Ca%	0,24	0,07	-0,21	0,07	0,04	-0,27	-0,04	-0,17	-0,54	0,43	-0,30	-0,25	-0,13	-0,40	
Mg%	-0,23	-0,01	0,36	0,04	0,04	0,27	0,15	0,29	0,22	-0,24	0,19	0,24	0,07	0,32	
K%	-0,15	0,12	0,16	0,10	-0,06	0,02	-0,36	-0,04	0,34	-0,23	0,09	0,24	0,10	0,24	
Na%	-0,14	0,00	0,20	0,02	-0,05	0,17	0,10	0,16	0,31	-0,37	0,10	0,26	0,19	0,18	
Acid	-0,11	-0,11	-0,06	-0,16	-0,12	0,14	-0,04	0,06	0,58	-0,47	0,23	0,01	0,01	0,30	
CECeff	0,14	-0,05	-0,03	0,02	0,20	0,10	0,08	0,21	-0,36	0,34	-0,02	-0,27	-0,09	-0,04	
Bseff	0,12	0,11	0,08	0,18	0,11	-0,13	0,02	0,03	-0,55	0,40	-0,26	-0,09	-0,06	-0,24	
P-AL	0,05	0,18	-0,02	0,22	-0,03	-0,24	-0,25	-0,39	-0,25	0,32	-0,26	0,13	0,05	-0,14	
P-HCl	0,12	0,09	-0,02	0,25	-0,07	-0,12	-0,07	0,14	0,06	0,03	0,08	-0,01	0,04	0,22	
As	0,10	0,04	-0,06	0,13	0,11	0,14	-0,06	0,30	0,06	0,12	0,31	-0,17	-0,02	0,04	
B	0,08	-0,09	-0,15	0,05	0,19	-0,09	-0,14	0,07	-0,41	0,33	-0,08	-0,15	-0,08	-0,08	
Cd	0,01	-0,06	-0,10	0,01	0,27	-0,02	-0,16	0,05	-0,13	0,20	0,22	-0,17	-0,08	0,06	
Co	-0,04	-0,14	0,19	0,05	0,26	0,15	0,15	0,41	-0,09	0,00	0,28	-0,05	-0,06	0,18	
Cr	-0,03	-0,15	0,15	0,04	0,26	0,27	0,18	0,55	-0,09	-0,04	0,26	-0,06	-0,02	0,21	
Cs	-0,08	-0,14	0,14	-0,03	0,23	0,22	0,21	0,33	-0,08	0,10	0,23	-0,07	-0,13	0,11	
Cu	0,06	-0,08	0,08	0,09	0,22	0,16	0,05	0,37	-0,11	0,15	0,32	-0,17	-0,05	0,20	
Hg	0,02	-0,11	-0,11	-0,07	0,07	0,08	-0,01	0,07	-0,02	0,07	0,04	-0,09	-0,08	0,08	
Mn	0,03	-0,08	0,08	0,17	0,08	-0,14	0,00	0,26	-0,04	0,00	0,15	-0,07	-0,04	0,14	
Mo	0,10	0,05	-0,12	0,06	0,05	0,12	-0,01	0,25	0,19	0,18	0,27	-0,23	-0,04	0,11	
Ni	0,03	-0,13	0,11	0,09	0,26	0,17	0,05	0,43	-0,13	0,06	0,37	-0,18	-0,03	0,14	
Pb	-0,06	-0,18	0,11	-0,05	0,32	0,12	-0,06	0,19	-0,09	0,00	0,21	-0,10	-0,10	0,17	
Se	0,01	-0,02	-0,12	-0,15	0,18	0,18	0,05	0,12	-0,06	0,10	0,22	-0,28	-0,12	0,03	
Sr	-0,06	-0,10	0,03	-0,01	0,13	0,10	0,09	0,23	-0,31	0,16	-0,02	0,09	-0,10	0,00	
V	-0,02	-0,08	0,08	0,02	0,19	0,25	0,18	0,48	-0,01	0,03	0,21	-0,14	-0,02	0,15	
Zn	-0,01	-0,12	0,17	0,13	0,23	0,01	0,05	0,36	-0,11	0,01	0,28	-0,04	-0,04	0,28	

Appendix 5c. Korrelationer mellan grundämneshalter i havre-  
kärna och matjordens egenskaper (n=198) . Se Tabell 2 för  
signifikansnivåer

Appendix 5c. Correlations between element concentrations in oats grain  
and properties of the plough layer (n=198). See Table 2 for levels of  
significance

Jord	Kärna														
	Ca	K	Mg	P	Cd	Co	Cs	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sr	V	Zn
Mull	-0,09	0,22	0,03	0,01	0,14	0,27	0,11	0,12	0,11	0,07	-0,01	0,07	-0,14	0,09	0,24
N	-0,05	0,24	-0,03	-0,06	0,13	0,24	0,06	0,13	0,05	0,11	0,05	0,06	-0,17	0,08	0,17
S	-0,04	0,20	-0,07	-0,06	0,14	0,17	0,00	0,04	-0,03	0,20	-0,01	0,04	-0,20	0,04	0,13
C/N	-0,14	0,05	0,18	0,19	0,10	0,22	0,17	0,07	0,20	-0,06	-0,17	0,07	0,00	0,08	0,32
Ler	0,08	0,15	0,09	-0,07	0,07	0,38	0,17	0,29	0,04	0,01	0,47	0,05	0,08	0,13	-0,10
Silt	0,00	-0,06	0,46	0,30	0,22	0,26	0,30	0,44	0,36	-0,22	0,34	0,04	0,27	0,12	0,32
Sand	-0,05	-0,06	-0,38	-0,16	-0,26	-0,46	-0,34	-0,50	-0,27	0,12	-0,55	-0,05	-0,23	-0,17	-0,21
pH	0,35	0,05	-0,36	-0,20	-0,46	-0,54	-0,35	-0,38	-0,77	0,47	-0,41	0,06	-0,25	-0,10	-0,60
CaCO <sub>3</sub>	0,14	0,09	-0,22	-0,15	-0,16	-0,23	-0,26	-0,14	-0,46	0,22	-0,16	-0,13	-0,20	-0,15	-0,24
Ca%	0,40	0,04	-0,28	-0,10	-0,46	-0,49	-0,17	-0,24	-0,57	0,52	-0,44	0,04	-0,31	-0,03	-0,41
Mg%	-0,24	0,00	0,35	0,09	0,22	0,45	0,20	0,29	0,33	-0,32	0,44	0,02	0,35	0,15	0,28
K%	-0,25	-0,06	0,14	0,10	0,14	0,15	-0,25	0,00	0,44	-0,28	0,20	-0,05	0,08	0,06	0,16
Na%	-0,32	-0,24	0,33	0,21	0,31	0,36	0,24	0,28	0,59	-0,41	0,24	0,05	0,32	0,09	0,41
Acid	-0,40	0,05	-0,01	-0,07	0,36	0,44	0,11	0,13	0,59	-0,52	0,32	-0,09	0,01	-0,01	0,31
CECeff	0,24	0,26	-0,18	-0,16	-0,14	-0,06	-0,09	-0,07	-0,48	0,43	0,00	0,05	-0,24	0,00	-0,29
Bseff	0,37	0,05	-0,13	-0,07	-0,48	-0,39	-0,15	-0,15	-0,58	0,49	-0,28	0,07	-0,15	0,04	-0,39
P-AL	0,05	0,25	-0,25	-0,03	-0,15	-0,23	-0,43	-0,44	-0,28	0,28	-0,34	0,09	-0,18	-0,05	-0,17
P-HCl	-0,09	0,20	-0,06	0,08	0,11	-0,16	-0,17	0,01	-0,01	0,23	0,00	-0,10	-0,20	-0,12	0,11
As	0,14	0,13	0,05	0,05	0,21	0,12	0,00	0,13	-0,06	0,30	0,40	-0,02	-0,16	-0,02	-0,07
B	0,16	0,15	-0,32	-0,23	-0,14	-0,25	-0,36	-0,26	-0,51	0,43	-0,18	-0,03	-0,30	-0,06	-0,35
Cd	0,08	0,18	-0,20	-0,14	0,19	-0,23	-0,43	0,01	-0,19	0,30	0,16	-0,01	-0,25	-0,04	-0,05
Co	0,16	0,08	0,16	0,02	0,16	0,20	0,11	0,30	0,08	0,04	0,51	-0,05	0,07	0,07	0,00
Cr	-0,01	0,07	0,24	0,05	0,25	0,42	0,23	0,38	0,13	0,03	0,61	0,00	0,06	0,12	0,02
Cs	0,15	0,05	0,22	0,03	0,14	0,35	0,31	0,39	0,17	-0,03	0,56	0,01	0,18	0,16	0,04
Cu	0,06	0,19	0,06	-0,02	0,21	0,20	0,09	0,31	0,04	0,25	0,48	-0,10	-0,12	-0,03	0,04
Hg	-0,05	0,07	-0,23	-0,13	0,00	0,03	-0,06	-0,05	-0,08	0,14	-0,11	0,13	-0,34	-0,02	-0,02
Mn	0,20	0,09	0,13	0,10	0,09	-0,08	0,02	0,23	0,17	-0,02	0,29	-0,04	0,03	0,03	0,10
Mo	0,18	0,14	0,25	0,18	0,25	0,18	0,19	0,37	0,29	0,33	0,40	-0,03	-0,04	0,06	0,26
Ni	0,14	0,10	0,07	-0,03	0,21	0,21	0,06	0,26	-0,03	0,19	0,57	-0,08	-0,07	-0,01	-0,07
Pb	-0,01	0,06	-0,12	-0,17	0,12	0,18	0,05	0,11	-0,02	-0,04	0,22	0,07	-0,12	0,04	-0,02
Se	0,02	0,09	-0,21	-0,18	0,01	0,17	0,02	-0,04	-0,10	0,11	-0,02	0,15	-0,21	0,07	-0,04
Sr	0,14	0,14	0,00	-0,08	0,00	0,06	0,01	0,11	-0,25	0,14	0,18	0,01	0,15	-0,01	-0,16
V	0,02	0,10	0,25	0,09	0,22	0,39	0,20	0,38	0,18	0,02	0,54	0,05	0,00	0,13	0,09
Zn	0,08	0,04	0,10	-0,01	0,24	0,16	0,12	0,29	0,07	0,04	0,45	0,00	0,03	0,07	0,06



RAPPORT 5062

# *Tillståndet i svensk åkermark och spannmålsgröda*

– jordartens betydelse för markegenskaperna,  
samband markfaktorer och elementhalter i kärna

I VARJE LAND UTGÖR den livsmedelsproducerande marken en särskilt värdefull naturresurs. Den skall inte bara förse oss nu levande med mat av god kvalitet utan också efterföljande generationer. Om detta skall kunna säkerställas måste vi ha kunskap om marken och grödans nuvarande kvalitet och ha mätsystem för att följa förändringar. En första landsomfattande kartering är nu genomförd och i och med denna rapport slutredovisad. Tidigare har redovisats åkermarkens tillstånd (4778), fosforupplagring (4919) och matjordstyper (4955) samt stallgödselns sammansättning (4974).

I denna rapport redovisas för kärna av höstvetete, korn och havre innehållet av växtnäringsämnen och spårelement, hur sammansättningen varierar inom landet samt hur skördens sammansättning relaterar till åkermarkens egenskaper. Rapporten beskriver också hur olika markegenskaper samvarierar med varandra och med jordarten.

Förhoppningen är att tillgången till det samlade datamaterialet i ovannämnda rapporter skall öka jordbrukarnas insikt om vikten av långsiktig balans på gården i tillförsel och bortförsl av såväl nyttiga som skadliga ämnen samt förbättra möjligheterna hos berörda myndigheter att öka träffsäkerheten vid utarbetande av prognoser, regelverk och åtgärdsprogram.

ISBN 91-620-5062-1

ISSN 0282-7298

NATURVÅRDSVERKET FÖRLAG