

# Jordbruksmarkens geokemi

# Geochemistry of agricultural soils

Projektet GEMAS, en kartläggning av europeisk åkermark och betesmark, initierades 2007 av de geokemiska expertgrupperna inom EuroGeoSurveys (EGS) under ledning av Norges geologiska undersökning (NGU). Från 33 länder i Europa har geologiska undersökningar, statliga och kontrakterade forskningsinstitutioner, universitet och industriorgan medverkat i projektet. Resultaten från kartläggningen har publicerats som en atlas i två delar (Reimann m.fl. 2014a, b). En regional rapport över geokemin i jordbruksmarker i Norge, Finland och

The GEMAS project, a survey on the geochemistry of European agricultural and grazing land soil, was initiated in 2007 by the Geochemistry Expert Group of EuroGeoSurveys (EGS) and managed for EGS by the Geological Survey of Norway (NGU). Institutions from 33 countries in Europe, including geological surveys, state and contract research organisations, universities and industry, have cooperated in the project. The results of this survey have been published in a two-volume atlas (Reimann et al. 2014a, b). A regional report on



Sverige har framställts av Sveriges geologiska undersökning (Ladenberger m.fl. 2012).

## BAKGRUND

Markkvalitet har blivit en viktig fråga för beslutsfattare i hela världen och EU-kommissionen har definierat lokal och diffus kontamination som ett av flera hot mot jordbruksmarkens kvalitet. Livsmedelsproduktion är till stor del beroende av de fysiska och kemiska egenskaperna hos åker- och betesmarker, och den kemiska sammansättningen i jord har blivit ett viktigt instrument för att bedöma jordkvalitet, speciellt för att identifiera lokal och diffus kontaminering.

Ett tidigare projekt, Baltic Soil, var fokuserat på geokemin i jordbruksmark i norra Europa och resulterade i en geokemisk databas som täckte tio länder i den baltiska regionen (Reimann m.fl. 2003). Den geokemiska sammansättningen hos betesmarker undersöktes dock inte i det projektet.

GEMAS-projektet har resulterat i högkvalitativa data om grundämnen och markegenskaper från både åkermarker (Ap) och betes-

the agricultural soils in Norway, Finland and Sweden has been compiled by the Geological Survey of Sweden (Ladenberger et al. 2012).

## BACKGROUND

Soil quality has become an important issue for decision makers, and the European Commission has defined local and diffuse contamination as one of several threats to the quality of agricultural soil. Food production is largely dependent on the physical and chemical properties of agricultural and grazing land soil, and the chemical properties of soil have become an important tool in soil quality assessments, especially in identifying local and diffuse pollution.

A former project, Baltic Soil, was focused on the geochemistry of agricultural soil in northern Europe and it resulted in a geochemical database that covered ten countries in the Baltic region (Reimann et al. 2003). However, the geochemical composition of grazing land was not assessed in that survey.

The GEMAS project provides high quality data on element concentrations and soil properties in both agricultural (Ap) and grazing

Motstående sida: En havreåker utanför Enköping i Uppland. Nedan till vänster: Skörd av potatis från en KRAV-certifierad åker. Nedan till höger: Expansion av tätorter utgör en risk för diffus kontamination.

Opposite page: An agricultural land with oat near Enköping, Uppland. Below left: Production of potatoes from a KRAV-certified field. Below right: Expansion of urban areas pose a risk of diffuse contamination.



marker (Gr) som kan användas för effektivisering av jordbruk och djurhållning. Data kan också användas för att utvärdera tillgången på näringsämnen för livsmedelsproduktion och dessas inverkan på hälsan hos djur och människor.

## METODER

Alla europeiska jordprov samlades in enligt en gemensamt överenskommen metod (EuroGeoSurveys Geochemistry Working Group 2008). Totalt samlades 2 108 prov in från åkermark (Ap, Ap-horizonten, 0–20 cm) och 2 023 prov från betesmark (Gr, ”grassland”, 0–10 cm), med en provtätthet av 1 prov per 2 500 km<sup>2</sup>.

Den senast odlade grödan (t.ex. majs, vete, korn) noterades för åkermarkens provlokaler och för betesmarkerna noterades vilket djur (häst, nötkreatur, får, get) som betat på platsen. Övriga provtagningslokaler noterades med okänd eller gräsbevuxen mark. I Sverige samlades 174 prov från åkermark och 179 prov från betesmark in av SGU (fig. 11A).

Efter lufttorkning, siktning till fraktionen <2 mm samt kungsvattenlakning, analyserades proven på 53 grundämnen med induktivt kopplad plasma-atomemissionsspektrometer (ICP-AES) och induktivt

land (Gr) soils, which can be used to improve the efficiency of agriculture and animal husbandry. It can also be used to evaluate the availability of nutrients in the food chain and their impact on animal and human health.

## METHODS

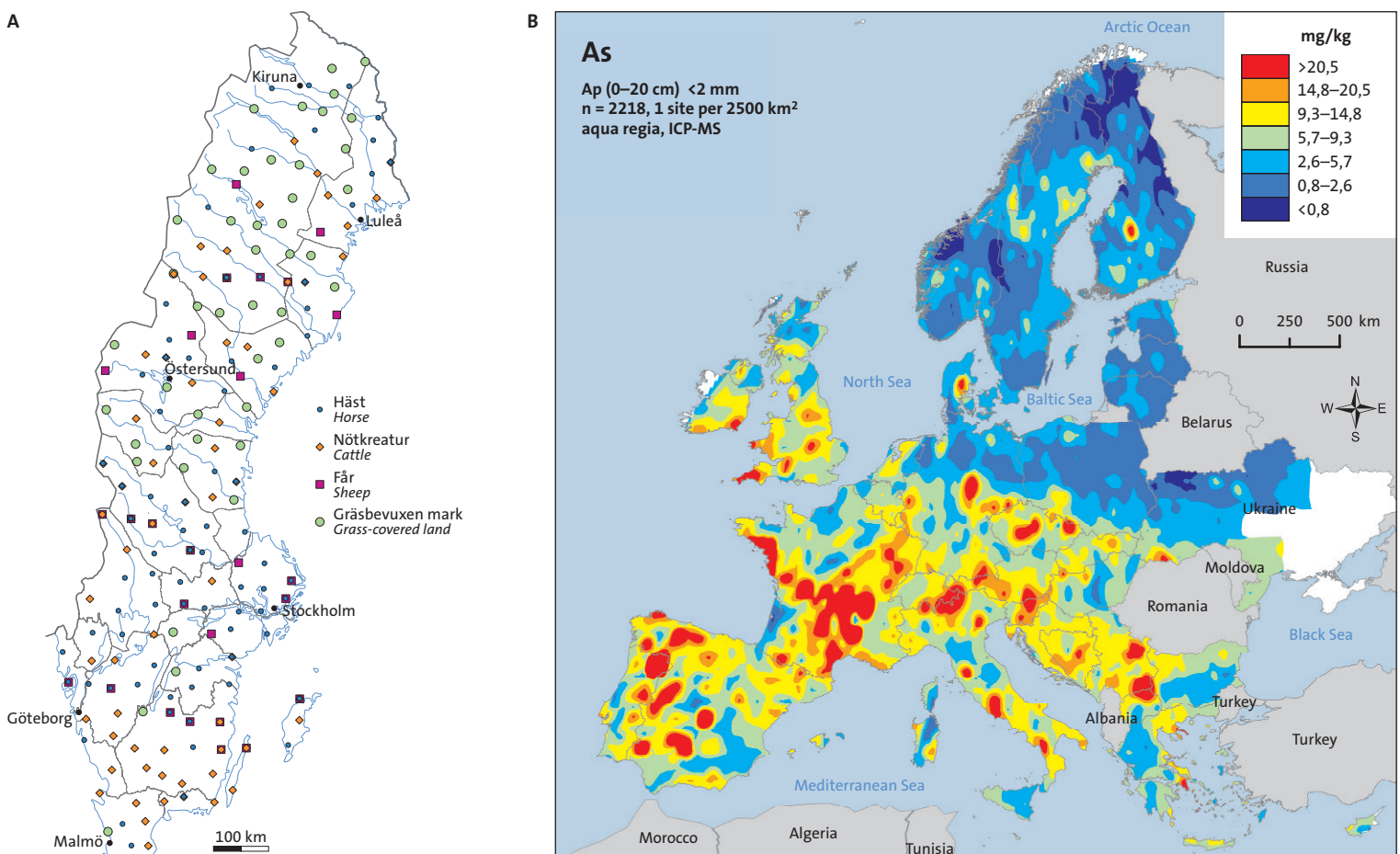
All the European soil samples were collected according to a jointly agreed field procedure (EuroGeoSurveys Geochemistry Working Group 2008). A total of 2 108 samples from agricultural soil (Ap, Ap-horizon, 0–20 cm) and 2 023 samples from grazing land soil (Gr, grassland, 0–10 cm) were collected with a density of 1 sample per 2 500 km<sup>2</sup>.

The most recent crop cultivated on the sample sites on agricultural soil was observed (e.g. corn, wheat, barley), as were the animal species on the grazing land sites (horses, cattle, sheep, goats). The remaining sample sites were defined as unknown or permanent grass cover. In Sweden, SGU collected 174 samples from agricultural soil and 179 samples from grazing land soil (Fig. 11A).

The samples were air dried and sieved to <2 mm fraction, prepared by aqua regia digestion and analysed for 53 elements by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-

Figur 11. A. Provtagningslokaler för betesmark (n=179) och vilket djurslag som betat marken. B. Fördelningen av arsenik i åkermark (Ap) i Europa. Arsenik är ett av flera element vars geokemiska fördelningsmönster skiljer sig i en nordlig och en sydlig del av Europa med gränsen som markerar inlandsisens sydligaste läge. De relativt sett unga jordarna i norra Europa har lägre arsenikhalter än södra Europas äldre jordar som påverkats av vittring och markprocesser under längre tid. Källa: Reimann m.fl. 2014a.

A. Locations of grazing land samples (n=179), and grazing animals types. B. The distribution of arsenic in agricultural soil (Ap) in Europe. Arsenic is one of several elements whose geochemical distribution pattern differs in northern and southern Europe with the boundary at the southern extent of the last inland ice sheet. The relatively young soils in northern Europe have lower arsenic concentrations than the older soils of southern Europe, which have been affected by weathering and extensive soil processes over a longer time. Source: Reimann et al. 2014a.



tivt kopplad plasma-masspektrometer (ICP-MS, Reimann m.fl. 2009). Totalkoncentrationer för 41 grundämnen bestämdes med röntgenfluorescensspektrometri (WD-XRF, Reimann m.fl. 2011). Blyisotoper från åkermark analyserade med ICP-MS. Flera viktiga parametrar för jordkvalitet mättes, t.ex. pH, katjonbyteskapacitet (CEC), totalt organiskt kol (TOC), magnetisk susceptibilitet, jordtextur och kornstorlek.

Därtill analyserades mobila metalljoner för 55 grundämnen i åkermarksprov (Ap) med MMI<sup>®</sup>-extraktion och ICP-MS (Reimann m.fl. 2012). Användningen av denna svaga, pH-neutrala extraktionsmetod har blivit vanlig i geokemiska undersökningar vid till exempel prospektering (Mann m.fl. 1998). Denna metod är också användbar vid bedömning av tillgängligheten av näringsämnen för växter och djur och för att uppskatta påverkan av antropogen kontamination.

## RESULTAT

Det är en stor skillnad i markens kemi mellan norra Europa och södra Europa, och gränsen mellan områdena finns där Weichselisen nådde sin maximala utbredning. Norge, Finland och Sverige har därför de yngsta och minst vittrade jordarna i Europa, men också den äldsta berggrunden. Vittringsprocesser och jordarnas ålder kan till stor del förklara de stora skillnaderna i den geografiska utbredningen av många grundämnen, t.ex. kalium, torium och arsenik (fig. 11B).

En annan viktig faktor som påverkar kemin i jordbruksmarken är vilken typ av bergartsmaterial som finns i jorden. Kristallina bergarter, särskilt de med granitisk sammansättning, bidrar till höga medianhalter av Ce, Ge, Mo, Na, Nb och U i jordbruksmark. Mafiska bergarter, vilka har en distinkt kemisk sammansättning med höga halter av Cr, Ni, Mg och Co, sätter stark prägel på jordartens geokemi och kan lätt identifieras i kartorna. Pegmatiter, även om de bara uppträder lokalt, kan ge upphov till höga koncentrationer av Li, Nb, Ta, Mo och W. Den fennoskandiska urbergssköldens unika geologi och geokemiska karaktär är också skälet till att Sverige har högre halter av Ag, Mo, Na, Nb, Sn, Ti och U i jordbruksmarken jämfört med övriga Europa (tabell 5, Appendix 1).

Jordartstypen är en annan faktor som påverkar förekomsten av flera grundämnen i jordbruksmark. Lerrika jordar har särskilt höga koncentrationer av kungsvattenextraherbart kalium, järn och aluminium samt många spårelement (B, Ba, Be, Bi, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Ge, Hf, In, La, Li, Mg, Ni, Pd, Rb, Sc, Th, Ti, Tl, V, Y, Zn och Zr). Denna anrikning är en effekt av dessa grundämnen tendens att adsorbera till lermineral och att lerrika bördiga jordarter används till jordbruk i Sverige. Många anomalier av grundämnen i centrala Sverige och södra Finland är kopplade till de marina och postglaciala leror som täcker till exempel Mälarenregionen i centrala Sverige, Åland och delar av södra Finland. Detta geokemiskt distinkta område har definierats som det centrala skandinaviska lerbältet (Central Scandinavian Clay Belt, CSCB) av Ladenberger m.fl. (2012). Förekomsten av biogenisk (organisk) jord har också en påtaglig påverkan på det geokemiska mönstret eftersom många grundämnen, t.ex. Hg, S och Se, är benägna att bindas till organiskt material.

Jordbruksmarkernas bördighet varierar beroende på deras fysikaliska och kemiska egenskaper, och det naturliga innehållet av näringsämnen beror huvudsakligen på mineralogiskt innehåll och jordart. Jordar som innehåller kalk och basiskt ursprungsmaterial är

AES) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS, Reimann et al. 2009). Total concentrations for 41 elements were determined by wavelength dispersive x-ray fluorescence spectrometry (WD-XRF, Reimann et al. 2011). Lead isotopes in agricultural soil samples were analysed by ICP-MS. Several important soil parameters were measured, including pH, cation exchange capacity (CEC), total organic carbon (TOC), magnetic susceptibility, soil texture and grain size.

In addition, the agricultural (Ap) soil samples were analysed for 55 elements by mobile metal ion (MMI<sup>®</sup>) extraction using ICP-MS (Reimann et al. 2012). The use of a weak, pH-neutral extraction method has become a common tool in geochemical exploration (Mann et al. 1998). This method is also useful for assessment of the availability of elements that are essential to plants and animals, and for evaluating the impact of anthropogenic contamination.

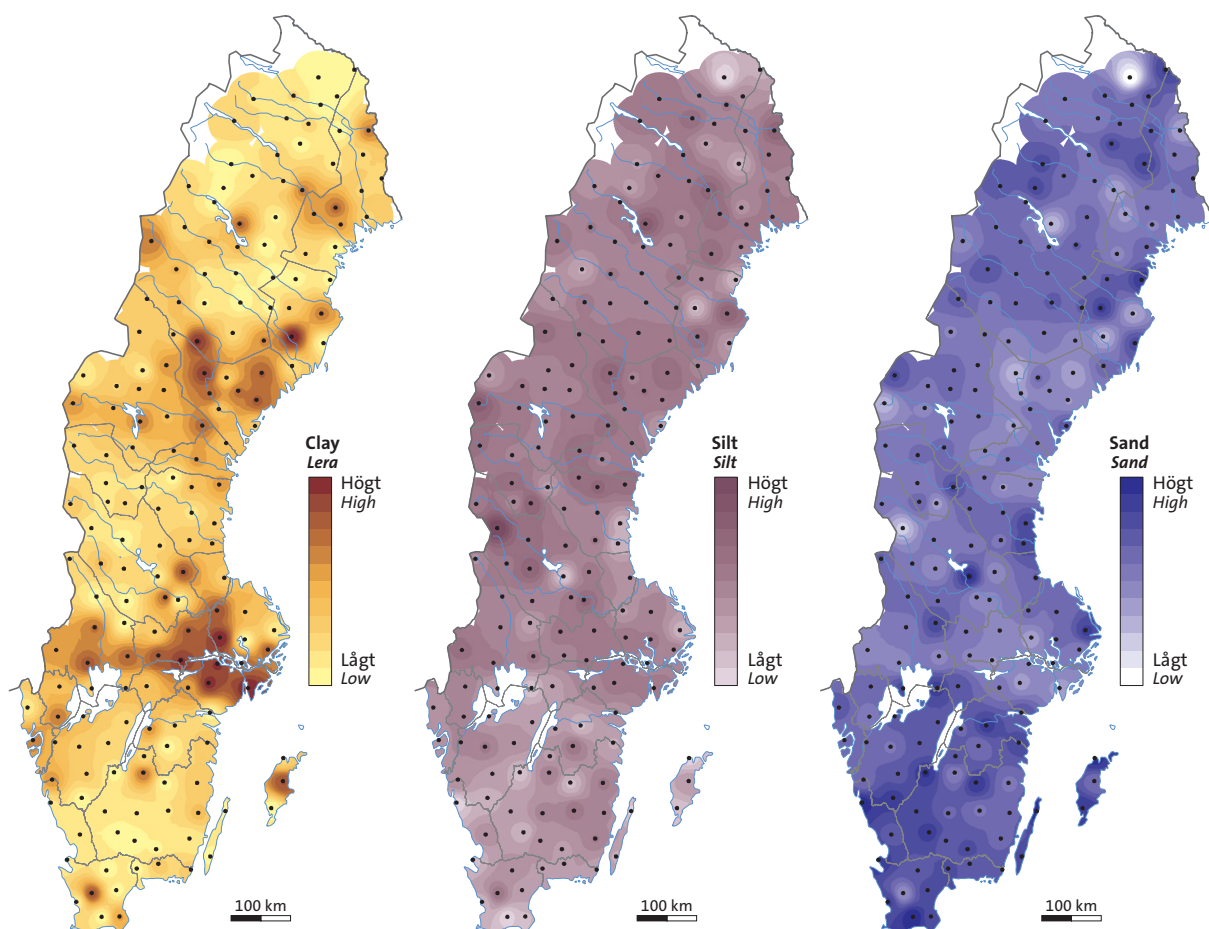
## RESULTS

There is a large difference in soil chemistry between northern Europe and southern Europe, and the boundary between the areas outline where the Weichselian ice sheet reached its maximum extent. Therefore, Norway, Finland and Sweden have the youngest and least weathered soils in Europe, but also the oldest bedrock. Weathering processes and soil maturity can to a large extent explain the major differences in the geographical distribution of many elements, for example potassium, thorium and arsenic (Fig. 11B).

Another important factor influencing the chemistry of agricultural soil is the type of the bedrock material in the soil. Crystalline rocks, especially those with granitic composition, contribute to high median values of Ce, Ge, Mo, Na, Nb and U in agricultural soil. Mafic rocks, with their distinct chemical composition and high content of Cr, Ni, Mg and Co, have a very strong imprint on the soil geochemistry and can easily be seen on the maps. Pegmatites, in spite of their local distribution, can give rise to elevated concentrations of Li, Nb, Ta, Mo and W. The unique geology and geochemical character of the Fennoscandian Shield is also the reason why Sweden consequently has higher median values of Ag, Mo, Na, Nb, Sn, Ti and U when compared to the rest of Europe (Table 5, Appendix 1).

The soil type is another factor that affects the presence of several elements in agricultural soil. Clay-rich soils have particularly high concentrations of aqua regia extractable potassium, iron and aluminium, as well as many trace elements (B, Ba, Be, Bi, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, Ge, Hf, In, La, Li, Mg, Ni, Pd, Rb, Sc, Th, Ti, Tl, V, Y, Zn and Zr). This enrichment is an effect of these elements' affinity to bind to clay minerals and the use of clay-rich, fertile soil for agriculture in Sweden. Many element anomalies in central Sweden and southern Finland are related to the occurrence of marine and postglacial clays that cover, for example, the Mälaren region in central Sweden and Åland and southern Finland. This area has a distinct geochemical signature and has been defined as the Central Scandinavian Clay Belt (CSCB) by Ladenberger et al. (2012). The presence of biogenic (organic) soil also has a pronounced impact on the geochemical pattern because some elements, like Hg, S and Se, have a strong tendency to bind to organic matter.

The fertility of the agricultural soil varies according to its physical and chemical composition, and the natural content of nutrients depends mainly on the mineralogy and type of soil. Soil containing



Figur 12. Kartorna visar den minerogena texturen i betesmarkens prover. Fördelningen av partikelstorlekar <0,002 mm (ler), 0,002–0,063 mm (silt) och 0,063–2 mm (sand) är relativ och avslöjar vilken partikelstorlek som dominerar. The maps show the minerogenic texture of grazing land samples. The division of particle sizes <0,002 mm (clay), 0,002–0,063 mm (silt) and 0,063–2 mm (sand) is relative, and based on the dominating particle size.

generellt rika på finkorniga partiklar och lermineral. Sådana jordar innehåller ofta höga halter av näringsämnen och är bördiga. Jord med ursprungsmaterial som domineras av sandsten och sura vulkaniska bergarter är grövre och har en sandig textur med relativt låga halter av näringsämnen.

Även om morän täcker upp till 75 % av Sveriges landyta är lerrika avlagringar vanliga. Leriga jordar finns i Göta älvs dalgång på västkusten, kring Vänern och längs med östkusten i Uppland, Södermanland och Östergötland. Lera och silt finns generellt i områden som ligger under högsta kustlinjen, till exempel i centrala Sverige, de sydvästra delarna av Skåne, på västkusten och i Ångermanland. Sandiga jordarter är vanliga i sydvästra Sverige, delar av östkusten, i norra delen av landet samt i fjällkedjan. Sandiga jordar är ofta starkt vittrade och påverkade av intensiv urlakning av mobila grundämnena. Figur 12 visar jordens sammansättning, baserat på kornstorlek, i 179 prov i betesmark.

#### DISTRIBUTIONSMÖNSTER FÖR UTVALDA NÄRINGSÄMNA I JORDBRUKSMARK

GEMAS-kartorna över betesmark är, liksom moränkartorna i denna atlas, baserade på kungsvattenlakade elementhalter. GEMAS-kartorna visar tillgängligheten av grundämnena som potentiellt kan tas upp av växter och andra organismer, och den geografiska fördelningen av grundämnena visar områden där höga eller låga halter av makro- och mikronäringsämnen kan finnas.

calcareous and basic parent material is generally rich in fine particles and clay minerals. Such soils usually have a high nutrient content and are fertile. On the contrary, soils with parent material dominated by sandstone and acid volcanic rocks have coarse and sandy textures with relatively low nutrient contents.

Although till covers up to 75% of the land area in Sweden, clay-rich deposits are common. Clayey soils occur in the Göta river valley on the west coast, around Vänern, and along the eastern coast of Uppland, Södermanland and Östergötland. Clay and silt are generally found in areas below the highest coastline, for example in central Sweden, south-western Skåne, on the west coast and in Ångermanland. Sandy soils are common in the south-west of Sweden, some parts of the east coast, in the north and in the Caledonian mountain chain. Sandy soils are often strongly weathered and influenced by the intense leaching of mobile elements. Figure 12 illustrates the soil texture determined by grain size in 179 samples from Swedish grazing land.

#### DISTRIBUTION PATTERN OF SELECTED NUTRIENTS IN AGRICULTURAL SOIL

The GEMAS maps of grazing land, as well as the maps of till in the atlas, are based on aqua regia extracted element concentrations. The GEMAS maps present the potential availability of elements for uptake by plants and organisms, and the geographical distribution patterns of the elements show areas where high or low contents of macro- and micronutrients may occur.



Till vänster: Sur podsolprofil i betesmark norr om Arjeplog i Lappland. Ett prov samlades in från det starkt vittrade översta jordlagret ner till 10 cm (vitgrå färg på bilden). Till höger: En typisk provtagningslokal i lerig åkermark i Södermanland. Ett prov togs från markytan ner till 20 cm. Skalstock i cm.



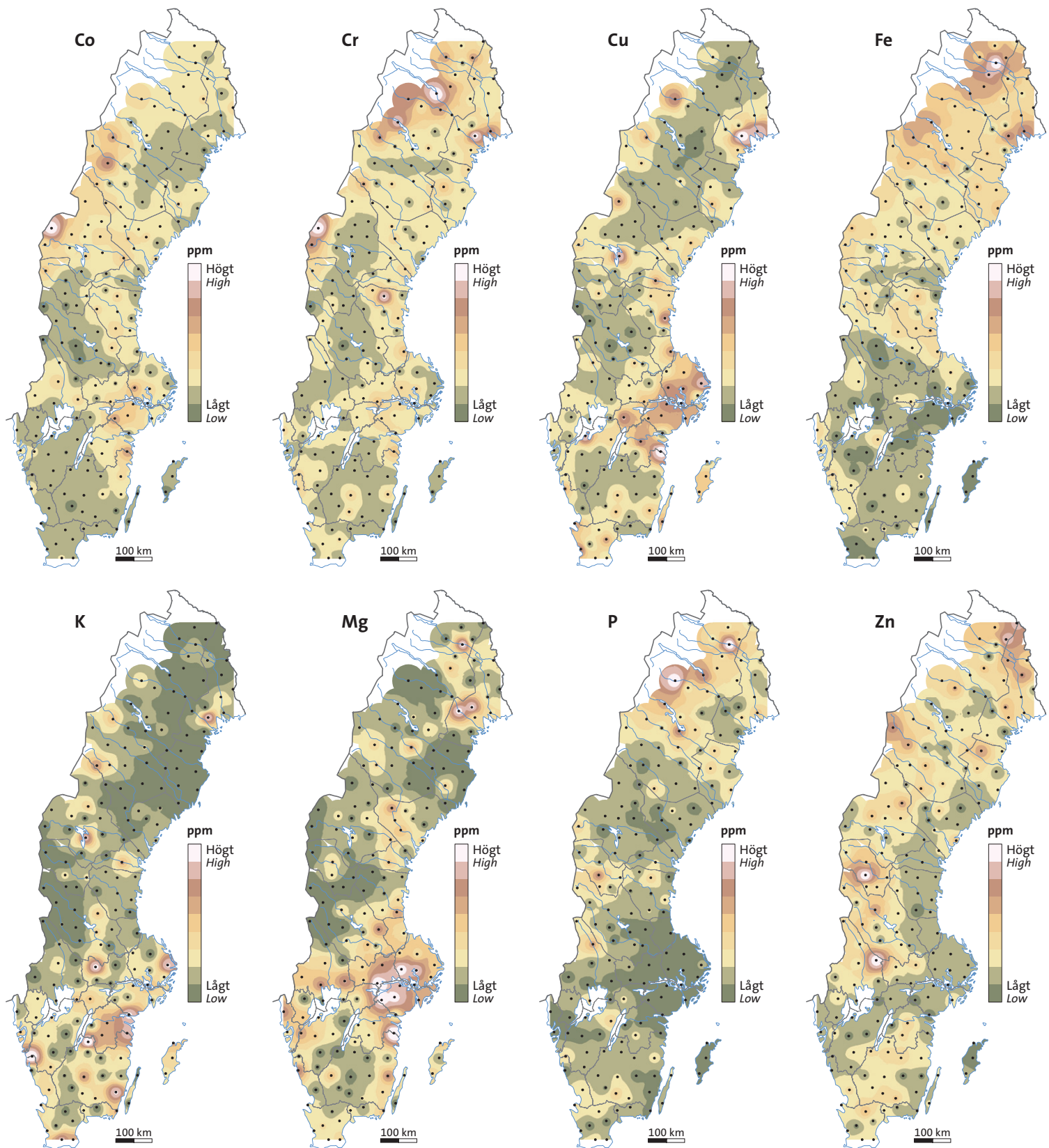
Left: An acidic podzol profile in grazing land north of Arjeplog in Lappland. A sample was collected from the strongly weathered uppermost layer down to 10 cm (white-grey in the photo). Right: A typical sample site of a clayey agricultural soil in Södermanland. A sample was collected from the surface down to 20 cm. Scale bar in cm.

Som komplement till kungsvattenlakningen användes en svag, pH-neutral extraktionsmetod (MMI<sup>®</sup>) för proven från åkermark (Ap). De elementkoncentrationer som fås efter en MMI<sup>®</sup>-extraktion är mycket lägre än de som fås genom kungsvattenlakning, men vanligen sammanfaller de anomalier som erhålls från båda metoderna. Det finns dock undantag, till exempel för järn, kalium och fosfor. Positiva anomalier som erhållits genom metoden med kungsvattenlakning visar regioner där tillgången av respektive grundämne antas gynna växtligheten. Antropogen påverkan (t.ex. från gödningsmedel) kan skapa falska anomalier som ofta syns på kartorna som enstaka höga halter. Negativa anomalier och låga koncentrationer för analysresultaten från båda extraktionsmetoderna markerar områden där det finns eller kan uppstå brist på näringsämnen. De följande jämförelserna av kobolt, krom, koppar, järn, kalium, magnesium, fosfor och zink är baserade på analysresultaten från både kungsvattenlakning och MMI<sup>®</sup>-metoden i åkermark (Ap). Kartorna i figur 13 visar spridningsmönstret för dessa åtta näringsämnen baserat på MMI<sup>®</sup>-metoden.

Kobolt är ett essentiellt näringsämne och brist på kobolt är vanligare än överskott av elementet. Tillgängligheten på kobolt är generellt låg i Småland, Västergötland, Blekinge, Öland, Gotland, norra Värmland, Dalarna, sydöstra Lappland, norra Västerbotten och södra Norrbotten.

In addition to the aqua regia extraction, a weak, pH-neutral extraction method (MMI<sup>®</sup>) was applied to the agricultural (Ap) samples. The element concentrations obtained by MMI<sup>®</sup> extraction are much lower than those obtained by aqua regia extraction but, in general, anomalies from both methods overlap. There are, however, exceptions, for example for iron, potassium and phosphorus. Positive element anomalies on the aqua regia extraction maps show regions where the supply of a given element is assumed to be favourable for plants. Anthropogenic input (e.g. from fertilisers) can create “false” anomalies, which are often visible as single high concentrations on the maps. Negative anomalies and very low values in the analytical results from both extraction methods indicate areas where nutrient deficiency is present or can arise. The following comparisons of cobalt, chromium, copper, iron, potassium, magnesium, phosphorus and zinc in agricultural soil (Ap) are based on the analytical results of both the aqua regia and MMI<sup>®</sup> extraction methods. The maps in Figure 13 illustrate the dispersion patterns of these eight nutrients based on MMI<sup>®</sup> extraction.

Cobalt is an essential element, and deficiency is more common than excess of the element. The availability of cobalt is generally low in Småland, Västergötland, Blekinge, Öland, Gotland, northern Värmland, Dalarna, south-eastern Lappland, northern Västerbotten and southern Norrbotten.



Figur 13. Kartorna visar tillgängligheten av några element som är nödvändiga för växter, djur och människor (kobolt, krom, koppar, järn, kalium, magnesium, fosfor och zink). Analysmetoden baseras på en pH-neutral MMI<sup>®</sup>-extraktion som bara löser ut den mest åtkomliga delen av ett element i ett prov.  
*The maps show the availability of several elements which are essential for plants, animals and humans (cobalt, chromium, copper, iron, potassium, magnesium, phosphorus and zinc). The analytical method is based on a pH-neutral MMI<sup>®</sup> extraction, which only leaches the most accessible part of an element in a sample.*

Krom är ett essentiellt näringsämne. Brist på krom uppstår lokalt, medan överskott av elementet är ovanligt. Låga kromhalter finns i Småland, Blekinge, Öland, Gotland, Dalarna och i centrala Jämtland.

Koppar är essentiellt men kan också vara toxiskt i höga koncentrationer. Hälsoproblem uppstår när det finns en obalans i förhållandet mellan koppar och molybden eller mellan koppar och zink. Negativa kopparanomalier för båda extraktionsmetoderna finns i delar av Småland och Västergötland, Blekinge, delar av Värmland, Dalarna och i Lappland öster om fjällkedjan.

Järn är essentiellt för växter och djur och järnbrist kan finnas i regioner med kalkhaltiga jordar. Mer sällan kan järnintaget bli toxiskt. MMI<sup>®</sup>-metoden påvisar högre halter av järn i anslutning till vissa geologiska företeelser, till exempel Kirunas järnmalmsområden i norra delen av landet. Järnhalterna minskar generellt från norr till söder i landet, och områden med kalkhaltig jord har mycket låga järnhalter, t.ex. Öland, Gotland, Skåne och Mälarenregionen. I delar av södra Sverige är tillgängligheten på järn mycket låg.

Kalium är ett essentiellt grundämne. MMI<sup>®</sup>-metodens fördelningsmönster för kalium skiljer sig från kungsvattenmetodens fördelningsmönster. MMI<sup>®</sup>-resultaten visar på mycket låga halter i norra Värmland och västra Dalarna. Medan lerrika jordar innehåller höga halter av kungsvattenlakat kalium visas inte detta i MMI<sup>®</sup>-resultaten. Detta indikerar att lerrika områden inte bidrar med tillgängligt kalium. Illit, det vanligaste kaliumbärande lermineralet och en vittringsprodukt av muskovit och fältspat, visar sig vara inte särskilt reaktiv vid neutralt pH, vilket minskar urlakningen av kalium.

Magnesium är ett viktigt makronäringsämne och magnesiumbrist kan uppträda hos växter, djur och människor. Distributionsmönstren för magnesium baserade på resultat från MMI<sup>®</sup>- och kungsvattenextraktion är likartade och markerar tydligt områden med lerrika jordar. Magnesiuminnehållet i åkermarken är lågt i västra Småland, norra Värmland, västra Dalarna och i södra Härjedalen.

Fosfor är ett viktigt näringsämne som kan bli toxiskt i höga koncentrationer. Om det råder obalans i intaget av fosfor, zink och kalcium kan hälsoproblem uppstå hos djur och människor. Fosforanomalier i MMI<sup>®</sup>-data överlappar med fosforanomalier i kungsvattendata i de norra delarna av landet, t.ex. i malmförande områden. I resten av landet skiljer sig distributionsmönstren. Koncentrationerna av MMI<sup>®</sup>-extraherat fosfor är lågt i områden som det centrala skandinaviska lerbältet (CSCB), på Gotland och i östra delarna av Småland. Båda extraktionsmetoderna visar höga fosforhalter i norra Värmland och södra Härjedalen, men detta kan vara en effekt av gödning.

Zink är ett essentiellt mikronäringsämne och zinkbrist är globalt vanligt förekommande. Fördelningen av zinkanomalier är likartad för båda extraktionsmetoderna i norra Sverige och i Kaledoniderna, och speglar många regioner med mineraliseringar. Lerrika områden visar lägre zink-koncentrationer med MMI<sup>®</sup>-metoden jämfört med resultat från kungsvattenlakningen.

## KOMMENTAR

Statistik för grundämnena (tabell 5, Appendix 1) extraherade med kungsvattenlakning visar att åkermark (Ap) vanligen har högre medianvärden än betesmark (Gr), men att de flesta maximala värdena finns i betesmark.

Chromium is an essential nutrient. Deficiency can occur locally, while excess of the element is uncommon. Low chromium contents are found in Småland, Blekinge, Öland, Gotland, Dalarna and central Jämtland.

Copper is essential but can be toxic at high concentrations. Health problems can arise if there is an unbalance in the ratio between copper and molybdenum or between copper and zinc. Negative copper anomalies for both extraction methods occur in parts of Småland and Västergötland, Blekinge, parts of Värmland, Dalarna and in Lappland, east of the Caledonian mountain chain.

Iron is essential for plants and animals and deficiency problems can occur in regions with calcareous soil. A high iron intake rarely becomes toxic. Results from the MMI<sup>®</sup> extraction method show high iron concentrations in connection with certain geological features, e.g. the Kiruna iron ore deposits in the northern part of the country. The content of iron decreases from north to south, and areas with calcareous soil show very low iron values, e.g. Öland, Gotland, Skåne and the Mälaren region. The supply of iron is very low in parts of southern Sweden.

Potassium is an essential element. The MMI<sup>®</sup> distribution pattern of potassium differs greatly from the aqua regia extraction results. The MMI<sup>®</sup> results show that potassium levels are very low in northern Värmland and western Dalarna. With the aqua regia extraction method, clay-rich soils have high potassium concentrations, whereas this is not evident in the MMI<sup>®</sup> results. This may indicate that clay-rich areas do not provide available potassium. Illite, the most common potassium-bearing clay mineral and an alteration product of muscovite and feldspar, is apparently not very reactive at near-neutral pH and therefore the release of potassium is limited.

Magnesium is an important macronutrient and deficiency problems can arise in plants, animals and humans. The distribution patterns for magnesium based on results of MMI<sup>®</sup> and aqua regia extraction are similar, with areas of clay-rich soil clearly indicated. The magnesium concentration in agricultural soil is low in western Småland, northern Värmland, western Dalarna and southern Härjedalen.

Phosphorus is a major nutrient but can be toxic in high concentrations. An unbalanced intake of phosphorus, zinc and calcium can cause harmful health effects to animals and humans. Anomalies for phosphorus extracted by the MMI<sup>®</sup> method overlap with the aqua regia anomalies in the northern part of the country, e.g. in the iron ore districts. In the rest of the country the distribution patterns are disparate. The concentrations of phosphorus extracted by the MMI<sup>®</sup> method are low in the Central Scandinavian Clay Belt (CSCB), on Gotland and in the eastern part of Småland. Both extraction methods show high phosphorus concentrations in northern Värmland and southern Härjedalen, but these may be caused by the use of fertilisers.

Zinc is an essential micronutrient and zinc deficiency is common worldwide. The distribution of zinc anomalies from both extraction methods is similar in northern Sweden and the Caledonides, and reflects several regions with mineralisations. Clay-rich areas have lower concentrations of zinc extracted by the MMI<sup>®</sup> method compared to the aqua regia method.

## COMMENTS

The statistical results (Table 5, Appendix 1) for the elements extracted by aqua regia show that agricultural soil (Ap) generally shows higher median values compared to grazing land soil (Gr), but that most of the highest maximum values are found in grazing land.



Näringsämnen Ca, Co, Cr, Fe, K, Mg och Na förekommer med högre max-värden i åkermark, medan de högsta värdena för B, Mn, Mo, Ni, P, S, Se och Zn finns i betesmarker. Generellt visar åkermark ett mer homogent resultat och mindre variation än betesmark. Detta kan förklaras med att återkommande plöjning homogeniserar jorden, vilket bidrar till mer vittring och finare kornstorlekar. Trots skillnaderna visar kartorna baserade på kungsvattenlakning för både åkermark och betesmark liknande trender, där de geologiska förhållandena utgör den starkaste faktorn som påverkar distributionsmönstret.

Jämfört med kungsvattenlakning ger extraktionsmetoden med MMI® en bättre uppskattning av elementens (näringsämnenas) tillgänglighet för växter och djur.

The nutrients Ca, Co, Cr, Fe, K, Mg and Na have higher maximum values in agricultural soil than in grazing land soil, but the highest values of B, Mn, Mo, Ni, P, S, Se and Zn are found in grazing land samples. On average, agricultural soil displays more homogeneous results with lower variability than the grazing land soil. This can be explained by ploughing, which has homogenised the soil, and made it more weathered and fine-grained. Despite these differences, the geochemical maps based on aqua regia extraction for agricultural soil and grazing land soil show similar trends, with the geology being the strongest factor influencing the distribution pattern.

In comparison to aqua regia extraction, the MMI® method provides better estimates of element (nutrients) availability for plants and animals.

Nedan: Fjällkor inspekterar provtagningen av deras betesmark i Arjeplog, Lappland. Fjällkon är en svensk lantras med ursprung i norra delen av landet. Den är väl anpassad till kallt klimat, är tämligen liten och saknar horn. Motstående sida: Betesmark utanför Knivsta, Uppland.

*Below: Cows of the Swedish mountain breed, fjäll cattle, inspect their field in Arjeplog, Lappland. The fjäll cattle is a local species bred in northern Sweden and it is well adapted to the rough climate, rather small and lacks horns. Opposite page: Grazing land outside Knivsta, Uppland.*



Foto: Erland Sallerjö.



Foto: Wadelen Andersson