

Tungmetaller i danske jorder

John Jensen
Jesper Bak
Martin M. Larsen

Danmarks Miljøundersøgelser 1996

TEMA-rapport fra DMU, 1996/4,
Tungmetaller i danske jorder

Forfattere: John Jensen¹, Jesper Bak¹, Martin M. Larsen²

¹ Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Terrestrisk Økologi

² Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Miljøkemi

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser®

Layout: Kathe Møgelvang, Juana Jacobsen

Forsidefoto: Svend Tougaard /BIOFOTO

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Tryk: Silkeborg Bogtryk

Papir: Cyclus Print

Sideantal: 40

Oplag: 1500

ISSN: 0909-8704

ISBN: 87-7772-235-3

Pris kr. 100,00 (incl. 25% moms, excl. forsendelse):

Købes hos:

Danmarks Miljøundersøgelser

Afdeling for Terrestrisk Økologi

Vejlsøvej 25, Postboks 314

DK-8600 Silkeborg

Tlf. 89 20 14 00

Fax 89 20 14 14

Miljøbutikken

Information og bøger

Læderstræde 1

DK-1201 København K

Tlf. 33 92 76 92 (Information)

Tlf. 33 93 92 92 (Bøger)

Indledning	5
Tungmetalbalancen	7
Miljømæssige effekter af tungmetaller	10
Jordkvalitetskriterier	12
Tungmetalniveauet	14
Fordeling af tungmetaller i Danmark	16
Tungmetalniveauet i andre europæiske lande	26
Forhold af betydning for tungmetalniveauet	28
Slamgødede marker	31
Relative kildestørrelser	33
Sammenfatning	35
English summary	36
Litteratur	37

Danmarks Miljøundersøgelser

Tidligere udgivelser i serien TEMA-rapporter fra DMU



Indledning

Tungmetaller har altid været en naturlig del af de terrestriske økosystemer, idet de findes i varierende mængde i jordens geologiske udgangsmateriale, hvorfra de frigives til jorden ved kemiske, fysiske og biologiske nedbrydningsprocesser. Fra jorden optages tungmetallerne af de jordlevende organismer og planterødder og kan herigennem transporteres til de overjordiske fødekæder, hvorfra de senere kan recirkuleres til jorden.

Det naturlige indhold af metaller i jorden, det såkaldte baggrundsniveau, er på grund af geologiske variationer yderst varieret, men kan alligevel betragtes som et lukket system i ligevægt, hvor dyr og planter er tilpasset områdets indhold af tungmetaller. Siden midten af det forrige århundrede har menneskets industrielle aktiviteter resulteret i, at metaller bundet i fossile brændstoffer og andre geologiske materialer er frigivet til vort miljø. Den eksplosive stigning i forbruget af råmaterialer har således medført en global spredning af tungmetaller i det terrestriske miljø via atmosfærisk nedfald eller lokal forurening gennem f.eks. tilførsel af affaldsprodukter og gødning.

Ændringer i f.eks. landbrugspolitikken eller landbrugspriserne kan i fremtiden indebære, at landbrugsarealer bliver omlagt til naturarealer eller skov. Derfor er det væsentligt samlet at kunne vurdere, hvorvidt også de danske landbrugsjorder besidder en multifunktionalitet, eller måske endnu vigtigere: Om de på langt sigt har muligheden for at genvinde den. Det er derfor specielt vigtigt at vurdere miljøpåvirkningen

fra tungmetaller, da de ikke i samme grad som andre stoffer eller påvirkninger forsvinder fra miljøet igen.

I erkendelsen af, at tungmetaller kan udgøre en potentiel risiko for planter, dyr og mennesker, har Danmark sammen med andre lande i blandt andet Europa og Nordamerika gennemført en række tiltag for at regulere brugen og spredningen af tungmetaller: F.eks. regulering i brugen af cadmium/nikkel-batterier, indførsel af blyfri benzin og hagl samt fastsættelse af maksimalt indhold af tungmetaller i slam og handelsgødning. De nationale myndigheder har et behov for at kunne overvåge, om disse tiltag har den ønskede virkning på miljøet, samt løbende at overvåge, hvorvidt jordens tungmetalindhold stiger.

Foruden en generel introduktion til tungmetalproblematikken i Danmark, beskriver denne temarapport resultaterne af den første landsdækkende undersøgelse af tungmetalindholdet i danske jorder, den såkaldte *Kvadratnetundersøgelse*.

Kvadratnetundersøgelsen kan eventuelt blive gentaget efter en årrække, således at det kan konstateres, om der generelt sker målelige stigninger i jordens tungmetalindhold. Undersøgelsen inkluderer ikke analyser af jorder fra byområder eller fra kendte forurenede grunde. Disse jorder skal behandles adskilt fra resten af de danske jorder, da lokale punktkilder i sådanne områder kan have forurennet jorden i en sådan grad, at opgravning eller andre afværgeforanstaltninger er nødvendige.

Baggrunden for Kvadratnetundersøgelsen

Den første systematiske danske undersøgelse af tungmetaller i landbrugsjorder blev publiceret i 1978 af Tjell og Hovmand /1/. Undersøgelsen omfattede 53 pløjelagsprøver fra det danske jordbibliotek /19/, der hovedsageligt er prøver fra Statens Planteavlsvforsøgs daværende forsøgsstationer.

Disse undersøgelser dækker et bredt udsnit af jordtyper. Formålet har blandt andet været at beskrive baggrundsniveauet samt

at kortlægge udviklingen i tungmetalindholdet. Disse målinger samt opstillede massebalancemodeller viste, at der i en årrække er sket en forøgelse af indholdet af visse tungmetaller i overfladejorden.

På den baggrund blev der i 1991 af Hedeselskabet gennemført et projekt for Miljøstyrelsen med det formål at udarbejde et forslag til et overvågningsprogram for tungmetaller i danske jorder /2/.

Kvadratnetundersøgelsen af tungmetalindholdet i danske landbrugs- og naturjorder er et resultat af dette projekt, og er den første af sin art i Danmark (se Boks 1).

Boks 1. Kvadratnetundersøgelsen

Kvadratnetundersøgelsen omfatter en analyse af tungmetallerne bly, cadmium, kobber, krom, kviksølv, nikkel og zink samt metalloidet arsen. Af læsehensyn er der i denne rapport valgt at inkludere arsen i fællesbetegnelsen "tungmetaller".

Målepunkterne er udlagt i et landsdækkende kvadratnet af Statens Planteavlsvforsøg. Det oprindelige formål var at undersøge koncentrationen af kvælstofgødning i jorden. Derfor kaldes Kvadratnettet også "Nitratnettet". Det skal nævnes, at Bornholm ikke indgår i Kvadratnettet.

Jordprøverne til metalanalyserne er udtaget fra 413 af Kvadratnettets 820 målepunkter samt 20 udvalgte slamgødede marker.

Fordelen ved at benytte et fast etableret kvadratnet er, at der fra hvert af disse kvadrater allerede foreligger detaljerede

oplysninger om jordbundsforhold og overfladegeologi, samt at der gennemføres systematiske indsamlinger af driftsmæssige oplysninger, f.eks. afgrøde og udbytte samt gødnings- og pesticidforbrug.

Prøverne er udtaget af Hedeselskabet som 17 jævnt fordelte nedstik i muldlaget fra hvert af de 50 x 50 meter store prøvefelter. Jorden er herefter samlet i en cirka 2 kg blandingsprøve.

Indholdet af de otte udvalgte tungmetaller er bestemt efter metoder, som følger dansk standard DS259/2210 med små modifikationer.

Der henvises i øvrigt til Danmarks Miljøundersøgelses faglige rapport /3/ for en mere detaljeret information om indsamling og analyser af prøverne samt statistisk behandling af data.

Tungmetalbalancen

Foruden en naturlige forvitring af mineraler i jorden, kan tungmetaller tilføres jorden fra menneskeskabte kilder samt i større eller mindre grad fjernes fra jorden igen. De væsentligste kilder til biologisk tilgængelige tungmetaller i danske jorder kan opsummeres som:

- * Forvitring af jordpartikler.
- * Atmosfærisk nedfald fra enten grænseoverskridende luftforurening eller fra lokale kilder.
- * Udbringning af gødning, jordbrugskalk, affaldsprodukter m.m.
- * Nedbrydning af planter og dyr, som indeholder tungmetaller.

De væsentligste årsager til, at tungmetaller fjernes fra jorden, er:

- * Udvaskning til overfladevand eller grundvand.
- * Optagelse i dyr og planter. Dette har dog primært betydning på landbrugsjorder, hvor planterester ikke tilbageføres til jorden.

Betydningen af de ovenstående punkter varierer betragteligt jorderne og metallerne imellem og afhænger af oprindelse, beliggenhed, anvendelse, jordbundskemiske forhold m.m.

Brugen og spredningen af de udvalgte tungmetaller præsenteres i de følgende afsnit. Kun de forbrugs- og spredningsmønstre, som har betydning for landjorden, er medtaget. Deponering af industri- og husholdningsaffald på lossepladser, bilkirkegårde og andre skrotpladser, udgør sammen med andre forurenede grunde et specielt tungmetalproblem og er derfor ikke

inkluderet i den følgende gennemgang. Informationen om de forskellige tungmetaller er hentet fra Miljøstyrelsens publikationer /4, 5, 21/. Masseopgørelserne skal kun ses som overslag, der kan sige noget om størrelsesforholdet imellem de forskellige kilder. Tallene angiver, hvor ikke andet er nævnt, forbruget i henholdsvis 1982 og 1990. For nogle metaller har forbrugs- og spredningsmønstret ændret sig siden da, f.eks. brugen af bly i hagl og benzinadditiver samt kviksølvbatterier.

Arsen

Arsen er i Danmark primært blevet brugt til trykimprægning af træ, og lokalt er der observeret flere tilfælde af kraftig forurening af jord nær trykimprægneringsvirksomheder. Tidligere blev forskellige arsenforbindelser brugt som pesticider på landbrugsjorder. Afbrænding af behandlet træ, andet affald og fossile brændstoffer resulterer i et årligt atmosfærisk nedfald af arsen på landjorden, som er anslået til 17 tons pr. år. Desuden tilføres arsen til jorden fra husdyrgødning eller som en teknisk forurening i handelsgødning (4-6 t/år), fra jordbrugskalk (0,3 t/år) samt tidligere via hagl (5,5-6,5 t/år), hvor arsen hidtil har udgjort 0,1-2% af metallegeringen i blyhagl. Arsen bindes forholdsvis kraftigt til jorden, hvorfor kun ringe mængder fjernes med afgrøder og ved nedsivning. Jordbundskemiske forhold har dog stor betydning for størrelsen af fraførslen (se Boks 2).

Bly

Den kraftige reduktion i brugen af blyholdige benzinadditiver i Danmark har haft den ønskede virkning, idet forbruget af bly til dette formål er reduceret fra 1300 tons årligt i 1977 til mindre end 20 tons årligt i

1993. På grund af grænseoverskridende forurening bidrager benzin dog stadig med en væsentlig andel af det atmosfæriske nedfald af bly på danske jorder. Det totale nedfald blev i 1990 anslået til cirka 240 tons, hvoraf bly fra benzin udgjorde minimum 100 tons. Andre atmosfæriske kilder er blandt andet afbrænding af fast affald. Det hidtidige forbrug af blyhagl har bidraget med 600-700 t/år. Da blyhagl forbydes helt fra 1996, må dette bidrag forventes at bortfalde. Lokalt kan afbrænding af dæk og kabelskrot være en væsentlig kilde. I 1994 blev 8,3 tons bly tilført jorden via slam.

Bly bindes meget hårdt til jorden og kun en lille del udvaskes eller fjernes med høst af afgrøder. Den stærke binding til jorden har tidligere medført, og vil fortsat kunne medføre, en ophobning af bly i de øvre jordlag.

Cadmium

Cadmium tilføres primært det terrestriske miljø via menneskeskabte kilder. En målrettet regulering af cadmiumforbruget i Danmark har i de sidste årtier resulteret i en kraftig reduktion af tilførslen til danske jorder. Forbruget af cadmium blev således i perioden 1977-1990 halveret /6/. De væsentligste reduktioner er sket i forbruget af cadmium til plast, maling og korrosionsbeskyttelse, som dog i et vist omfang er modsvaret af et øget forbrug af cadmiumbaserede batterier.

Tilførslen til de danske jorder er ligeledes reduceret væsentligt siden starten af 80'erne. Dette skyldes primært en kombination af et formindsket forbrug af handelsgødning samt brugen af råfosfat med lavere indhold af cadmium. Den vigtigste kilde til belastning i dag er derfor det atmosfæriske nedfald (4,7 t/år). Gødning (2,6 t/år), kalk (1,0 t/år) og slam (0,1-0,2 t/år) udgør andre væsentlige cadmiumtilførsler på danske jorder. Jordbundskemiske forhold regulerer til en vis grad, hvor stor en del af det tilførte cadmium, der optages og høstes med afgrøder eller udvaskes til de dybere jordlag.

Kobber

Kobber tilføres jorden som gødning for planter, ligesom der i et vist omfang tilsættes kobber til husdyrfoder, hvorfor det også kan spredes på jorden i forbindelse med udbringning af husdyrgødning. Kobber kan desuden findes i slam (32 t/år) som følge af afgivelse fra kobber og messingrør og fra produktionen af f.eks. elektrisk udstyr eller andre metalgenstande. Endelig anvendes kobberforbindelser som pesticider.

Kobber bindes generelt stærkt i jorden med en lille udvaskning til følge. Der foreligger ingen opgørelse over massebalancen af kobber i det danske samfund.

Krom

Den vigtigste menneskeskabte kilde til krom er slitage af krombehandlede overflader, mens handelsgødning, slam og affald er andre væsentlige kilder. Det atmosfæriske nedfald kan være højt nær punktkilder, såsom forbrændingsanlæg, kraftværker og cement- og støbevirksomheder. Krombalancen for Danmark viser et atmosfærisk nedfald på landjorden i nærheden af 30 t/år. Af de faste tilførsler udgør handels- og husdyrgødning 60-100 t/år, kalk ca. 10 t/år, slam 3,5 t/år og andre kilder er anslået til at ligge i området 25-124 t/år. Krom bindes stærkt i jorden, men ved lav pH kan det, specielt i sandede jorder, fraføres jordmiljøet ved udvaskning eller høst af afgrøder.

Kviksølv

Kviksølv tilføres i dag primært det terrestriske miljø som følge af nedfald fra luften (0,5 t/år). Kilderne er hovedsageligt afbrænding af fast affald og fossile brændstoffer. Af faste kilder kan blandt andre nævnes spredning med handelsgødning (0,1 t/år) og slam (0,1-0,2 t/år). Andre tidligere anvendelser, der har bidraget til at øge kviksølvindholdet i danske jorder, er kornbejdsemidler og konservering af plastmaling. Kviksølv kan dels fjernes fra jorden ved fordampning, dels udvaskes til

dybere liggende jordlag eller fjernes med høst af afgrøder. Kun fordampning formodes at have væsentlig betydning for fjernelser af kviksølv fra almindelige jorder.

Nikkel

Jorden tilføres primært nikkel ved spredning af gødning (23-27 t/år) og kalk (15-21 t/år), slam (2,5 t/år) samt som nedfald fra luften (50 t/år). Nikkel udvaskes forholdsvis let fra jorder med pH lavere end 6,7. Den relativt høje opløselighed under denne pH resulterer desuden i planteoptagelse og derved fjernelse af nikkel med afgrøder.

Zink

Menneskeskabte kilder er især affald fra galvaniseringsindustrien, henfald af galvaniserede overflader og affald fra papir- og dækproduktion. På landbrugsarealer kan zink desuden spredes via pesticider, gødning og slam (90-100 t/år). I nærheden af f.eks. støberier kan nedfald fra luften spille en væsentlig rolle. Zink fordeler sig jævnt i jordsøjlen, og mens kun en lille del udvaskes, kan en større del fjernes med afgrøder. Der foreligger ingen opgørelse over massebalancen af zink i det danske samfund.

Boks 2. Tungmetalforbindelser i jord

Den øvre del af danske ler- og sandjorder er tæt på at være slutproduktet af en forvitring af det materiale, som blev transporteret til Danmark under istiderne. Forvitringen foregår ved frostsprængning og luftpåvirkning af sten og bjerge, eller ved indvirkning af syre dannet i jorden. De oprindelige bjergarter er udslagsgivende for, hvilke mængder metaller der frigives.

Tungmetaller findes i et utal af komplekser i jorden og jordvandet, men generelt kan disse inddeles i følgende:

- metaller opløst i jordvandet, enten som frie ioner eller bundet til organisk materiale
- metaller løst bundet til den organiske eller uorganiske fraktion af jorden
- metaller hårdt bundet i jordminerallerne
- metaller bundet i det biologiske materiale

Fordeling mellem de ovenfor nævnte fraktioner afhænger dels af tungmetallets egne fysiske/kemiske egenskaber, dels af hvilke fysiske, kemiske og biologiske forhold, der er fremherskende i jorden. Kationbytningskapaciteten (CEC) og pH er de to enkeltstående parametre, som har den største betydning for tungmetallers binding i jord. CEC afhænger primært af jordens indhold af ler, organisk materiale og tilstedeværelsen af aluminium-, jern- og manganoxider. Nogle metaller bindes kraftigst til den organiske fraktion, mens andre primært findes associeret til den uorganiske fraktion. I jorder med lav CEC vil tungmetaller kun i mindre grad være bundet til jordpartikler. En reduktion af pH vil generelt øge opløseligheden og dermed også mobiliteten og toksiciteten af cadmium, krom (III), kviksølv, nikkel og zink, hvorimod mobiliteten af arsen og krom (VI) mindskes. Effekten af ændret pH afhænger dog blandt andet af CEC og tilstedeværelsen af andre ioner, f.eks. oxider. Udvaskningen og plante-

optaget af tungmetaller reguleres således til en vis grad på landbrugsarealer, hvor pH reguleres ved hjælp af kalkning.

Da det primært er den opløselige fraktion af tungmetallerne, som udgør en risiko for dyre- og plantelivet samt grundvandet, er totalkoncentrationen og den syreekstraherbare koncentration i mange tilfælde et uegnet grundlag for miljømæssige risikovurderinger.

Når den syre-ekstraherbare koncentration alligevel bruges i denne undersøgelse, skyldes det, at der hersker usikkerhed om hvilke målinger, der skal erstatte denne analyse. Kvalitetskriterierne er fastsat på baggrund af totalkoncentrationer, da de fleste undersøgelser ikke har set på andre fraktioner. Udviklingen af nye matematiske modeller muliggør måske, at mere specifikke kvalitetskriterier i fremtiden kan beregnes ud fra kendskabet til jordtypen og stoffets fysiske/kemiske egenskaber.

Miljømæssige effekter af tungmetaller

Tungmetaller i jordmiljøet kan påvirke planter og dyr på flere måder. Mange metaller er nødvendige sporstoffer (krom, kobber, nikkel, zink og muligvis arsen), hvorfor organismer bliver negativt påvirket, hvis den tilgængelige mængde af mineralet er under en vis koncentration. De fleste tungmetaller virker derudover giftige, hvis deres koncentration overstiger en kritisk værdi.

Toleranceniveauet er forskelligt arterne og tungmetallerne imellem og afhænger af såvel genetiske som jordbundskemiske forhold. Jordtypen, jordens pH og vandindhold m.m. har alle en stor indflydelse på, ved hvilken metalkoncentration økologiske effekter indfinder sig.

Jordens geologiske oprindelse er i denne forbindelse af stor betydning, idet en langvarig naturlig selektion kan have frembragt specielt metaltolerante organismer i områder med naturligt høje baggrundskoncentrationer af tungmetaller. Sådanne tilpassede organismer vil således typisk være upåvirkede af metalkoncentrationer, der kan være farlige for mindre tolerante organismer fra områder med lavere baggrundskoncentrationer.

Den generelle virkningsmekanisme for tungmetaller er en påvirkning af dyrs og planters enzymesystemer. Metallerne binder sig til proteinernes og enzymernes svovl-, nitrogen- og iltholdige grupper, hvilket kan gøre dem uvirksomme. Derudover kan nogle metaller udskifte andre vigtige metaller i enzymkomplekserne med en deformation og reduktion i ydeevnen til følge. Kobber kan f.eks.

udskifte zink, krom udskifte jern og arsen kan erstatte fosfor i mange biologiske processer.

For såvel essentielle som ikke essentielle tungmetaller gælder, at indtil en vis grænse er organismene i stand til, at udnytte eller afgifte det enkelte grundstof. Afgiftningsmekanismen varierer fra art til art i et økosystem. Det kan f.eks. være i form af en nedsat optagelse, eller ved at opbevare overskydende metal i inaktive depoter fulgt op af en senere udskillelse. Nogle dyr kan desuden danne specifikke metalbindende proteiner, når de udsættes for en tungmetalbelastning.

Det terrestriske miljø udsætter primært mennesker for tungmetaller på to måder. Den væsentligste er optagelse fra fødevarer, hovedsageligt grøntsager og kornprodukter. Derudover vil børn, som putter fingre og legetøj i munden, kunne optage tungmetaller direkte fra forurenede støv eller overfladejord. En meget lille mængde af de tungmetaller, som tilføres jorden, genfindes i drikkevandet, idet udsivning fra jorden kan resultere i et, omend lavt, indhold af tungmetaller i vort drikkevand.

Visse tungmetaller, som f.eks. cadmium, bly og kvikksølv, kan ophobes i mennesker gennem et helt liv, hvorfor det for disse tungmetaller er specielt vigtigt at kontrollere indtagelsen via fødevarer. I Danmark er der på nuværende tidspunkt ikke nogen væsentlig risiko for mennesker forbundet med tungmetaller fra jord. Den gennemsnitlige indtagelse af cadmium fra bl.a. korn- og

frøprodukter vurderes dog til at kunne indebære en svagt forøget risiko for skader på nyrerne hos den mest følsomme del af befolkningen.

Den miljømæssige bevågenhed, som tungmetaller har opnået, skyldes ikke alene deres toksicitet, men i ligeså høj grad den kendsgerning, at mens andre skadelige stoffer efterhånden vil blive nedbrudt i miljøet, så er en øget tungmetalbelastning af permanent karakter. Fast bundet til jordpartiklerne kan mange tungmetaller

således ophobes i jorden. Tungmetaller, der tilsyneladende er fast bundet i jorden og derfor ikke umiddelbart er miljøfarlige, kan frigives ved ændringer i jordbundsforholdene. På denne måde kan forurenede jord udgøre en latent forureningsrisiko.

I mange skandinaviske skovjorder kan forsuring f.eks. medføre, at det kviksølv, der er ophobet i jorden efter 60'ernes forbrug af kviksølvbaserede produkter, med tiden frigives til jordvæsken. Herfra kan de optages af planter og dyr eller udvaskes til søer og åer.



Jordkvalitetskriterier

I erkendelse af, at visse tungmetaller kan udgøre en potentiel risiko for såvel miljøet som den folkelige sundhed, er der i Danmark de sidste par årtier indført begrænsninger i brugen af visse tungmetaller.

I henhold til EU's slamdirektiv, har Miljø- og Energiministeriet, som en del af bekendtgørelsen om affaldsstoffer til jordbrugsformål, fastsat grænseværdier for slams indhold af tungmetaller. I den forbindelse er der indført begrænsninger i brugen af slam på jorder med et tungmetalindhold, som

overskrider fastsatte værdier, de såkaldte jordkvalitetskriterier. Miljøstyrelsen har desuden i 1995 fastsat såvel humantoksikologiske som økotoxikologiske jordkvalitetskriterier for en lang række stoffer, inklusive tungmetaller /7, 8, 9/ (se Boks 3).

Med det formål at belyse omfanget og effekten af eventuelle tungmetalbelastninger, er Kvadratnetundersøgelsens oplysninger om tungmetalindholdet i danske jorder sammenholdt med de relevante jordkvalitetskriterier (Tabel 1, side 15).

Indførelsen af blyfri benzin har kraftigt reduceret den trafikale forurening med bly.



FOTO: JES FENGER

Boks 3. Jordkvalitetskriterier

I forbindelse med slambekendtgørelsen har Miljø- og Energiministeriet fastsat maksimale værdier for tungmetallindholdet i jorder, som må gødes med slam. Disse jordkvalitetskriterier bygger primært på kendskab til giftigheden og optagelsen af metaller over for planter, samt sundhedsmæssige forhold.

Derudover har Miljøstyrelsen i 1995 i forbindelse med risikovurderingen af forurenede grunde fastsat såvel humantoksikologiske /9/ som økotoxikologiske jordkvalitetskriterier /7/.

De humantoksikologiske værdier er tiltænkt at skulle bruges som et led i en miljøvurdering i forbindelse med oprydning og afværgeforanstaltninger for forurenede grunde. Ud over syns- og lugtkriterier bygger de på en sundhedsmæssig risikovurdering af tungmetaller optaget direkte fra afdampning eller støv- og jordpartikler, og er derfor ikke relevante i denne sammenhæng.

De økotoxikologiske kriterier skal ses som et udtryk for hvilke jordkoncentrationer, der med det nuværende videngrundlag ikke forventes at give effekter på planter og dyr i selv de mest følsomme økosystemer. De kan inddrages som et element i en samlet risikovurdering af jord, men er blandt andet på grund af den konservative fastsættelsesmetode ikke tiltænkt at stå alene ved en risikovurdering af f.eks. forurenede grunde.

Fastsættelse af grænseværdier bygger altid på en vurdering, eftersom det ikke er muligt at teste alle organismer og funktioner i ethvert økosystem.

De økotoxikologiske jordkvalitetskriterier er fastsat ud fra informationer om stoffernes effekter på mikroorganismer, invertebrater og planter, som hovedsageligt er opnået i simple laboratorieforsøg. Ud fra disse data udregnes et forventet acceptabelt effektniveau for det mest følsomme økosystem.

En sådan vurdering indeholder selvsagt en mængde usikkerheder og uløste problemer. For eksempel er det ikke muligt at inddrage eventuelle fremmede eller hæmmende effekter af alle de andre kemiske stoffer, som ofte vil være til stede i jorden samtidig.

Effekten af et stof afhænger desuden af en række fysiske, kemiske og biologiske jordbundsforhold, som det på nuværende tidspunkt heller ikke er muligt at inddrage i fastsættelsen af kvalitetskriterier, f.eks. jordens pH, ler- og humusindhold, organismens fysiologiske og genetiske tilstand samt interaktioner mellem arter.

Mængden af brugbar information varierer meget fra stof til stof, og for nogle er det nødvendigt, at kriteriet tages op til en revurdering, når mere information eller bedre vurderingsmetoder er tilgængelige.

Det nuværende kriterium for metalloidet arsen på 2 mg/kg er således fastsat ud fra et spinkelt datagrundlag og bygger primært på forsøg udført i sandjord. Det acceptable niveau for ler- og humusrige jorder må forventes at ligge væsentligt højere.

Tungmetalniveauet

På baggrund af de væsentligste resultater, der er opnået i den første danske landsdækkende tungmetalmonitoring, gives der i det følgende en kortfattet beskrivelse af nogle af de spørgsmål og svar, som en tolkning af de indhentede data giver anledning til.

Hovedvægten er lagt på en beskrivelse af tungmetalniveauet i danske jorder opdelt efter geografisk beliggenhed og arealanvendelse. Desuden gives en mere generel diskussion af hvilke naturlige og menneskeskabte kilder, som er betydende for tungmetalindholdet i danske jorder.

Der er i opgørelsen af arealanvendelsen skelnet mellem agerjord, løv-, nåle- og blandet skov samt naturarealer. Desuden er der inddraget 20 specielt udvalgte landbrugsjorder, der gennem en årrække har modtaget

slam. For overskuelighedens skyld er de meget få kvadratpunkter på enge og overdrev indført under agerland.

Tabel 1 giver et samlet overblik over metalanalyserne baseret på alle målepunkterne. Resultaterne er, foruden median samt 5 og 95% fraktil, opdelt efter jordtype og arealanvendelse. Derudover er det angivet hvor stor en andel af målepunkterne, som har højere metalkoncentrationer end henholdsvis slambekendtgørelsens jordkvalitetskriterier og de økotoksikologiske jordkvalitetskriterier. Antallet af prøvefelter med slamgødede marker og naturarealer er, som en naturlig afspejling af den faktiske arealfordeling i Danmark, væsentlig lavere end for agerjorder og skovjorder, hvilket begrænser mulighederne for at identificere eventuelle forskelle.

Tungmetaller spredes bl.a. på landbrugsjorder med handels- og husdyrgødning samt ved udbringelse af slam, kompost og andre affaldsprodukter.

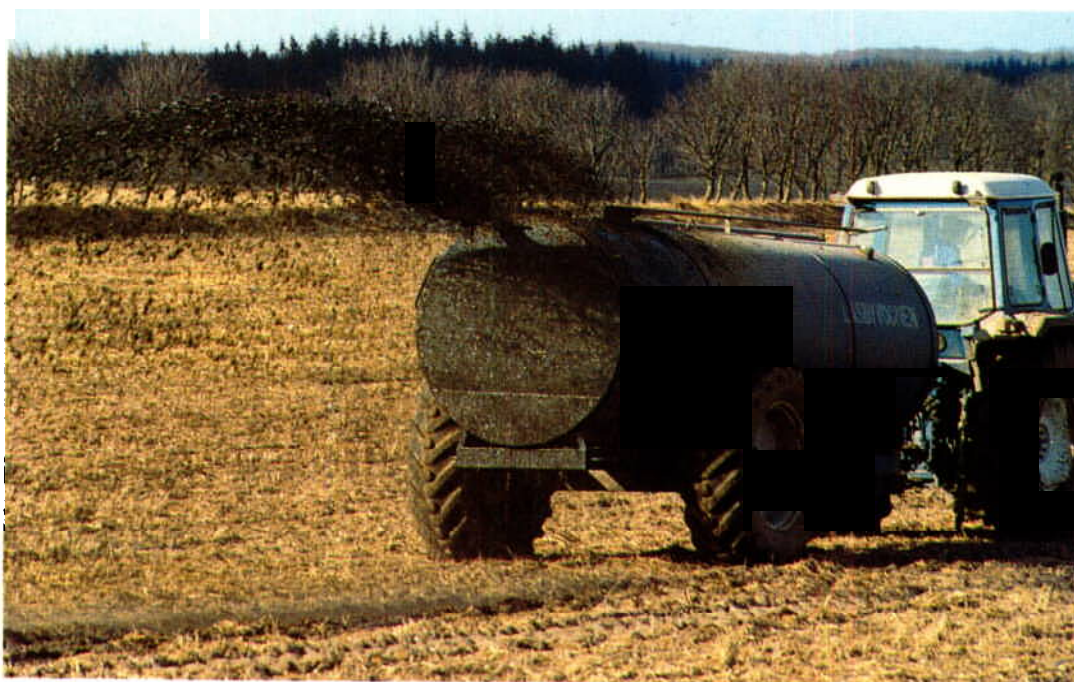


FOTO: BENT LAUGE MADSEN

	Arsen	Bly	Cadmium	Kobber	Krom	Kviksølv	Nikkel	Zink
Jordkvalitetskriterier (JKK):								
Økotoxikologiske	—	50	0,3	30	50	0,1	10	100
Slambekendtgørelsens	(20) ¹	40	0,5	40	30	0,5	15	100
Samlet (ekskl. slamgødede marker):								
Median (N=393)	3,3	11,3	0,16	7,0	9,9	0,04	5,0	26,8
5% fraktil ²	0,9	4,5	0,04	0,8	2,7	0,001	0,9	5,8
95% fraktil ³	8,4	19,2	0,45	15,9	30,4	0,12	15,1	59,7
% > økotox. JKK	—	1,0	12	0,5	0,8	8,9	19,0	0,5
% > slambkg. JKK	(0,5) ⁴	1,2	4,1	0,3	5,6	0,5	5,1	0,5
Opdelt på arealanvendelse (medianer):								
Agerland (N=311)	3,6	11,3	0,18	7,8	10,7	0,036	5,7	29,1
Slamtilførte marker (N=20)	3,6	11,8	0,17	10,4	12,3	0,036	7,5	33,2
Naturarealer (N=12)	1,3	8,7	0,07	0,9	3,8	0,011	1,5	7,7
Løvskov (N=14)	2,3	13,8	0,09	3,7	12,5	0,05	6,2	32,7
Nåleskov (N=34)	1,8	10,8	0,06	1,3	4,8	0,024	1,7	10,2
Blandet skov (N=20)	3,5	12,6	0,15	5,6	13,1	0,049	5,6	33,7
Opdelt på jordtype (medianer):								
Sandjorder (N=226)	2,6	10,5	0,13	5,6	6,4	0,028	2,9	18,4
% > økotox. JKK	—	0,4	3,1	0,0	0,0	4,0	1,3	0,0
Lerjorder (N=167)	4,1	12,1	0,22	9,0	17,1	0,047	9,6	43,3
% > økotox. JKK	—	1,8	25,0	1,2	1,8	16,0	42,0	1,2
¹ Humantoksikologisk jordkvalitetskriterium /9/. Se Boks 3. ² 5% fraktil angiver den værdi, hvorunder 5% af analysetallene befinder sig. ³ 95% fraktil angiver den værdi, hvorover 5% af analysetallene befinder sig. ⁴ Bygger på en sammenligning med det humantoksikologiske kvalitetskriterium.								

Tabel 1. Tungmetalinholdet i danske jorder opgivet som medianværdier og 5% og 95% fraktiler. Desuden er medianer angivet for forskellige arealanvendelser og jordtyper. Alle koncentrationer er i mg/kg. N = antal af prøvefelter.

Derudover ses den procentvise andel af målepunkter med metalkoncentrationer højere end danske økotoxikologiske jordkvalitetskriterier og slambekendtgørelsens jordkvalitetskriterier.

Der er især iagttaget højere indhold af cadmium, nikkel og kviksølv i forhold til jordkvalitetskriterierne. Koncentrationerne afhænger bl.a. af jordens naturlige sammensætning. Der redegøres nærmere for de fundne metalindhold i Figur 1a-1h.

Fordeling af tungmetaller i Danmark

På baggrund af det målte jordbundsindhold er der udarbejdet kort over den geografiske fordeling af de enkelte tungmetaller (Figur 1a-1h). Da store dele af jordens indhold af krom, nikkel og zink og i mindre grad arsen og kobber kan forklares ud fra jordbundstypen (se Tabel 3, side 30), er kortene for disse metaller baseret både på de målte data og på oplysninger om jordbundsforhold.

Den del af tungmetalindholdet, som knytter sig til jordens egenskaber, er beregnet for hver km² i landet ved anvendelse af en lineær model, der baserer sig på jordens indhold af ler, silt, sand og humusstoffer. Jordbundsoplysningerne er hentet fra et generelt jordbundskort. For hvert af målepunkterne beregnes forskellen mellem det målte indhold af tungmetal og den værdi, man kunne forvente på baggrund af jordens sammensætning. Forskellen mellem disse to tal er et mål for den del af tungmetalindholdet, som stammer fra andre kilder. På baggrund af punktmålingerne er størrelsen af dette bidrag udregnet i hver af landets km² ved hjælp af en geostatistisk metode kaldet Kriegering.

Landsdækkende kort over jordens indhold af arsen, kobber, krom, nikkel og zink er herefter fremstillet ved at summere bidragene fra jorden med bidragene fra andre kilder. Indholdet af bly, cadmium og kviksølv er ikke i samme grad knyttet til jordens egenskaber (Tabel 3). Derfor er de landsdækkende kort fremstillet ved for hver km²

i landet at beregne værdier, som udelukkende er baseret på de målte data. Beregningsmetoden har ligeledes her været Kriegering.

Kortenes farvesignatur dækker skalaen fra grøn til rød og er afstemt således, at mørk rød svarer til slambekendtgørelsens jordkvalitetskriterier, mens en stærk pink farve signalerer værdier, der er højere end slambekendtgørelsens jordkvalitetskriterier. For arsens vedkommende anvendes en værdi på 10 mg/kg, da slambekendtgørelsen ikke inkluderer et jordkvalitetskriterium for arsen på landbrugsarealer. De grønne nuancer signalerer, at indholdet er under slambekendtgørelsens jordkvalitetskriterium.

I Tabel 1 på side 15 er en samlet vurdering af de danske jorders kvalitet illustreret ved at sammenholde de målte værdier af tungmetalindholdet med henholdsvis de økotoxikologiske jordkvalitetskriterier og slambekendtgørelsens jordkvalitetskriterier. Da det økotoxikologiske jordkvalitetskriterium for arsen er fastsat på et yderst spinkelt grundlag og bør revurderes når nye data foreligger (se Boks 1), er der valgt ikke at inddrage det i en miljøvurdering af de danske jorder.

De økotoxikologiske jordkvalitetskriterier er fastsat med henblik på at beskytte de mest følsomme organismer i naturlige økosystemer. Dette har ingen umiddelbar

relevans for jordbrugsarealer, hvor brugen af gødning, pesticider og anden jordbehandling skaber store tilsigtede ændringer i økosystemerne.

Når de økotoksikologiske kriterier alligevel er inddraget i en samlet kvalitetsvurdering af de danske jorder, er det ud fra en betragtning om, at opretholdelsen af alle jordens naturlige funktioner (multifunktionalitet) kan være afgørende for muligheden for senere at inddrage arealerne til anden brug.

De danske økotoksikologiske jordkvalitetskriterier indeholder en bred margen af sikkerhed mod miljøeffekter. En overholdelse af disse kriterier sikrer derfor, at indholdet af de otte undersøgte grundstoffer ikke befinder sig på et niveau, der forhindrer jordens naturlige funktioner.

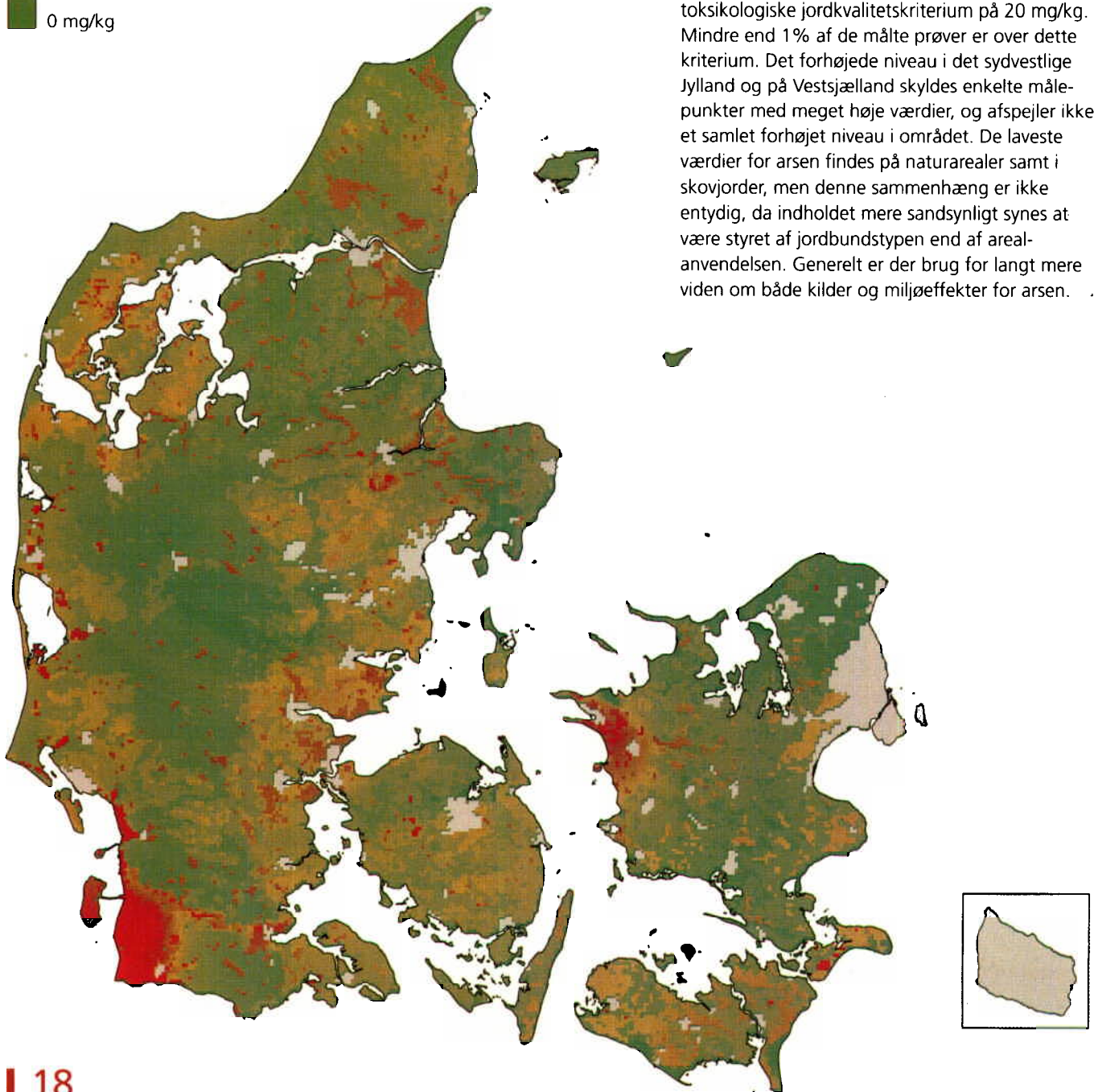
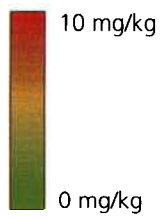
Det er dog vigtigt at understrege, at alle jordens funktioner ikke er sikrede ved at opfylde kvalitetskriterierne for tungmetaller, eftersom disse ikke inddrager effekter af andre påvirkninger, f.eks. brugen af pesticider, dyrkning af monokulturer, pløjning og forsuring.

Indholdet af tungmetaller i de danske jorder er langt fra homogent fordelt, og på de følgende sider (Figur 1a-1h) beskrives den geografiske fordeling af metallerne samt mængden og arten af de arealer, der har et indhold, som ligger over de to jordkvalitetskriterier. Desuden diskuteres kortfattet, om disse koncentrationer udgør miljømæssige problemer.

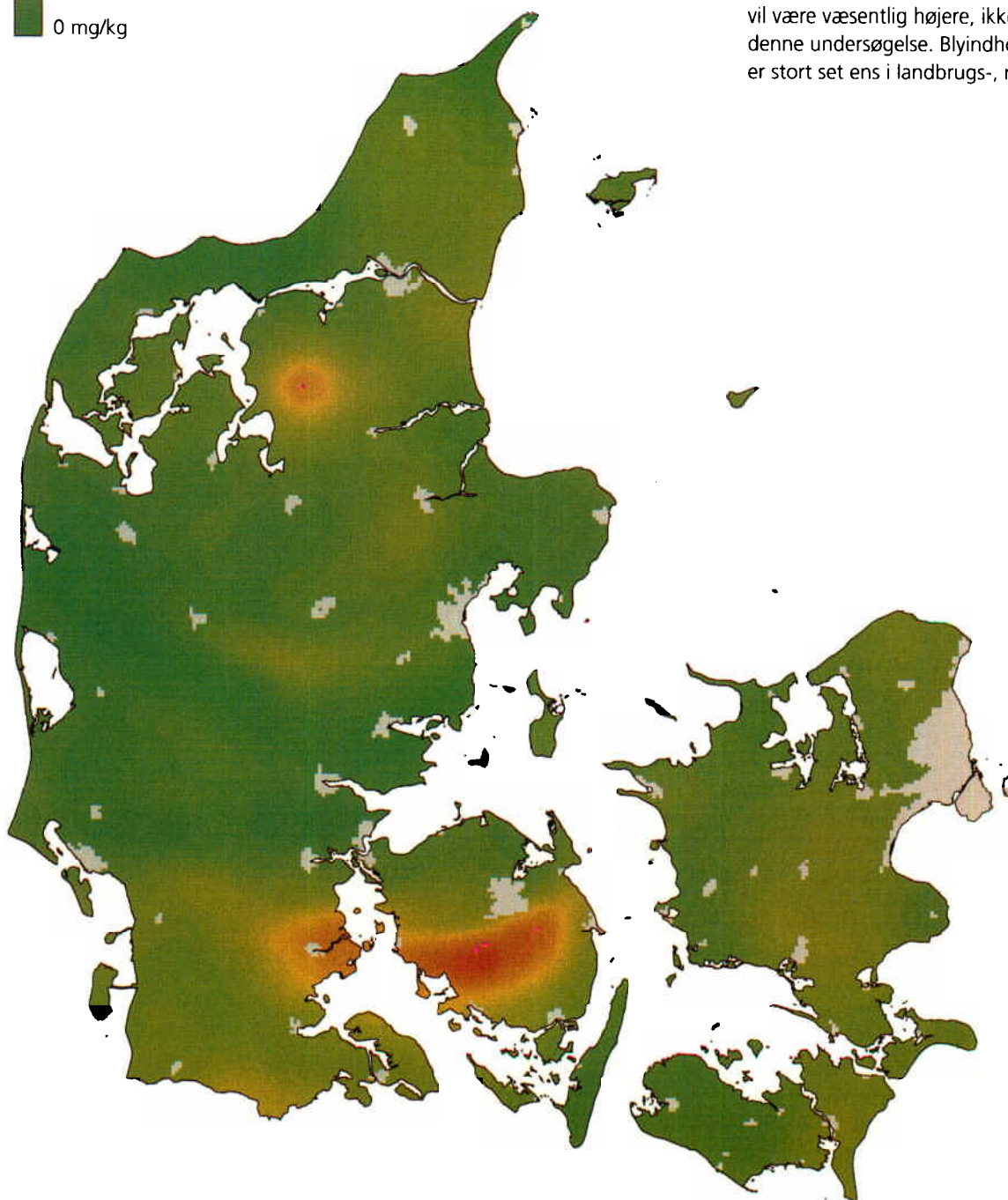
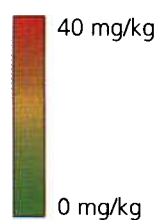
Konklusioner

- Tungmetalindholdet i de danske jorder er generelt lavere end de opstillede kvalitetsmålsætninger, og de meget få højere værdier skyldes primært et naturligt højt indhold af tungmetal i jordbunden.
- De forhøjede niveauer af tungmetaller er i langt de fleste tilfælde fundet i lerholdige jorder, hvor det må formodes, at de vil være mindre tilgængelige for planter og dyr og derfor også mindre skadelige.
- Der er stor geografisk variation i tungmetalindholdet. De højeste værdier findes således typisk på Øernes og Østjyllands lerholdige jorder.
- Tungmetalindholdet varierer også i forhold til arealanvendelsen. Dette skyldes primært de forskellige jordbundsforhold. I afsnittet på side 28 diskuteres dette nærmere.
- Der er brug for mere viden om kilder og miljøeffekter af arsen.
- Det er vigtigt fortsat at reducere brugen af bly, cadmium og kviksølv i det danske samfund og derved nedsætte udslippet af disse tungmetaller til miljøet. Risikoen for effekter i jordmiljøet kan på denne måde mindskes i fremtiden.
- Det kan på sigt blive nødvendigt at vise forsigtighed med anvendelsen af kobber som vækstfremmer for grise.

Arsen (As)

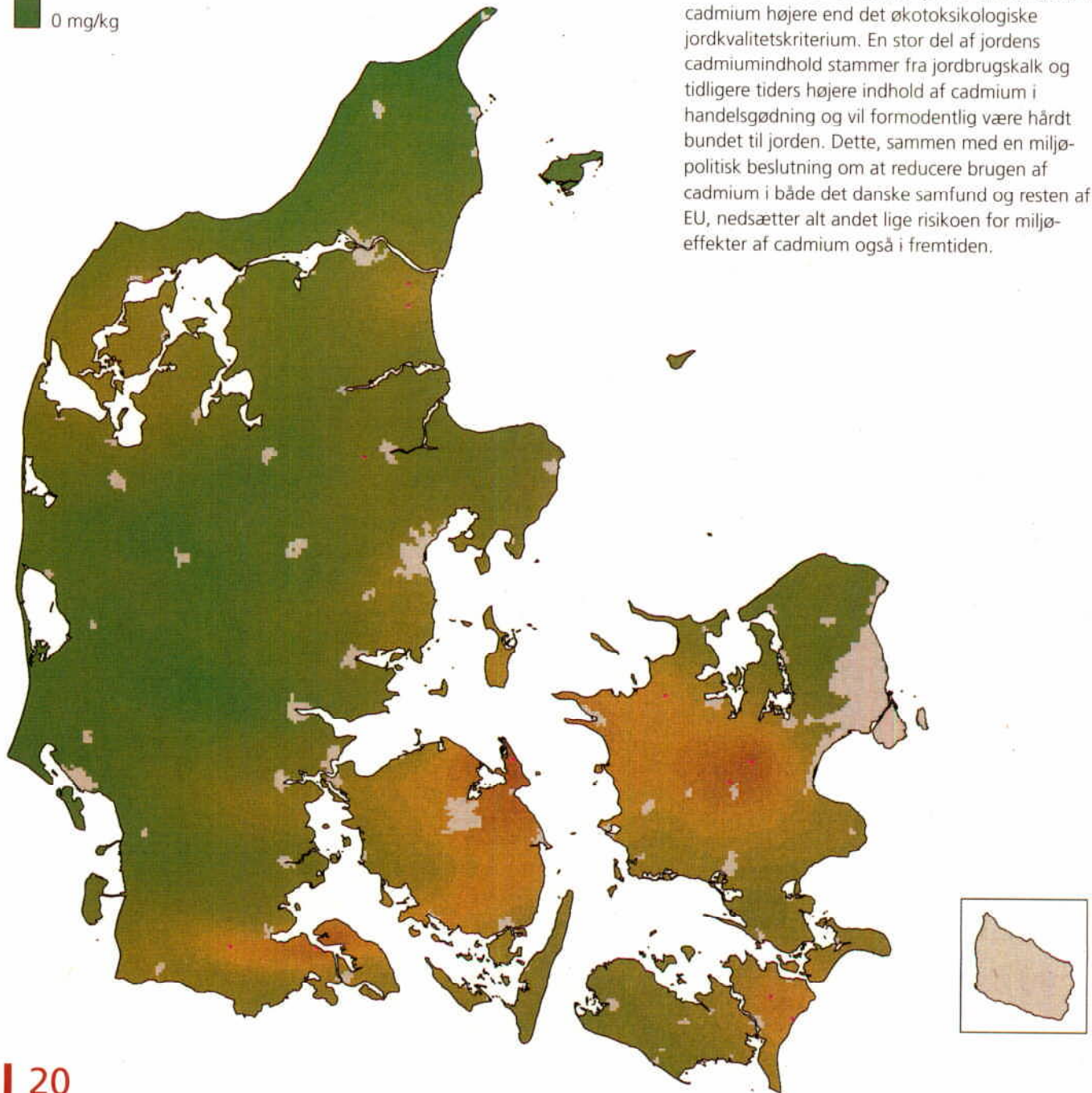
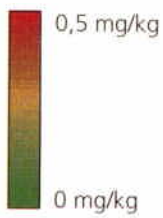


Bly (Pb)

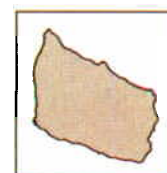
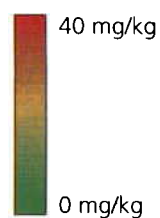


Figur 1b. Bly er jævnt fordelt over hele landet. Den jævne fordeling kan sandsynligvis tilskrives årtiers luftforurening med bly fra anvendelsen af blyholdig benzin. Kun få procent af de danske jorder har et indhold af bly, som er højere end de opstillede kriterier. I denne sammenhæng skal der dog gøres opmærksom på, at byjorder, hvor indholdet ofte vil være væsentlig højere, ikke er medtaget i denne undersøgelse. Blyindholdet uden for byerne er stort set ens i landbrugs-, natur- og skovjorder.

Cadmium (Cd)

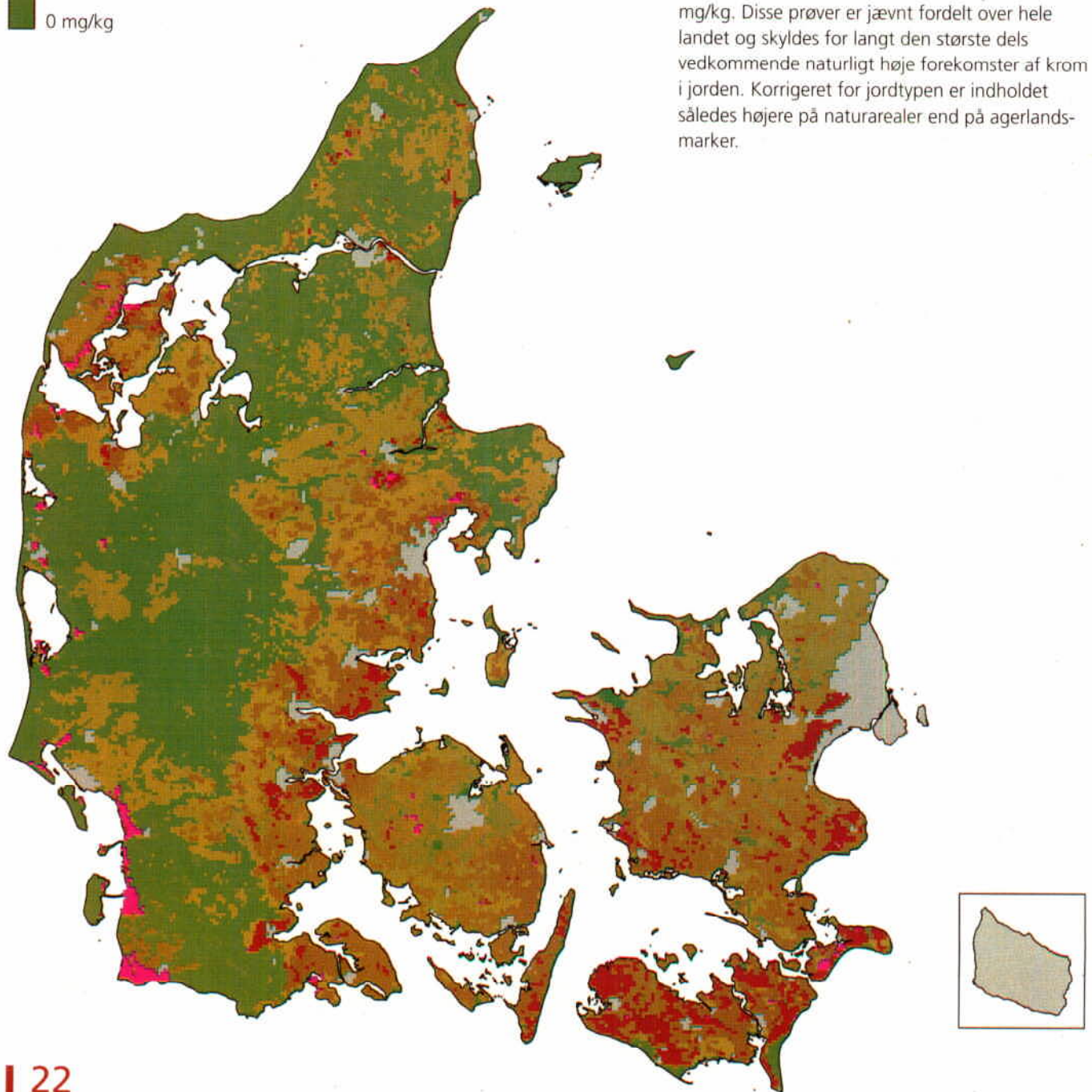
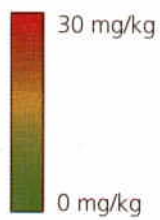


Kobber (Cu)



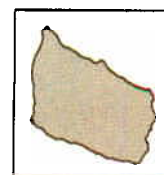
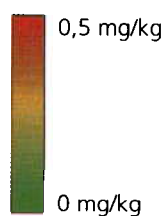
Figur 1d. Indholdet af kobber ligger overalt i landet et stykke under de opstillede kvalitetskriterier. De højeste koncentrationer findes på øernes og Østjyllands lerholdige jorder. Selv når der korrigeres for jordbundsforskelle er indholdet af kobber væsentlig lavere på naturarealer og i løv- og nåleskove end på marker med eller uden slamtilførsel. I lyset af at kobber tilføres landbrugsarealer som plantenæringsstof samt gennem svinegylle, er denne forskel ikke overraskende.

Krom (Cr)



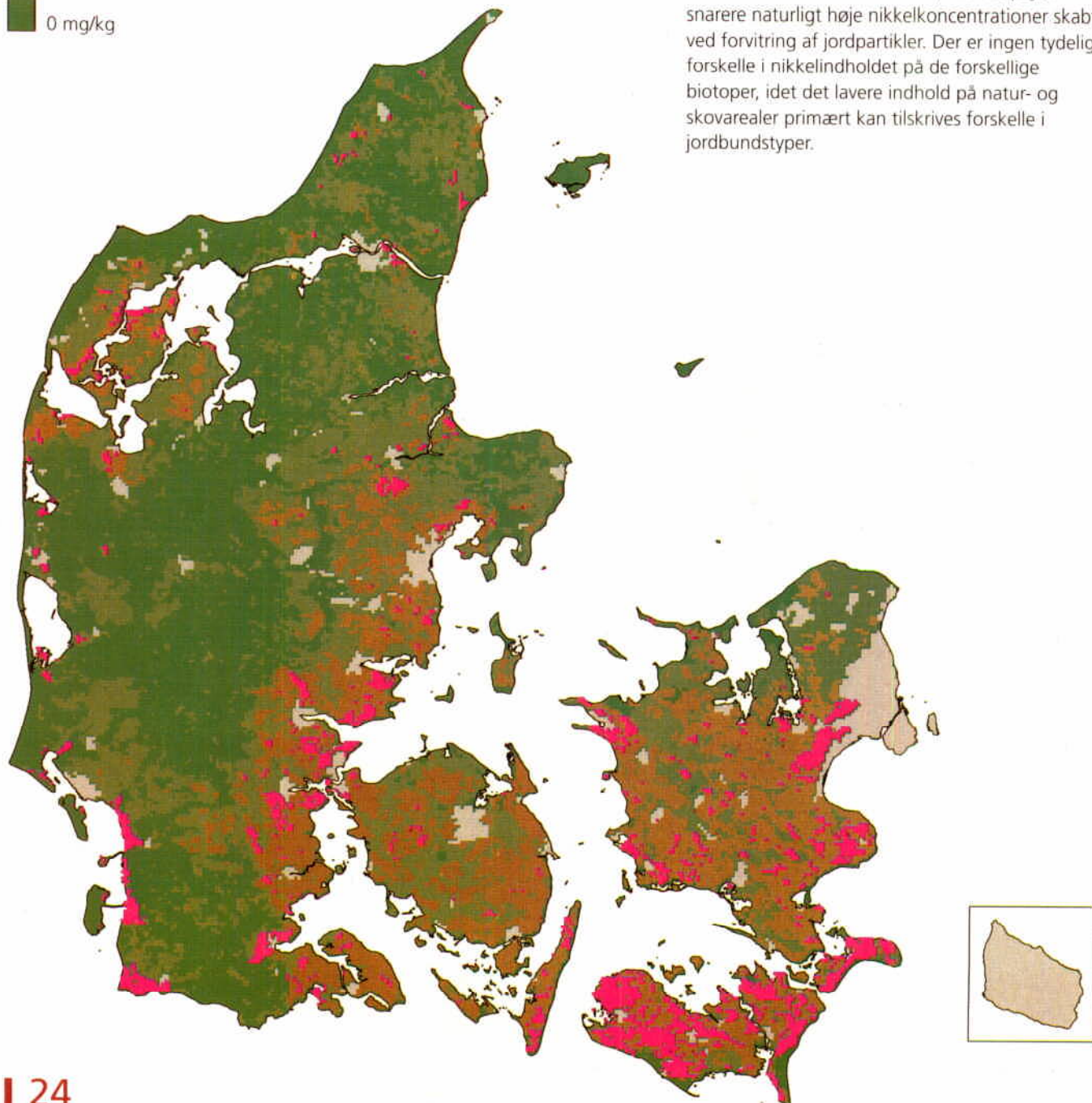
Figur 1e. Da indholdet af krom er stærkt afhængig af jordbundstypen, følger den geografiske fordeling af krom ikke overraskende jordbunds-kortet over Danmark med de laveste koncentrationer i de sandede jyske jorder. Mere end 5% af de analyserede prøver indeholdt mere krom end slambekendtgørelsens jordkvalitetskriterium på 30 mg/kg. Disse prøver er jævnt fordelt over hele landet og skyldes for langt den største dels vedkommende naturligt høje forekomster af krom i jorden. Korrigeret for jordtypen er indholdet således højere på naturarealer end på agerlands-marker.

Kviksølv (Hg)



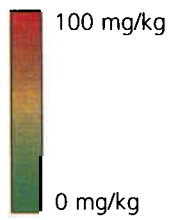
Figur 1f. Indholdet af kviksølv er stort set ens i hele landet. Den viste geografiske fordeling af kviksølv må dog tages med forbehold, da de anvendte data egentlig ikke retfærdiggør udarbejdelsen af et kort. Generelt er indholdet af kviksølv lavt i de undersøgte jorder. Således blev der ikke påvist kviksølv i 18% af prøverne og for halvdelen af alle punkterne var koncentrationen meget lav. Samtidig lå indholdet af kviksølv dog i mere end 8% af prøvearealerne over det økotoxikologiske jordkvalitetskriterium. Kviksølv kan ikke i nævneværdigt omfang tilskrives forvitring, hvorfor en stor del af jordens indhold må skyldes menneskelig aktivitet. Da de seneste årtier's bestræbelser på at nedsætte forbruget af kviksølv i det danske samfund har resulteret i et betydeligt fald i udslippet af kviksølv til omgivelserne, stammer en stor del af jordens indhold sandsynligvis fra 60'ernes og 70'ernes forbrug af kviksølvbaserede produkter.

Nikkel (Ni)



Figur 1g. Langt den største del af variationen i indholdet af nikkel kan forklares ved jordbundens sammensætning. De højeste koncentrationer af nikkel findes således primært i lerjorder. Det relativt høje antal målepunkter (18%), som ligger over jordkvalitetskriteriet tilskrives derfor heller ikke menneskeskabte tilførsler, men afspejler snarere naturligt høje nikkelkoncentrationer skabt ved forvitring af jordpartikler. Der er ingen tydelige forskelle i nikkelinholdet på de forskellige biotoper, idet det lavere indhold på natur- og skovarealer primært kan tilskrives forskelle i jordbundstyper.

Zink (Zn)



Figur 1h. Zink synes på ingen måde at kunne udgøre et miljøproblem i danske jorder, eftersom indholdet er langt under de opstillede kvalitetskriterier i stort set hele landet. Undtagelserne er nogle få områder med naturligt høje forekomster. Da forekomsten af zink er domineret af jordbundsforholdene, kan der, når forskelle i jordtype indregnes, ikke observeres nogen markante forskelle i indholdet af zink i jorder opdelt efter arealanvendelse.

Tungmetalniveauet i andre europæiske lande

Resultaterne af den danske kvadratnetundersøgelse er i Tabel 2 forsøgt sammenlignet med dels en tidligere dansk undersøgelse af Tjell og Hovmand, dels med tungmetalundersøgelser fra andre nærliggende lande. Derudover er Kvadratnetundersøgelsens resultater opdelt i ler- og sandjorder.

Tungmetalindholdet af de danske jorder synes ikke at være højere end hos vore naboer, snarere tværtimod. Når så forskellige områder som Danmark, Sverige, Holland, Storbritannien og Tyskland sammenlignes, må der forventes en stor variation i jordens indhold af tungmetaller. Forskelle i geologi og beliggenhed i forhold til f.eks. Central-europas stærke luftforurening gør sammen med forskelle i analyse- og indsamlingsmetoder en direkte sammenligning besværlig.

Værdierne fra Holland, England og Tyskland burde dog kunne sammenlignes med de danske resultater, selv om analyserne er foretaget efter lidt andre principper. De svenske undersøgelser er fra områder, der udelukkende kan sammenlignes med de danske naturjorder.

I den svenske undersøgelse blev der taget prøver til metalanalyse fra forskellige dybder. Foruden prøver fra humuslaget (0-5 cm) og overjorden (5-15 cm) findes der også data fra de dybereliggende lag. Ved en sammenligning af tungmetalindholdet i de forskellige lag observeres, at bly, cadmium og kviksølv tilbageholdes i det organiske humuslag, hvorimod kobber og krom fortrinsvis findes længere nede i jorden. Indholdet af arsen er næsten konstant ned gennem jordlagene.

Der arbejdes inden for Geneve-konventionen om grænseoverskridende luftforurening på at reducere udslippet af metaller til luften i hele Europa.



FOTO: JES FENGER

I England/Wales er det generelle indhold af tungmetaller højere end i Danmark. Dette skyldes formodentlig ikke kun forurening, da store dele af den engelske undergrund har et naturligt metalindhold, som gør minedrift rentabel. Medianværdier findes i Tabel 2. Derudover er der observeret maksimumværdier på 140 mg/kg for arsen, 2900 mg/kg for bly, 10,5 mg/kg for cadmium, 215 mg/kg for kobber og 975 mg/kg for zink. Antallet af prøvsteder varierer, idet arsen, krom og kviksølv er analyseret på 200-300 marker og de øvrige metaller på 1400-1500 marker.

I Holland er der udført en undersøgelse, som svarer til den danske kvadratnetundersøgelse. Hollands jorder minder en

del om de danske, dog med flere lerjorder fra landindvindinger af havområder. Desuden er der særlige problemer omkring de store floder Rhinen og Maas. Her fører oversvømmelser stærkt forurenede sediment ind på landbrugsjorder. Trækkes områder, der forurenes af oversvømmelser, ud af undersøgelsen, falder værdierne i Tabel 2 for zink med 35%, for cadmium og bly med 30% og for kobber, krom og nikkel med 10-15%. Arsen og kviksølv ændres ikke væsentligt. Opdelt på jordtyper findes de højeste niveauer i lerjorder.

Fra Tyskland er kun resultaterne fra den nordtyske region Slesvig-Holsten præsenteret, da denne region jordbundsmæssigt ligner store dele af Danmark.

	Arsen	Bly	Cadmium	Kobber	Krom	Kviksølv	Nikkel	Zink
Kvadratnetundersøgelsen								
Total (N=393)	3,3	11,3	0,16	7,0	9,9	0,04	5,0	26,8
Sandjorder (N=226)	2,6	10,5	0,13	5,6	6,4	0,03	2,9	18,4
Lerjorder (N=167)	4,1	12,1	0,22	9,0	17,1	0,05	9,6	43,3
Danmark /1/								
Tjell og Hovmand 1978 (N=44)	—	16,6	0,22	8,0	13,2	—	5,4	25,6
Sverige /10/								
Naturjorder 0-5 cm (N=23)	2,2	42	0,5	11	3	0,23	—	60
Naturjorder 5-15 cm (N=23)	1,8	18	0,06	12	10	0,01	—	9
England og Wales /11/								
Landbrugsjorder (N= 192-1521)	10,4	36,8	0,5	18,4	54	0,09	23,7	80
Holland¹ /12/								
Lerjorder (N=248)	14	43	0,5	23	78	0,2	33	117
Sandjorder (N=63)	5	21	0,3	11	26	0,2	5	44
Tyskland (Slesvig-Holsten) /13/								
Sandede agerjorder (N=129)	—	13	0,1	6,8	8	0,04	4	25
Organiske agerjorder (N=237)	—	14	0,1	9,2	17	0,04	11	43
Sandede skovjorder (N=91)	—	19	0,1	4,8	5	0,03	3	19
Organiske skovjorder (N=20)	—	20	0,1	5,8	10	0,04	8	31

¹ Opgivet som middelværdier. Alle andre som medianer.

Tabel 2. Tungmetalundersøgelser fra andre nærliggende lande. Der henvises til originallitteraturen, der kan findes i litteraturlisten eller til Danmarks Miljøundersøgelseres faglige rapport /3/ for en grundig gennemgang af de enkelte undersøgelser. N= antal prøver. Alle metalkoncentrationer er angivet i mg/kg.

Forhold af betydning for tungmetalniveauet

I et forsøg på at identificere de forhold, der har indflydelse på tungmetalindholdet af danske jorder, er det undersøgt i hvor høj grad tungmetalindholdet afhænger af såvel naturlige (geologisk oprindelse, jordtypen) som menneskeskabte forhold (arealanvendelse, gødningsforbrug, atmosfærisk nedfald og befolkningstæthed). Analyser af indbyrdes sammenhæng mellem tungmetalindholdet og nogle af de nævnte parametre kan aflæses i Tabel 3, side 30.

Det må formodes, at menneskeskabte aktiviteter gennem det sidste århundrede har haft en vis indflydelse på jordens indhold af nogle af de undersøgte tungmetaller. Det har dog ikke i denne undersøgelse været muligt, at identificere andre kilder af betydning end jordbundens naturlige sammensætning. En af hovedårsagerne hertil er formodentlig, at det totale indhold af de fleste tungmetaller er langt større end den nuværende tilførsel (se Tabel 5, side 33).

Jordbundstypen

Statistiske analyser, som belyser sammenhængen (korrelationen) mellem jordbundstypen (teksturen) og det totale metalindhold, viser at indholdet af krom, nikkel og zink kan forklares overvejende ud fra oplysninger om jordtypen, dvs. indholdet af ler, humus, sand og silt. Langt hovedparten af den krom, nikkel og zink, der findes i de danske jorder, må således antages at stamme fra naturlige forvittringsprocesser. Cadmium- og arsenindholdet kan i mindre grad forklares ved jordens sammensætning, mens

indholdet af kviksølv og bly stort set er uafhængig af jordtypen.

Oplysningerne om jordens sammensætning stammer fra Kvadratnettets opstart og er altså ikke direkte relateret til de enkelte prøver i denne undersøgelse. Da teksturen inden for et prøvetagningsområde på 50x50m kan variere, kunne der antageligt findes endnu bedre sammenhænge, hvis jordens tekstur analyseredes specifikt for hver prøve. Således fandt Tjell og Hovmand /1/ i deres undersøgelse fra 1978 langt bedre korrelationer for krom, nikkel og zink ved at bestemme teksturen for hver enkelt af deres prøver (0,92-0,97 mod 0,80-0,88 i denne undersøgelse, se Tabel 3, side 30).

Hvorvidt de forhøjede mængder af tungmetaller i ler- og siltholdige jorder udelukkende er et produkt af forvittringsprocesserne, eller det også skyldes en større bindingsevne af tilførte tungmetaller i disse jorder, er det ud fra det foreliggende datagrundlag ikke muligt at besvare entydigt.

Arealanvendelse

Undersøges de indsamlede data på baggrund af en opdeling i arealanvendelse, kan nogle overordnede tendenser observeres, om end de færreste af dem er tydelige. Tungmetalindholdet er i alle tilfælde højest på landbrugsjorder og blandet skov. Gruppen af arealer med blandet skov indeholder desuden enkelte arealer med usikre oplysninger om skovdriften. Niveauet er for alle andre metaller end bly mindst dobbelt så højt på landbrugsarealer i forhold til natur-

arealer. Resultaterne viser dog ikke nogen entydig sammenhæng mellem arealanvendelsen og tungmetalinholdet, hvis de korrigeres for forskelle i jordens sammensætning. Det lavere indhold af tungmetaller på naturarealer kan således forklares ved, at disse arealer, eftersom de humusrige lerjorder oftest er inddraget til jordbrug, generelt befinder sig på sandede jorder med lavt humusindhold. Jordtyper af denne art vil, alt andet lige, indeholde mindre mængder af metaller. Dels på grund af en anderledes geologisk karakter, dels fordi det lavere indhold af ler og humus i disse jorder vil medføre en ringere binding af tungmetaller, hvad enten tilførslen er af naturlig eller menneskeskabt oprindelse.

Det relativt lave indhold af tungmetaller specielt i nåleskovs-, men også i løvskovs-jorder, kan muligvis forklares ved, at den lave pH, som er fremherskende i de danske skovjorder, øger udvaskningen af mange positive ioner. Dele af jordens pulje af tungmetaller kan på denne måde være udvasket til dybere jordlag.

I gruppen af målepunkter med de højeste værdier, finder man en overrepræsentation af arealer med agerland og blandet skov, medens der er en markant underrepræsentation af naturarealer og skov i øvrigt. Der er derudover en tendens til at forekomsten af høje værdier forklares dårligere ud fra jordbundstypen end normalt. Alt i alt tyder dette på, at menneskelig aktivitet på visse arealer har øget det samlede indhold af specielt arsen, kobber, cadmium og måske kviksølv.

Atmosfærisk nedfald

Det atmosfæriske bidrag til tungmetalbelastningen af de danske jorder er vurderet ud fra mosanalyser. Mosanalyserne er ikke udført i forbindelse med Kvadratnetundersøgelsen, men stammer fra en tungmetalmonitering under Nordisk Ministerråd /14/.

Analyserne er foretaget i 1985 og afspejler nedfaldet af tungmetaller i danske skove og naturområder de foregående 3-4 år. Nedfaldet i denne periode var givetvis højere end det nuværende niveau. Mosanalyser dækkende perioden 1985-1990 peger således allerede her på en betydelig reduktion af det atmosfæriske nedfald, mest markant for bly /18/. Når værdierne fra 1985 alligevel er anvendt, skyldes det, at det nuværende indhold må ses som en følge af en historisk belastning. Desuden er antallet af målepunkter siden hen halveret. Antallet af målepunkter var 185 i 1985, men da de er henlagt til skov- og naturarealer, er de geografisk ujævnt fordelt.

Umiddelbart hersker der ingen sammenhæng mellem det atmosfæriske nedfald, målt ved hjælp af mosanalyser, og jordens totalindhold af tungmetaller (Tabel 3, side 30). Når det samlet ikke er muligt at spore nogen sammenhæng mellem det atmosfæriske nedfald og jordens indhold af tungmetaller, skyldes det formentlig den usikre bestemmelse af det atmosfæriske nedfald fra mosanalyserne, samt at det årlige nedfald er forsvindende lille i forhold til jordens totalindhold.

Sammenholdes data fra de seneste mosanalyser fra 1990 med jordens gennemsnitlige indhold af tungmetaller kan det således ses, at med et uændret atmosfærisk nedfald vil der gå mellem 14 og 170 år før jorden er tilført så meget tungmetal, at det svarer til 1% af det nuværende totalindhold (Tabel 5, side 33).

Den reduktion i forbruget af blyholdig benzin, som har fundet sted siden 1990, bevirker, at der vil gå endnu længere tid end de beregnede 21 år, før det atmosfæriske bidrag udgør 1% af jordens nuværende blyindhold. Der hersker dog ingen tvivl om, at en stor del af det bly, der er ophobet overalt i de danske jorder skyldes de seneste 50 års forbrug af blyholdig benzin.

Befolkningstætheden

Der synes ikke at være nogen umiddelbar sammenhæng mellem befolkningstætheden og indholdet af nogen af de undersøgte tungmetaller. Befolkningstætheden på kommunalt plan er inddraget som et udtryk for den menneskelige aktivitet i området og analyseret med henblik på at undersøge, om f.eks. indholdet af bly i tæt befolkede områder er forøget. Dette synes ikke at være tilfældet, sandsynligvis på grund af blys allestedsnærværende karakter, samt fravalget af byjorder i denne undersøgelse. Når man fjerner sig fra byerne, synes bly således at være jævnt fordelt i det danske land.

Handels- og husdyrgødning

Der findes på samme måde ingen sammenhæng mellem forbruget af handels- og husdyrgødning og jordens totale tungmetallindhold. Indholdet af tungmetaller som f.eks. cadmium og kobber, der netop spredes i miljøet blandt andet via handels- og husdyrgødning, viser ingen korrelation med de sidste fem års forbrug af gødning på arealet. Den tilførsel, der stadig finder sted gennem gødning, forsvinder således enten via planteoptagelse og udsivning eller også er den ikke tilstrækkelig stor til statistisk at udskille sig fra den nuværende baggrunds-koncentration.

Sammenholdes den mængde tungmetaller, som spredes på jorden ved et typisk forbrug af handels- og husdyrgødning, med jordens totalindhold af tungmetaller, kan det beregnes, at det typisk kræver mere end 10 års tilførsel, før det modsvarer 1% af jordens nuværende tungmetallindhold (Tabel 5, side 33). Undtaget herfra er dog tilførslen af kobber og zink fra husdyrgødning og tilførslen af cadmium fra handelsgødning og kalk.

Kobber og zink er plantenæringsstoffer og fjernes i et vist omfang fra jorden med afgrøderne. Den nuværende tilførsel vil derfor formodentlig ikke udgøre et miljøproblem på kort sigt. Hvis doseringen af kobber som vækstfremmer til grise fortsætter på det nuværende niveau, kan det dog ikke udelukkes, at kobberindholdet på husdyrgødede marker med tiden kan stige til et uhensigtsmæssigt niveau.

Tilførslen af cadmium er beregnet ved hjælp af tal fra 1990 /5/, og siden er to stramninger af det maksimale indhold af cadmium i handelsgødning gennemført. Kommende kvadratnetundersøgelser vil måske vise, om dette er tilstrækkeligt til at stoppe stigningen af cadmiumindholdet i landbrugsjorder. Undersøgelser udført af Statens Planteavlsvforsøg tyder nemlig på, at en sådan stigning har fundet sted gennem de sidste 80 år /20/.

Tabel 3.
Korrelationsanalyser af sammenhæng mellem tungmetallindholdet og forskellige parametre. En korrelationskoefficient større end 0,8 kan tolkes som en tydelig sammenhæng. En koefficient større end 0,4 indikerer en vis sammenhæng, mens koefficienter under 0,4 tyder på, at der ingen sammenhæng er mellem parametrene.

	Arsen	Bly	Cadmium	Kobber	Krom	Kviksølv	Nikkel	Zink
Tekstur ¹	0,41	0,12	0,49	0,47	0,80	0,19	0,88	0,85
Atm. deposition ²	0,02	0,22	0,13	0,24	0,08	0,02	-0,00	0,26
Befolkningstæthed ³	0,00	0,00	0,08	0,18	0,12	0,02	0,13	0,14
Handelsgødning ⁴	0,21	-0,07	0,23	0,19	0,15	-0,05	0,21	0,20
Husdyrgødning ⁴	0,01	-0,02	0,11	0,12	-0,06	-0,04	-0,00	0,05

¹ Udregnet ud fra en optimeret lineær model baseret på oplysninger om humus, ler, silt, fin- og grovsand /3/.

² Udregnet på baggrund af mosanalyser /14/.

³ Befolkningstætheden udregnet på kommuneniveau /15/.

⁴ Et gennemsnit af de sidste 5 års forbrug.

Slamgødede marker

Der foreligger ingen detaljerede oplysninger om jordbundstypen og jordbundskemien for de undersøgte slamgødede marker. Det er derfor ikke muligt at korrigere for eventuelle forskelle mellem de slamgødede marker og det øvrige landbrugsareal. Resultaterne fra de to arealtyper tyder dog ikke på nævneværdige forskelle (Tabel 1, side 15).

For alle tungmetaller er der fastsat grænseværdier for mængden af tungmetal pr. ton slam som tørstof. Grænseværdien for arsen gælder dog kun for havebrug. For bly, cadmium, kviksølv og nikkel er der derudover fastsat grænseværdier for indholdet af tungmetal pr. kg fosfor i slammet. Den tilladte mængde slam, som må udbringes

på danske landbrugsarealer, er 10 tons tørstof /ha/år som et gennemsnit over en 10-årig periode. Samtidig må markerne dog maksimalt modtage 40 kg totalfosfor /ha/år ved slamudbringning. De 40 kg totalfosfor /ha/år kan udregnes som et gennemsnit over 3 år.

På grund af det generelt høje fosforindhold i dansk slam, vil det være fosformængden, som begrænser tilførslen af tungmetaller på de slamgødede marker. Dette vil i praksis også gælde for de tungmetaller, som kun har en tørstofrelateret grænseværdi.

Grænseværdierne for tungmetaller i slam er sammen med oplysninger om gennemsnitsværdier vist i Tabel 4.

	Bly	Cadmium	Kobber	Krom	Kviksølv	Nikkel	Zink
Grænseværdier i slam (mg/kg tørstof)	120	0,8	1 000	100	0,8	30	4 000
Grænseværdier i slam (mg/kg totalfosfor)	10 000	200	35 700 ¹	3 570 ¹	200	2 500	143 000 ¹
Gennemsnitlige indhold (mg/kg totalfosfor)	2 800	59	10 000 ²	1 050 ²	50	860	29 000 ²
Maksimal tilførsel ³ (g/ha/år)	400	8	1 430	140	8	100	5 720
Gennemsnitlige tilførsler ⁴ (g/ha/år)	112	2,4	400	42	2	34,4	1 160

¹ Der findes ingen fosforrelaterede grænseværdier, men et maksimalt indhold er anslået ud fra de tørstofrelaterede grænseværdier og et gennemsnitligt fosforindhold på 28 g fosfor pr. kg slam som tørstof.

² Det gennemsnitlige indhold af disse metaller måles typisk kun i forhold til tørstofindholdet (Cu: 280 mg/kg TS; Cr: 30 mg/kg TS; Zn: 810 mg/kg TS). Indholdet er omregnet til mg pr. kg totalfosfor ved, at benytte et gennemsnitsindhold på 28 g fosfor pr. kg slam som tørstof.

³ Udregnet som en tilførsel af 40 kg fosfor pr. ha pr. år fra slam med det maksimale fosforrelaterede indhold af tungmetaller ifølge slambekendtgørelsen.

⁴ Udregnet som en tilførsel af 40 kg fosfor pr. ha pr. år. fra slam med det gennemsnitlige fosforrelaterede indhold af tungmetaller ifølge Miljøstyrelsen 1994.

Tabel 4. Grænseværdier for tungmetaller i slam som fastsat i slambekendtgørelsen og middelværdier for tungmetaller i dansk slam i 1994 som oplyst af Miljøstyrelsen /21/. På baggrund af disse værdier er henholdsvis den maksimale og den gennemsnitlige tilførsel af tungmetaller med slam udregnet. Der findes ingen grænseværdier for arsen i slam til brug på landbrugsarealer.

Når man på de 20 slamgødede marker ikke finder nogen tydelig stigning i tungmetalindholdet efter en årrække med slamgødning, kan det skyldes, at:

- * Den tilførte tungmetalmængde er meget lille i forhold til jordens oprindelige indhold eller i forhold til det atmosfæriske bidrag.
- * Tilførslen af tungmetaller modsvares af en tilsvarende fjernelse via planteoptagelse eller nedsivning.
- * Den mængde tungmetal, som tilføres med slam er af samme størrelsesorden som den mængde, der tilføres gennem andre gødningsformer.
- * Slamudbringning på jorder med et naturligt højt metalindhold er reguleret af slambekendtgørelsens jordkvalitetskriterier, således at kun jorder med et lavere metalindhold gødes med slam.

For at vise hvilke af disse muligheder, der er mest sandsynlige, er tilførslen af tungmetaller fra slam sammenlignet med jordernes eksisterende indhold af tungmetaller (Tabel 5, side 33). Beregningerne viser hvor mange år, der kan tilføres tungmetaller med slam, før det svarer til 1% af den mængde, som jorden indeholder i forvejen. For de fleste metaller vedkommende er den tilførte mængde meget lille i forhold til jordens nuværende indhold af metaller.

I beregningerne er det forudsat, at slam i gennemsnit indeholder 28 kg fosfor (P) pr. ton og at slam udbringes, så det svarer til den maksimale tilførsel af fosfor ifølge slambekendtgørelsen, dvs. 40 kg P/ha/år. Det er endvidere forudsat, at opblandingen sker i de øverste 30 cm af jorden, og at jordens massefylde er 1500 kg/m³. Det gennemsnitlige indhold af tungmetaller og fosfor i slam bygger på Miljøstyrelsens tal fra 1994 /21/. Beregningerne viser, at der

generelt forudsættes adskillige års udbringning, før der er tilført en mængde, som kan adskilles fra baggrunds niveauet (Tabel 5). Undtaget herfra er de årlige tilførsler af kviksølv, kobber og zink, som svarer til 1-2% af jordens nuværende indhold. Da både kobber og zink er plantenæringsstoffer, vil de i et vist omfang blive fjernet fra jorden med afgrøderne. Kviksølv vil i nogen grad fordampe fra jorden. Afdampningen afhænger af jordens fugtighed, temperatur og pH. Undersøgelser fra 42 landbrugsjorder i Danmark har vist, at fordampningen er i størrelsesorden 0,8 g kviksølv/ha/år /16/. Det svarer i gennemsnit til ca. 40% af den mængde kviksølv, som tilføres med slam.

Hvorvidt tilførslen af slam i det lange løb kan medføre en stigning i tungmetalindholdet i de behandlede jorder, er det med den nuværende viden ikke muligt at bedømme, idet det blandt andet også afhænger af i hvilken grad tungmetallerne fjernes fra jorden. Det er derfor heller ikke muligt på nuværende tidspunkt at anslå risikoen for miljøeffekter ved en eventuel stigning i tungmetalindholdet som følge af den hidtidige og aktuelle anvendelse af slam på jordbrugsarealer. Kvadratnetundersøgelsernes fremtidige overvågning vil, eventuelt sammen med andre undersøgelser, kunne belyse dette.

Normalt antages den største del af metallerne at være bundet fast til jordpartiklerne. Derved er de kun i begrænset omfang tilgængelige for planter og dyr. En ændring i jordens pH, f.eks. i forbindelse med ophør af landbrugsproduktion, eller tilstedeværelsen af en bred vifte af organiske stoffer, som f.eks. overfladeaktive stoffer, kan tænkes at medvirke til at frigøre metallerne og derved gøre dem mere miljøfarlige. Der er behov for mere viden om konsekvenserne ved at påføre jorden produkter, der indeholder kemiske blandinger, samt yderligere at belyse samspillet mellem forurening og økologiske effekter af tungmetaller.

Relative kildestørrelser

Det kan beregnes, hvor ofte det med den nuværende tungmetalbelastning vil være hensigtsmæssigt at gentage Kvadratnetundersøgelsen. Tabel 5 viser beregninger over de forskellige kilders anslåede størrelse i forhold til jordens nuværende indhold af tungmetaller. Tabel 5 viser også, hvilke af de nævnte kilder, som på nuværende tidspunkt bidrager mest til indholdet af de forskellige tungmetaller i de danske jorder.

Ved at sammenligne tilførslen af tungmetaller fra de forskellige kilder kan det beregnes, at på jorder, som gødes med slam, udgør dette et af de væsentligste bidrag. Gødning med slam sker dog i øjeblikket kun på 4-5% af dyrkningsjorden, og beregningerne i Tabel 5 forudsætter, at slam på disse jorder udbringes i maksimale mængder hvert år. I praksis vil dette kun være tilfældet for en begrænset del af de arealer, som gødes med slam. De beregnede værdier for tungmetalbelastningen gennem slam er fundet ud fra gennemsnitsværdier fra 1994. Det nuværende bidrag må formodes at være lavere, da grænseværdierne for slam er skærpede i forbindelse med den nye slambekendtgørelse fra 1995. I fremtiden vil indholdet af

tungmetaller i spildevand formodentlig falde yderligere i takt med, at forbruget af tungmetaller reduceres i samfundet.

Foruden slam udgør handelsgødning en væsentlig kilde til cadmium. Indholdet af cadmium i forhold til mængden af fosfor er generelt lavere i slam end i handelsgødning. I 1994 var indholdet således i gennemsnit ca. 65 mg cadmium pr. kg fosfor i handelsgødning mod 59 mg cadmium pr. kg fosfor i slam. Tilførslen af 40 kg fosfor pr. ha. pr. år ved udbringelsen af slam er dog generelt højere end den anbefalede tilførsel fra handelsgødning (ca. 20 kg/ha/år) /17/. I Tabel 5 bygger beregningsgrundlaget for tilførslen af tungmetaller via handelsgødning på tal fra 1990, og to efterfølgende stramninger i reglerne for indholdet af cadmium i handelsgødning har ganske givet nedbragt tilførslen fra denne kilde.

Kobber og zink vil uanset den relative store tilførsel fra gødning og slam formodentlig ikke medføre problemer i de danske agerjorder på kort sigt, da en del fjernes igen med afgrøderne. Hvis forbruget af kobber som væksthæmmer til grise fortsætter i det

	Arsen	Bly	Cadmium	Kobber	Krom	Kviksølv	Nikkel	Zink
Atmosfærisk nedfald ¹	105	21	14	23	170	3	89	16
Handelsgødning og kalk ²	145	>9	6	—	24	25	79	—
Husdyrgødning ³	337	148	15	0,6	47	—	18	1,6
Slam ⁴	—	5	4	0,5	13	1	8	0,5

¹ Anslået ud fra mosanalyser fra 1990 /18/, dog ikke kviksølv, som bygger på 1987-tal fra Miljøstyrelsen /16/.
² Anslået ud fra 1990-tal fra Miljøstyrelsen /4,5/.
³ Beregnet ud fra et typisk indhold og en anvendelse på 110 kg kvælstof/ha.
⁴ Beregnet ud fra et middelinhold i slam fra 1994 og en udbringning af 40 kg fosfor/ha/år.
Der henvises i øvrigt til Danmarks Miljøundersøgelser's faglige rapport /3/ for en detaljeret beskrivelse af beregningsgrundlaget.

Tabel 5.
Antal års kildebidrag af tungmetaller, som svarer til 1% af det nuværende indhold af tungmetaller i jordens øverste 30 cm.

nuværende omfang, kan det dog ikke udelukkes, at kobber med tiden vil kunne udgøre et miljøproblem på gylletilførte marker. De nuværende tilførsler af krom og nikkel er så lave, at det selv i et meget langt perspektiv ikke forekommer sandsynligt, at de vil udgøre noget væsentligt miljøproblem.

Tilførslerne af kviksølv, bly og cadmium er relativt små, men dog af en sådan størrelsesorden, at indholdet i slam og handelsgødning bør overvåges. Det kan ikke udelukkes, at udbringning af slam med det nuværende indhold af bly, cadmium og kviksølv, sammen med tilførslen fra andre kilder, på lang sigt kan medføre en uhensigtsmæssig stigning af de behandlede jorders indhold af disse metaller.

Dette understreger vigtigheden af fortsat at reducere brugen af bly, cadmium og kviksølv i det danske samfund. Indførelsen af

blyfri benzin har således allerede medvirket til at sænke indholdet af bly i luften. Derved reduceres den mængde bly, som havner på veje, pladser og hustage og derfra ender i slammet fra vores spildevandsanlæg.

I Tabel 5 er det beregnet, at der vil gå adskillige år før de angivne belastninger svarer til 1% af jordens nuværende tungmetallindhold. Når der tages hensyn til, at en vis mængde tungmetal forsvinder fra jorden ved planteoptag, udvaskning eller fordampning, bidrager ingen af de anførte kilder med så store mængder, at det vil være muligt at påvise nogen ændringer i jordernes indhold af tungmetaller efter fem år.

Med de nuværende belastninger må det derfor anbefales, at Kvadratnetundersøgelsen tidligst bliver gentaget om 10 år. I mellemtiden må det anbefales, at følge indholdet af tungmetaller i slam og gylle sideløbende med en opsporing af kilderne.

Nuværende tilførsel af tungmetaller til de danske landbrugs- og naturarealer er forholdsvis lille.

Sammenfatning

Som et led i en landsdækkende tungmetalundersøgelse indsamledes i perioden oktober 1992 til januar 1993 jordprøver fra 393 kvadratter på landbrugs-, skov- og naturarealer jævnt fordelt i Danmark. Derudover er der indsamlet prøver fra 20 udvalgte marker, som gennem en årrække har modtaget slam. Alle prøver er senere analyseret for arsen, bly, cadmium, kobber, krom, kviksølv, nikkel og zink.

Analyseresultaterne viser, at danske jorder generelt ikke indeholder kritiske mængder af tungmetaller. Variationen af tungmetalindholdet er dog ganske stor, og i enkelte tilfælde er der målt værdier, som ligger over de anbefalede jordkvalitetskriterier. Dette gælder især for nikkel, cadmium og kviksølv. De høje nikkelkoncentrationer skyldes primært naturlige forekomster.

Ønsket om at reducere brugen af cadmium og kviksølv i det danske samfund vil forhåbentlig bidrage til, at det nuværende niveau kan fastholdes eller formindskes. Arsens miljøpåvirkning er p.g.a. et mangelfuldt datagrundlag ikke vurderet i forhold til et økotoksikologisk jordkvalitetskriterium. Til sammenligning er det humantoksikologiske jordkvalitetskriterium derfor inddraget. Der er behov for yderligere undersøgelser af spredningen og effekterne af arsen, før en endelig vurdering kan foreligge.

Jordens tungmetalindhold synes primært at være styret af jordbundens sammensætning, idet jordens naturlige indhold af metaller kan forklare den altovervejende del af indholdet af krom, nikkel, zink og i mindre grad cadmium, kobber og arsen. Indholdet af kviksølv og bly er styret af andre forhold end jordtypen og må således primært tilskrives forurening. Det har ikke i denne undersøgelse været muligt at identificere

forureningskilder, idet forskelle i atmosfærisk nedfald, arealanvendelse, befolknings- tæthed og forbrug af gødning hverken alene eller samlet kan forklare de fundne variationer i jordens indhold af tungmetaller. Dette er ikke overraskende set i lyset af, at det totale indhold af tungmetaller i topjorden normalt er meget stort i forhold til de nuværende tilførsler. For de fleste tungmetalleres vedkommende vil der med den nuværende tilførsel gå adskillige år, før det svarer til 1% af jordens nuværende indhold.

Umiddelbart er tungmetalindholdet lavest på naturarealer, men da disse generelt befinder sig på mere sandede jorder end f.eks. agermarker, findes der ingen klar sammenhæng mellem tungmetalindholdet og arealanvendelsen. Det er i denne undersøgelse ikke muligt at se forskel på tungmetalindholdet i marker med og uden slamgødning.

Hovedkonklusionerne af denne første landsdækkende tungmetalundersøgelse er således, at tungmetaller ikke udgør et alvorligt miljøproblem i danske landbrugs- og naturjorder. Dette udelukker ikke, at der lokalt, f.eks. i byområder og på forurenede grunde, findes tungmetalkoncentrationer, der bør give anledning til bekymring. Da tungmetallerne ikke nedbrydes, og da de stadigt tilføres jorden fra luften og via gødnings- og slamudbringning, vil der være behov for løbende at følge tungmetalindholdet i de danske jorder. Herved kan eventuelle ændringer overvåges, og samtidigt kan det sikres, at de fastlagte jordkvalitetskriterier til stadighed overholdes på danske jorder uden for industri- og byområder. De nuværende tilførsler er så små i forhold til jordens totalindhold, at det må anbefales at Kvadratnetundersøgelsen tidligst gentages om 10 år.

Heavy metals in Danish Soils

English summary

This report includes the results from a Danish heavy metal monitoring programme, as well as a short introduction of the fate and effects of heavy metals in the terrestrial environment. In the winter of 1992/93 393 soil samples were collected in a grid-net system throughout Denmark. The grid-net does not include soil samples from urban areas or contaminated sites. For comparison twenty fields with sewage sludge application were selected. The samples were analysed for arsenic, cadmium, chromium, copper, lead, mercury, nickel and zinc.

The results show that Danish soils in general do not contain critical amounts of heavy metals. However, the variation is considerable and in a few cases heavy metal concentrations are higher than the Danish Soil Quality Criteria. Most values found above the quality criteria were for nickel, cadmium and mercury, i.e. 18.0, 11.9 and 8.6% (Table 1, page 15). The heavy metal concentrations in Danish soils are comparable with soil concentrations in Sweden, England, The Netherlands and Germany (Table 2, page 27).

Although natural ecosystems appear to have lower concentrations, variation in soil texture can explain most of the observed variation. The agricultural areas in Denmark are normally situated on clayey and organic soils, which generally have higher metals concentrations than sandy soils. No clear differences in the heavy metal concentrations could be attributed to land use once variation in soil texture were accounted for.

The heavy metals are unevenly distributed in Denmark, with the highest concentrations of chromium, copper, nickel and zinc found in the clayey soils of the islands Funen and Zealand as well as on the east coast of Jutland. Cadmium, lead and

mercury are more evenly distributed (Figure 1a-1h).

The heavy metal concentrations are best correlated to the soil texture (Table 3, page 30). Chromium, nickel and zinc concentrations are strongly correlated while cadmium, copper and arsenic concentrations are less correlated to the soil texture. Neither lead nor mercury concentrations are correlated to soil texture. No other factor was related to the heavy metal content in Danish soils as tested by correlation analyses. This is most likely due to the fact that the present deposition of heavy metals is very small compared to the heavy metal concentration of the soil. Table 5, page 33, shows how many years of deposition are needed to equal 1% of the present total concentration of heavy metals in Danish soils. Sewage sludge is the dominating source of most of the heavy metals on fields which receive sewage sludge every year. Only 4-5% of the agricultural areas in Denmark are fertilized with sewage sludge. The current load of most of the metals is very small. Furthermore, leaching, evaporation, and uptake by plants will reduce the risk of heavy metal accumulation. Nevertheless, it cannot be excluded that the load of cadmium, lead, and mercury from sewage sludge, together with other sources, on a long term basis may cause concern. Therefore, it is very important to continue the effort to reduce the consumption of these metals in Denmark and in Europe.

The results from the monitoring programme indicates that heavy metals are not an urgent environmental problem outside the urban areas in Denmark. Based on the present accumulation of heavy metals in Danish soils it is recommended to repeat the monitoring programme in 10 years.

Litteratur

- /1/ Tjell J.C. og Hovmand M. F. (1978). Metal concentrations in Danish Arable Soils. Acta Agriculture Scandinavia, vol. 28, p. 81-89.
- /2/ Miljøstyrelsen (1991). Monitoringsprogram for tungmetaller i dyrknings- og naturjord. Forundersøgelse til Kvadratnetundersøgelsen. Projekt rapport fra Hedeselskabet.
- /3/ Larsen, M.M., Bak, J., Scott-Fordsmand, J.J. (1996). Monitoring af tungmetaller i danske dyrknings- og naturjorder. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU, nr. 157.
- /4/ Miljøstyrelsen (1985). Forbrug og forurening med arsen, chrom, cobalt og nikkel. Orientering nr. 7.
- /5/ Miljøstyrelsen (1995). Tungmetaller. Redegørelse nr. 1.
- /6/ Miljøstyrelsen (1993). Forbrug og forurening med cadmium. Miljøprojekt nr. 213.
- /7/ Miljøstyrelsen (1995). Økotoxikologiske jordkvalitetskriterier. Projekt om jord og grundvand nr. 13.
- /8/ Miljøstyrelsen (1995). Soil Quality Criteria for selected inorganic compounds. Arbejdsrapport nr. 48.
- /9/ Miljøstyrelsen (1995). Toksikologiske kvalitetskriterier for jord og drikkevand. Projekt om jord og grundvand nr. 12.
- /10/ Ingvar Bingman (1987). Tungmetaller – forekomst och omsättning i naturen”. Naturvårdsverket Informere. Monitor serien fra Programmet for overvågning af miljøkvalitet (PMK). Statuens Naturvårdsverk. (ISBN 91-620-1027-1).
- /11/ Archer, F.C., Hodgson, I.H. (1987). Total and extractable trace element contents of soils in England and Wales. Journal of Soil Science vol. 38, p. 421-431.
- /12/ Van Driel W. and Smile KW. (1982). Heavy metal contents of Dutch arable soils. Landwirtschaft. Forsch. Sonderh., vol. 38, p. 305-313.
- /13/ Joint Federal-States Working Group for Soil Protection (LABO) (1995). Soil background and reference values in Germany. Report.
- /14/ Rühling, Å., Rasmussen, L., Pilegaard, P., Mäkinen, A. and Steinnes, E. (1987). Survey of atmospheric heavy metal deposition in the Nordic countries in 1985 – monitored by moss analyses. – NORD, vol. 21, 44 pp. Göteborg.
- /15/ Danmarks Statistik (1992). Statistisk Årbog.
- /16/ Miljøstyrelsen (1987). Kviksvævedegørelsen. Redegørelse nr. 5.
- /17/ Landskontoret for Planteavl (1995). Håndbog for plantedyrkning.
- /18/ Rühling, Å., Mäkinen, A., Rasmussen, L. and Steinnes, E. (1992). Atmospheric heavy metal deposition in Northern Europe 1990. – NORD, vol. 12, 41 pp. Århus.
- /19/ Lamm, C.G. (1971). Det danske jordarkiv. Tidsskrift for Planteavl, vol. 75, p. 703-720.
- /20/ Tjell, J.C., Christensen, T.H. (1986). Retrospektiv udvikling i dyrkningsjordens indhold af spormetaller. Datarapport til Miljøstyrelsens center for Jordøkologi. Laboratoriet for teknisk hygiejne, DTU, Lyngby.
- /21/ Miljøstyrelsen (1995). Notat vedrørende slam fra oktober 1995. Miljøstyrelsen, Hav- og Spildevandskontoret.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser – DMU – er en forskningsinstitution i Miljø- og Energi- ministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Direktion og Sekretariat</i>
Postboks 358	<i>Forsknings- og Udviklingssektion</i>
Frederiksborgvej 399	<i>Afd. for Atmosfærisk Miljø</i>
DK-4000 Roskilde	<i>Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi</i>
Tlf. 46 30 12 00	<i>Afd. for Miljøkemi</i>
Fax 46 30 11 14	<i>Afd. for Systemanalyse</i>
	<i>Afd. for Arktisk Miljø *</i>

* Indtil der er etableret faciliteter i Roskilde:
Tagensvej 135, 4. sal, DK-2200 København N
Tlf. 35 82 14 15, Fax 35 82 14 20

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Afd. for Vandløbsøkologi</i>
Postboks 314	<i>Afd. for Sø- og Fjordøkologi</i>
Vejlsøvej 25	<i>Afd. for Terrestrisk Økologi</i>
DK-8600 Silkeborg	
Tlf. 89 20 14 00	
Fax 89 20 14 14	

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Afd. for Landskabsøkologi</i>
Grenåvej 12, Kalø	<i>Afd. for Kystzoneøkologi</i>
DK-8410 Rønde	
Tlf. 89 20 14 00	
Fax 89 20 15 14	

DMU udgiver følgende publikationer:

- Faglige rapporter
- Tekniske anvisninger
- TEMA-rapporter
- R&D Projects
- Årsberetninger

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer. Årsberetning samt en opdateret oversigt over årets publikationer fås ved henvendelse på telefon: 46 30 12 00.

Tidligere udgivelser · serien TEMA-rapporter fra DMU

- Nr. 1994/1: Kvælstoftilførsel til Limfjorden
Af Brian Kronvang m.fl., 16 sider, Kr. 50,-
- Nr. 1994/2: Luftforurening i danske byer
Af Kåre Kemp og Finn Palmgren, 42 sider, Kr. 100,-
- Nr. 1995/3: Ozon som luftforurening
Af Jes Fenger, 48 sider, Kr. 80,-

