

546.48
B51

Cadmiumforurening

**En redegørelse om
anvendelse, forekomst
og skadevirkninger af
cadmium i Danmark**

Oktober 1980

Miljøministeriet

miljøstyrelsen · Strandgade 29 · 1401 København K · Tlf. (01) 57 83 10

Cadmiumforurening

En redegørelse om anvendelse, forekomst og skadevirkninger af cadmium i Danmark

Oktober 1980

MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K

Miljøministeriet

miljøstyrelsen · Strandgade 29 · 1401 København K · Tlf. (01) 57 83 10



trykt på genbrugspapir

ISBN 87-503-3442-5

Stougaard Jensen/København

Fu 00-166

Indhold

Forord	5
Resume og konklusioner	7
Anbefalinger	11
English summary	13
1. Indledning	17
2. Produktion og anvendelse af cadmium	18
2.1. Udvinning af cadmium	18
2.2. Industriel anvendelse af cadmium	18
2.3. Cadmium som følgestof	22
2.4. Nuværende forbrug af cadmium i Danmark	23
2.5. Muligheder for mindskning af cadmiumforbruget	24
3. Udslip af cadmium til omgivelserne	27
3.1. Ved industrielle processer	27
3.2. Ved energiproduktionen	28
3.3. Ved bortskaffelse af cadmiumholdigt affald	29
3.4. Ved anvendelse af cadmiumholdige produkter	31
3.5. Samlet oversigt over udslip til omgivelserne i Danmark	31
3.6. Muligheder for mindskning af udslip til omgivelserne	33
4. Cadmiums forekomst og skadevirkninger i omgivelserne	37
4.1. Cadmium i luft	37
4.2. Cadmium i jord	40
4.3. Cadmium i vand	51
4.4. Sammenfatning	58
5. Danmarks cadmiumbalance	63
6. Kilder til befolkningens indtagelse af cadmium i Danmark	65
6.1. Levnedsmidler	65
6.2. Drikkevand	67
6.3. Keramik og plast	68
6.4. Tobak	69
6.5. Atmosfærisk luft	69
6.6. Arbejds miljøet	69
6.7. Vej- og husstøv	70
6.8. Sammenfatning	70
6.9. Udviklingstendenser i befolkningens cadmiumindtagelse	71

7. Cadmiums giftvirkninger overfor mennesker	75
7.1. Cadmiums optagelse og fordeling i mennesker	75
7.2. Cadmiums sundhedsskadelige virkninger	77
7.3. Cadmium i danskeres nyrer	79
7.4. Kritisk koncentration af cadmium i nyrerne	82
7.5. Skøn over befolkningens fremtidige cadmiumbelastning	83
7.6. Sammenfatning	85
Liste over medarbejdere	88
Ordliste	89

Forord

Nærværende redegørelse om cadmiumforureningen i Danmark er resultatet af et omfattende udredningsarbejde, der blev igangsat i efteråret 1979 på baggrund af en voksende national og international erkendelse af, at cadmium bør betragtes som en meget farlig miljøgift.

Redegørelsen skal bl.a. tjene som et grundlag for miljøstyrelsens igangværende overvejelser om behovet for en regulering af anvendelsen af cadmium i Danmark i forbindelse med lov om kemiske stoffer og produkter, som træder i kraft 1. oktober 1980.

Miljøstyrelsen, september 1980

Jens Kampmann

Resumé og konklusioner

Cadmium i danskere

Cadmium (Cd) er klassificeret som et meget giftigt tungmetal, hvis forurening af naturen er voksende og foruroligende. Det har ingen kendt nødvendig biologisk funktion i organismen, men virker allerede i små mængder skadeligt for lunger, knoglesystem og især for nyrerne. Det er ligeledes mistænkt for at kunne være medvirkende årsag til forhøjet blodtryk og kræft.

De første tegn på nyreskader forårsaget af cadmium viser sig ved en forøget forekomst af proteiner i urinen. Den kritiske koncentration for opståen af nyreskader menes normalt at være 200 mg cadmium pr. kg våd nyrebark. Nye undersøgelser tyder imidlertid på, at selv koncentrationer under 100 mg/kg kan være problematiske.

Da cadmium udskilles uhyre langsomt fra organismen, sker der en stigende ophobning af cadmium i nyrerne til omkring 50-års alderen. Efter 50-års alderen udviser nyreindholdet en faldende tendens. Årsagerne hertil er tildels ukendte.

Cadmiumindholdet i nyrerne viser en betydelig individuel variation, blandt andet afhængig af folks spise- og rygevaner. For 50-årige danskere er der fundet et gennemsnitsindhold på omkring 40 mg cadmium pr. kg nyrebark. For ikke-rygere er indholdet dog kun omkring det halve. De danske niveauer er lavere end de amerikanske og centraleuropæiske, men højere end de svenske (fig. 7.1). Cadmiumindholdet i nyrebarken hos den 50-årige danske gennemsnitsbefolkning er af en sådan størrelse, at der kun er en gennemsnitlig sikkerhedsmargen på omkring 5 i forhold til det niveau, der i dag anses for at kunne medføre sundhedsmæssige problemer.

På baggrund af de individuelle forskelle i indtagelse af cadmium og i ophobning af cadmium i nyrerne kan det anslås, at med det nuværende belastningsniveau har mellem 1000 og 30.000 danskere overskredet det cadmiumniveau, som medfører en uønsket nyrepåvirkning.

Der sker en fortsat årlig øgning af cadmiumindholdet i landbrugsjorden på ca. 0,8% af det nuværende niveau. Det kan derfor forventes, at indholdet af cadmium i levnedsmidlerne vil øges gradvist i de kommende årtier (fig. 6.1). Det vil betyde, at en voksende del af befolkningen fremover vil overskride den kritiske koncentration af cadmium i nyrebarken. En begrænsning af cadmiumforureningen kan modvirke denne udvikling.

Befolkningen udsættes især for cadmium gennem kosten (herunder afsmitning fra keramik), ved tobaksrygning, i arbejdsmiljøet og fra luftforurening. For normaldanskeren er kosten den vigtigste cadmiumkilde med 30 µg/dag. Mest cadmium indtages der med kartofler, grøntsager, kornprodukter og indmad (tabel 6.1). 5-6% af den indtagne mængde optages i organismen via mave-tarmkanalen.

Personer med specielle spisevaner, f.eks. et stort forbrug af oksenyre, skaldyr eller

vilde champignon, kan have en betragtelig forhøjet cadmiumindtagelse på op til 190 $\mu\text{g}/\text{dag}$. Verdenssundhedsorganisationen (WHO) har foreslået en grænse i form af en provisorisk tolerabel ugentlig indtagelse af cadmium på 400-500 μg – svarende til ca. 60 $\mu\text{g}/\text{dag}$. Det må således konstateres, at en del af befolkningen kan indtage mere cadmium, end WHO tilråder. De nyeste forskningsresultater vil muligvis gøre det påkrævet af nedsætte denne foreløbige WHO-grænseværdi, der er fra 1972.

Ikke kun kosten er af betydning for cadmiumindtagelsen. En person, der ryger 20 cigaretter dagligt, indånder 2-4 μg cadmium i form af de helt små røgpartikler, som i meget høj grad (~35%) optages i lungerne. For en storryger kan optagelsen af cadmium ved rygning således blive større end den normale optagelse med kosten (tabel 7.1). Den sundhedsmæssige risiko ved cadmium er endnu et argument imod tobaksrygning. Betydningen af passivrygning for belastning med cadmium er ikke kendt.

Anvendelsen af cadmium i Danmark

Det årlige forbrug i Danmark af cadmium og cadmiumforbindelser til industriprodukter er på ca. 57 tons cadmium. De vigtigste anvendelser er som pigmenter og som stabilisatorer i plast. Vigtig er også anvendelsen i legeringer og nikkel-cadmium akkumulatører. Desuden findes ca. 20 tons cadmium som følgestof i det årlige forbrug af zink, kul, olie og handelsgødning. (tabel 2.1 og fig. 2.2).

Anvendelsen af cadmium til overfladebehandling og lodning er i kraftig tilbagegang blandt andet på grund af, at myndighederne i det sidste tiår har skærpet kravene til spildevand og arbejdsmiljø. Det synes teknisk og økonomisk muligt i løbet af nogle år at reducere hovedparten af cadmiumanvendelserne ganske betragteligt.

Cadmium forekommer sammen med zink i naturen og fremstilles kommercielt som biprodukt ved zinkudvindingen. Zink kan ved rensning opnå forskellig renhed. Den mest anvendte zinkkvalitet indeholder i dag omkring 0,01% cadmium. Det synes teknisk muligt og økonomisk realistisk at nedsætte cadmiumindholdet i zink til under 0,003%.

Der findes ikke tilgængelige data om indholdet af cadmium i kul og olie, der importeres til Danmark. Udfra litteraturangivelser må der anslås at være 1 ppm cadmium i kul og 0,05-0,23 ppm cadmium i tunge olieprodukter. Den årlige import af kul er 6-7 mio. tons, og forbruget af tunge olieprodukter er ca. 15 mio. tons, så på denne måde tilføres der Danmark ca. 7-10 tons Cd/år.

Fosfatgødning fremstilles udfra råfosfat med forskelligt naturligt indhold af cadmium. Tidligere var gødningsprodukterne i Danmark hovedsagelig baseret på råfosfat fra Kola-halvøen, som har et meget lavt cadmiumindhold. På grund af indførte eksportforbud er man nu henvist til råfosfat fra forekomster med et højere indhold af cadmium og andre sporstoffer. Det synes muligt at mindske cadmiumindholdet i visse gødninger ved at ændre på fremstillingsprocessen.

Forurening med cadmium i Danmark

Indholdet af cadmium i luften i Danmark er relativt lavt, normalt måles årsmiddelværdier under 3 ng/m^3 og døgnmiddelværdier under 5 ng/m^3 . Der er ingen tydelig forskel mellem land og by.

Gennemsnitsnedfaldet af cadmium (opsamlet med tragt) fra luft i danske landdistrikter er årligt $0,2 \text{ mg Cd/m}^2$, svarende til 9 tons pr. år over hele landet. Der er observeret enkelte særligt belastede områder f.eks. ved Glostrup og Frederiksværk, hvor nedfaldet er op til 30 gange landsgennemsnittet.

Det er ved nedfaldsundersøgelser med tragt samt ved måling af cadmiumindholdet i mosser og laver konstateret, at nedfaldet er omtrent dobbelt så stort i det sydøstlige Danmark som i det nordvestlige Danmark (fig. 4.1). Den totale tilførsel af cadmium med atmosfæren i Danmark er ialt omkring 13 tons Cd/år. Den konstaterede forskel mellem emission og tilførsel antyder en betydelig transport af cadmium (6-10 tons/år) med luftmasserne fra Centraleuropa.

Udslip af cadmium til luft fra danske aktiviteter andrager ca. 5 tons pr. år (tabel 3.3). Den vigtigste forureningskilde er affaldsforbrænding. Her er det især affaldets indhold af cadmium-farvet og -stabiliseret plast samt nikkel-cadmium akkumulatorer, der er skyld i denne forurening.

Årligt produceres 1,5 mio. tons husholdningsaffald i Danmark med et gennemsnitligt indhold på 9 mg Cadmium/kg . Omkring 1,1 mio. tons af affaldet forbrændes. Det betyder en tilførsel af 9 tons cadmium og et udslip på omkring 2,2 tons Cd/år. En frasortering af de mest cadmiumholdige produkter fra affaldet samt en bedre røgrønsning kan anslås at kunne mindske det årlige udslip til ca. 0,6 tons. Afbrænding af kul og olie fører til et udslip af størrelsesorden 1 ton cadmium pr. år. Den voksende anvendelse af kul i de kommende år kan betyde en kraftig øgning af dette udslip, hvis ikke der sker en forbedring af de filtre, der anvendes ved røgrønsning. Problemet er, at cadmium har en tendens til at koncentreres på de meget små partikler, der vanskeligt opfanges af de nuværende filtersystemer.

Afbrænding af udtjente telefon- og el-kabler samt af bilskrot udgør ligeledes en betydelig luftforureningskilde med 1,2 tons Cd/år. Disse afbrændinger er ikke teknologisk nødvendige og kan erstattes af en mere miljøvenlig håndtering.

I typisk dansk landbrugsjord er der i pløjelaget i gennemsnit $0,22 \text{ mg cadmium pr. kg}$. Det svarer til 660 g cadmium pr. hektar. Dette niveau finder man også i de andre nordiske lande.

Den største tilførsel af cadmium til landbrugsjorden (3 g/ha/år) kommer fra handelsgødninger. Det atmosfæriske nedfald opsamlet i tragt svarer til 2 g/ha/år , hvortil der formentlig skal lægges 1 g/ha/år afsat på vegetationen (fig. 4.2.). Udbringning af cadmiumholdigt spildevandsslam som jordforbedringsmiddel kan lokalt betyde en væsent-

lig cadmiumtilførsel. Totalt på landbrugsjorden som helhed svarer denne tilførsel til 0,1 g/ha/år.

Nedsivning og afstrømning af cadmium, der er de vigtigste fraførsler, anslås at fjerne 0,5 g/ha/år fra dyrkningsjord. Den store forskel mellem tilførsel og fraførsel af cadmium i landbrugsjorden betyder, at der sker en årlig gennemsnitlig stigning i cadmiumindholdet på 0,8% af det nuværende indhold. Denne stigning i jordens cadmiumindhold vil afspejles i planterne på grund af cadmiums store tendens til at blive optaget i planter. Dette vil fremover betyde, at afgrødernes indhold af cadmium vil være svagt stigende.

De hidtil udførte nyere analyser af havvand fra de danske marine områder tyder ikke på nogen speciel cadmiumbelastning. De fundne koncentrationer ligger i området 0,03–0,10 µg Cd/l. Danske sedimentundersøgelser viser dog forhøjede cadmiumkoncentrationer (over 5 mg Cd/kg tørstof) omkring en række kystbyer og havneområder. Cadmiumniveauerne i marine organismer er generelt lave og giver ikke baggrund for at antage, at danske havområder skulle være specielt cadmiumbelastede.

De marine organismer, der kan være kritiske med hensyn til et indhold af cadmium, er bløddyrene (muslinger og snegle). Således kan bløddyr fra stærkt belastede områder akkumulere betydelige mængder cadmium, men påvirkes tilsyneladende ikke selv heraf. Imidlertid kan cadmiumbelastede bløddyr udgøre en fare for f.eks. vadefugle og dykænder, som kan indtage store mængder snegle og muslinger. Generelt er indholdet af cadmium i danske blåmuslinger lavt. Enkelte steder i Limfjorden og Køge Bugt er der dog fundet niveauer på 5 til 10 mg Cd/kg tørstof i blåmuslinger, og i nærheden af et tidligere cadmiumbelastet spildevandsområde var niveauet over 10 mg/kg. Disse niveauer af cadmium i muslinger udgør et levnedsmiddelhygiejnisk problem.

Cadmium er væsentligt mere giftigt i ferskvand end i havvand. I de danske ferske vande er der ikke blevet påvist nogen speciel cadmiumbelastning. Cadmium tilføres til de ferske vande hovedsagelig med kommunalt spildevand (se fig. 4.9). Hovedparten transporteres fra de ferske vande til marine områder.

Det atmosfæriske nedfald, svarende til 9 tons/år, bidrager med over halvdelen af cadmiumtilførslen til de danske marine områder indenfor Skagen. Den direkte industriudledning til marine områder er ca. 0,8 tons/år. Fra 1985 vil udledningen være reduceret til 0,3 tons/år. Der tilføres 5 tons/år cadmium til spildevand, hovedsagelig fra mange små og diffuse kilder, som vanskeligt kan kontrolleres. En mekanisk-biologisk rensning af alt spildevand vil kun reducere den udledte cadmiummængde med ca. 0,7 tons/år. Der må imidlertid forventes et fald i tilførslerne, efterhånden som man går bort fra cadmiering, og efterhånden som galvaniserede genstande udskiftes med nyere galvaniserede emner, hvor der er anvendt zink med et lavere indhold af cadmium.

Anbefalinger

På baggrund af

- at cadmium er yderst giftigt for mennesker og dyr,
- at der kan konstateres en stigende forurening af vore omgivelser, specielt jorden, med cadmium,
- at cadmium i voksende omfang ophobes i menneskers nyrer,
- at disse tendenser kan forventes at fortsætte i de kommende år, hvis der ikke iværksættes foranstaltninger, som kan vende udviklingen,

bør der såvel, nationalt som internationalt, i de kommende år tilstræbes en omstilling til anvendelse af cadmiumfrie produkter og iværksættes en skærpet kontrol med cadmiumudledningerne til omgivelserne.

Det må derfor anbefales, at der, under hensyntagen til de administrative, teknologiske og økonomiske muligheder, iværksættes begrænsninger af anvendelser og udledninger af cadmium i Danmark.

Følgende konkrete muligheder kan anvises eller må undersøges:

- anvendelsen af cadmium som pigment bør indskrænkes til enkelte, strengt nødvendige områder,
- anvendelsen af cadmium som stabilisator i plast bør erstattes af andre stabilisatorer,
- anvendelsen af cadmium til lodning og overfladebehandling bør indskrænkes til få, nødvendige områder,
- anvendelsesområdet for nikkell-cadmium akkumulatører bør kortlægges og en mærknings- og indsamlingsordning overvejes,
- på baggrund af det stigende kulforbrug i kraftværker må mulighederne for at indføre forbedrede rensningsmetoder for røggasser undersøges,
- der bør indføres forbedrede rensningsmetoder for røggasser fra affalds- og slamforbrændingsanlæg,
- der bør iværksættes undersøgelser vedrørende mulighederne for at nedsætte indholdet af cadmium i handelsgødning.

En iværksættelse af disse foranstaltninger må kombineres med mere specifikke indgreb overfor lokale udslip. Dette, og den teknologiske udvikling iøvrigt, vil skønmæssigt kunne medføre en reduktion af cadmiumanvendelsen med ca. 43 tons årligt svarende til godt 50% af det nuværende forbrug, samt en reduktion af cadmiumudslippet til luft i Danmark på 3 tons pr. år, svarende til en reduktion på 60% af udslippet i 1979. En begrænsning af luftudslippet er særligt vigtig på baggrund af luftens betydelige bidrag til landbrugsjordens og dermed fødevarernes cadmiumindhold. Ligeledes vil en reduktion af cadmium i handelsgødning kunne medføre en betragtelig reduktion af landbrugsjordens belastning.

En sådan betydelig begrænsning af cadmiumforureningen i Danmark vil formindske cadmiumniveauerne i luft og vand, og ganske betragteligt mindske stigningstakten i

landbrugsjordens cadmiumindhold. Dette vil samtidig mindske stigningen i befolkningens cadmiumbelastning. En fortsat forskning i sammenhængen mellem forurening med cadmium og effekter på sundheden og miljøet er dog nødvendig for at afklare, om der derved opnås en tilstrækkelig reduktion i cadmiums skadelige effekter.

I betragtning af, at en betydelig mængde cadmium importeres til Danmark i produkter, som meget vanskeligt kan kontrolleres nationalt, samt i betragtning af, at den væsentligste kilde til cadmiumnedfald fra luften er langtransporteret cadmium fra de central-europæiske industriområder, er det iøvrigt ønskeligt, at man fra dansk side arbejder for en skærpet international kontrol med anvendelsen og forureningen med cadmium.

English Summary

Cadmium in Denmark

Over the last years, the environmental pollution by cadmium, a metal presenting serious health hazards and environmental risks, has caused growing concern.

In Denmark, the cadmium situation has been studied by a working group, reporting to the National Agency of Environmental Protection. This report presents the findings of the working group.

Cadmium in Danes

In man, cadmium is harmful to lungs, bone tissue and in particular to the kidneys. Since cadmium excretion from the body is extremely slow, the cadmium load builds up particularly in the cortex of the kidneys, reaching a maximum in persons approximately 50 years old.

The average concentration of cadmium in 50-year old Danes is 40 mg/kg of kidney cortex. The concentration varies considerably, depending i.a. on eating and smoking habits (the concentration in non-smokers being approximately half the concentration in smokers).

The threshold value for kidney damage is usually assumed to be 200 mg Cd/kg of kidney cortex. Recent reports suggest that malfunctions may actually occur at lower levels, possibly under 100 mg/kg kidney cortex.

The differences in daily intake and retention by the organism lead to the estimate that somewhere between 1000 and 30.000 Danes have cadmium levels in the cortex of the kidneys in excess of the critical level of 200 mg/kg. Since the daily intake, which on the average is 32 μg /person/day, is expected to increase steadily, a growing number of people may reach harmful levels of cadmium in the kidneys. For this reason it is found necessary to take steps to reduce the exposure to cadmium.

Cadmium in food and soil

The main sources of cadmium are food, tobacco, air pollution and occupational exposure. Food, in particular vegetables, is the most important source of cadmium intake for the average Dane.

Vegetable take up cadmium from the soil. The present level of cadmium in arable soil is approx. 600 g/hectare in the top layer (0-25 cm). At present, the annual load of cadmium to agricultural soil causes the 1978 level to increase in average 0.8% per year.

As the plant availability of cadmium in soils is nearly proportional to the concentration, this slow increase in soil cadmium leads to a similar increase in cadmium in agricultural crops.

The cadmium deposition – 5–6 g/hectare/year – comes from two main sources:

- deposition from the air, and
- fertilizers,

each representing approximately 3 g/hectare/year.

Cadmium in air

The cadmium deposited from the air comes in part from sources in Denmark, in part from other countries.

Sources in Denmark emit ~ 5 tons/year of cadmium into the air. The total deposition on land is ~ 13 tons/year. Main sources of cadmium to air are municipal waste incinerators (~ 2 tons/year), power plants using fossil fuels (~ 1 ton/year), and metal scrap recovery burning (~ 1 ton/year).

Average levels of cadmium in the air are relatively low (3 ng/m³, annual means).

Cadmium in water

Cadmium levels in inland and coastal waters are on the average low, the exemption being areas close to some coastal towns with e.g. metal plating or electronic industries. In a few of these areas, blue mussels are found with relatively high cadmium levels (5–10 mg/kg dry matter).

Main sources of cadmium are deposition from air (~ 9 tons/year) and sewage (~ 5 tons/year). Cadmium in sewage water comes from a large number of sources of a diffuse nature. It is expected to decrease, e.g. as cadmium electroplating gradually disappears.

Cadmium consumption

Yearly consumption of cadmium and cadmium compounds in Denmark is 57 tons. Main uses are in pigments and stabilizers, alloys and Ni-Cd batteries. Significant amounts of cadmium, 20 tons/year, are imported as impurities in zinc, oil, coal and fertilizers.

As mentioned, 5 tons are discharged with sewage, 5 tons are discharged into the air, 8 tons/year are deposited on cultivated land, and ~ 30 tons/year are deposited in landfills, etc. The remainder is either exported or incorporated into the cadmium pool in the Danish society.

Recommendations

Based on the above results it is the opinion of the working group that it is absolutely necessary to reduce the increasing exposure of man to cadmium.

It is recommended to obtain this reduction i.a. by *reducing the use* of cadmium, in particular in pigments, stabilizers and cadmium plating, by *establishing a recycling system* for Ni-Cd-batteries and by improving *cadmium removal from* incinerators and power plant flue gases.

It is expected that these and other measures can lead to a reduction in the use of cadmium and in the emission of cadmium into the air by 50-60% each.

Whether this in turn leads to a satisfactory reduction of the daily intake of cadmium by man remains to be seen.

1. Indledning

Cadmium – med kemisk betegnelse Cd – er et metal, der hører til i gruppen af tungmetaller, sammen med blandt andet bly og kviksølv. Cadmium og dets kemiske forbindelser er giftige. Da cadmium endvidere kan ophobes i levende organismer, herunder mennesker, er samfundets anvendelse af cadmium i de seneste år kommet kraftigt i søgelyset i en række lande.

Cadmiums farlighed blev understreget i Japan i 1960'erne, hvor en befolkningsgruppe blev ramt af den såkaldte Itai-Itai syge, der gav sig udslag i invaliderende knogleforandringer og nyreskader. Den udløsende faktor blev påvist at være indtagelse af drikkevand og ris forurenede med cadmium stammende fra en mineindustri.

Man har i flere lande set lignende alvorlige forgiftningstilfælde ved forekomst af cadmium i arbejdsmiljøet.

I takt med den voksende erkendelse af cadmiums skadelighed er der i mange lande iværksat foranstaltninger for at begrænse cadmiums forekomst i arbejdsmiljøet og i naturen. Bl.a. er cadmium optaget på giftlister, og cadmium optræder på forbudslisten (liste I) i EF-direktivet om begrænsning af udledninger af forurenende stoffer til vandmiljøet. En tilsvarende klassificering af cadmium forekommer i forskellige havforureningskonventioner.

På trods af disse foranstaltninger synes der i disse år i alle lande at ske en forøgelse af koncentrationen af cadmium i naturen, specielt i landbrugsjorden, og et tilsvarende stigende indhold af cadmium i basislevnedsmidlerne. Da indtagelse af selv små mængder cadmium dagligt bevirker en stigende ophobning af cadmium i den menneskelige organisme, kan dette i løbet af en årrække bringe cadmiumkoncentrationen i kroppen op på et skadeligt niveau.

I de senere år er der sket en begrænsning i udslippet fra de industrielle punktkilder. Da det samlede forbrug af cadmium, blandt andet som farvestof og som stabilisator i plast, fortsat er steget, er der imidlertid samtidig sket en forøgelse i de mere spredte udslip ved bortskaffelse af affald.

Dette er baggrunden for, at de svenske myndigheder i december 1978 fremsatte forslag om at forbyde anvendelsen af cadmium i de fleste industri- og forbrugerprodukter. Forbudet skal træde i kraft 1. juli 1982.

Denne udredning om cadmium i Danmark skal blandt andet ses i lyset af den voksende internationale bekymring over forureningen med cadmium. Formålet med udredningen er at opstille en massebalance for cadmium i Danmark, samt at vurdere udviklingstendensen i naturens og befolkningens belastning med cadmium som baggrund for miljømyndighedernes stillingtagen til iværksættelse af eventuelle yderligere reguleringer af anvendelsen af cadmium og af udledning af cadmium i Danmark.

I udredningen behandles i kapitel 2 de teknologiske anvendelser af cadmium, og i kapitel 3 kilderne til cadmiumforurening af omgivelserne. I kapitel 4 redegøres for cadmiumniveauerne i omgivelserne samt cadmiums skadevirkning på plante- og dyreliv. En samlet massebalance opstilles i kapitel 5. I kapitel 6 og 7 redegøres for befolkningens indtagelse af cadmium og de sundhedsskadelige effekter af stoffet.

I forbindelse med cadmiumudredningen er der udarbejdet en bilagsrapport af Erik Hansen, som mere detaljeret behandler kilderne til cadmiumforureningen i Danmark, og en bilagsrapport (på engelsk) om cadmiums skadevirkning i vandmiljøet, forfattet af Arne Jensen og Flemming Møhlenberg.

2. Anvendelse og produktion af cadmium

2.1. Udvinning af cadmium

Cadmium er et relativt sjældent grundstof, som i naturen forekommer sammen med zink. Da zink forekommer i næsten alle bjergarter, vil cadmium kunne findes overalt, omend de naturlige koncentrationer er meget små.

Geologisk set forekommer cadmium primært som mineralet greenockit (CdS) sammen med sphalerit, zinkblende (ZnS) evt. blandet med blyglans, kobberkis og svovlkis. Cadmium/zink-forholdet i disse forekomster varierer normalt mellem 0,3 og 1% med et gennemsnit på 0,5% [6].

Cadmium udvindes fortrinsvis ved rensning af zinkmalme og må økonomisk set betragtes som et biprodukt ved zinkfremstilling.

Hovedproducenter af cadmium er nævnt efter størrelse; USA, USSR og Japan. Endvidere finder oparbejdning af malme sted i flere europæiske lande. I Grønland foretages udvinning af zinkmalm, som exporteres, idet der ikke er oparbejdningsanlæg i Grønland. Verdensproduktionen af metallisk cadmium var i 1977 på ca. 18.000 tons [3].

2.2. Industriel anvendelse af cadmium

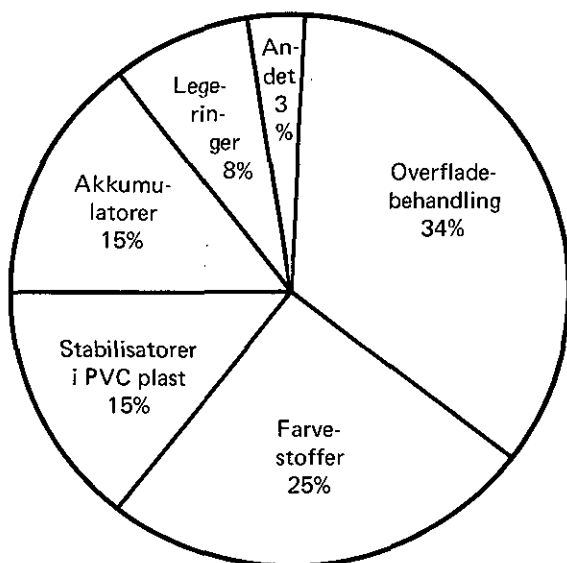
Cadmium anvendes til mange formål, omend nogle få er klart dominerende. Se fig. 2.1.

I det følgende gennemgås de vigtigste anvendelser for cadmium, og mulighederne for at erstatte cadmium. Denne gennemgang er baseret på [1]. Det nuværende forbrug i Danmark er opgjort i afsnit 2.4 og fremgår iøvrigt af figur 2.2 side 26.

Overfladebehandling

Cadmium er et sølvhvidt, relativt blødt og bøjeligt metal med en god korrosionsbestandighed i luft og saltvand. Endvidere er cadmium en god leder af elektrisk strøm samt let at lodde på. Disse egenskaber er primært årsag til, at cadmium er meget an-

Fig. 2.1: Cadmiums anvendelse på verdensplan 1976-77 [3].
World use pattern of cadmium.



vendt som overfladebehandling af jern og stål. Belægningen påføres normalt ved elektrolyse, og selve processen betegnes i Danmark som cadmiering.

De vigtigste anvendelsesområder for cadmiering er:

- flyvemaskindele, (bolte og møtrikker, stål, der skal sammenføjes med aluminium, samt hårdt belastede flydele såsom landingsstel,
- bildele, (hjulbolte og billåse).
- elektronisk udstyr, (chassiser og strømførende smådele).

Herudover anvendes cadmiering bl.a. til vaskemaskiner og produkter udsat for saltvand, men cadmiering kan iøvrigt anvendes næsten overalt, hvor der er brug for en korrosionsbestandig overfladebehandling af jern og stål.

I Danmark er anvendelsen af cadmiering mindsket betydeligt i de senere år bl.a. på grund af strengere krav til spildevandsudledning. På verdensplan er cadmiering dog stadig den anvendelse, som tegner sig for det største forbrug af cadmium. Det vigtigste alternativ til cadmium er zink, og til de fleste formål er det i dag muligt at erstatte cadmiering med forzinkning evt. suppleret med yderligere overfladebehandling. Da zink er vanskeligt at lodde på, vil cadmiering dog ikke kunne erstattes af forzinkning til strømførende dele i elektronisk udstyr. Her kan fortinning være et alternativ.

Af andre vigtige undtagelser skal nævnes hårdt belastede flydele og billåse. Her gives i øjeblikket intet tilfredsstillende alternativ til cadmiering.

Legeringer

Cadmium anvendes i mange legeringer til vidt forskellige formål. F.eks. legeres bly med cadmium til kabelkapper omkring telefon- og højspændingsledninger, der nedgraves i jord eller nedsænkes på havbund. Cadmium legeres med zink til tørvoltbatterier og offeranoder. Offeranoder anvendes til at beskytte stålkonstruktioner f.eks. boreplatforme imod korrosion i det marine miljø. Endelig legeres cadmium med kobber til bilradiatorer og bærekabler til elektriske luftledninger, f.eks. S-togsledninger.

Fælles for disse legeringer er, at indholdet af cadmium er meget beskædet (fra 0,05% til 1,0%) samt at formålet med at tilsætte cadmium er at forbedre de mekaniske egenskaber som hårdhed, udmattelsesstyrke og trækstyrke for disse legeringer. Endvidere indgår cadmium i flere lavt smeltelige legeringer som anvendes til f.eks. brandalarmer. Endelig kan cadmium indgå i løddelegeringer, som anvendes til lodning af kobberør og armaturer i drikkevandsinstallationer. Generelt må mulighederne for at erstatte cadmium i legeringer bedømmes som dårlige. Dog findes der for såvel loddelegeringer som bilradiatorer udmærkede alternativer.

Farvestoffer

Cadmiumsulfid og cadmiumselenid er tungtopløselige kemiske forbindelser, der anvendes som pigmenter. Blandinger af disse pigmenter spænder over nuancer over hele området gule, orange, røde og rødbrune farver, og kan blandes med andre farvepigmenter til fremskaffelse af et stort spektrum af klare, brillante farver. De vigtigste egenskaber ved cadmiumbaserede pigmenter er:

- høj temperaturstabilitet
- stor lysægted
- stor modstandsdygtighed overfor kemiske påvirkninger

Cadmiumpigmenter anvendes først og fremmest til indfarvning af plast, og her primært til produkter med forholdsvis lang levetid såsom legetøj, køkkengrej, ølkasser, havemøbler og andre produkter til udendørs brug. Cadmiumindfarvede plastprodukter indeholder normalt mellem 0,1 og 1% cadmium. Cadmiumpigmenter kan anvendes i autolakker samt til keramik.

For en række anvendelser såsom autolakker findes der i dag acceptable erstatninger for cadmiumpigmenter. Derimod er det usikkert, i hvilket omfang det er muligt umiddelbart at erstatte cadmiumpigmenter i plast, ligesom det næppe er muligt at finde erstatninger til keramik m.m. Problemet er, at såvel plast som keramik fremstilles ved så høje temperaturer, at der ikke i dag findes alternative pigmenter i gule, orange, røde og rødbrune nuancer med tilstrækkelig temperaturstabilitet. Tilfredsstillende alternativer for plast forventes dog at være på markedet i løbet af meget få år. For såvel plast som keramik gives der allerede i dag tilfredsstillende alternativer i andre farvenuancer til disse produkter.

Stabilisatorer i PVC-plast

Cadmiumsalte af organiske fedtsyrer anvendes som stabilisatorer i PVC-plast, især i PVC-produkter, der udsættes for sollys, idet disse cadmiumsalte er i stand til at modvirke den nedbrydende effekt på PVC af solens ultraviolette stråler. Indholdet af cadmium i stabiliseret PVC varierer mellem 0,04 til 0,09%.

De vigtigste anvendelsesområder for cadmiumstabiliseret PVC er vinduesprofiler, ovenlysdæksler, presseninger og lignende produkter til udendørs brug. Endvidere anvendes cadmiumstabiliseret PVC til gulvbelægning, kunstlæder, skosåler m.m.

Det er i dag muligt at undgå anvendelsen af cadmiumstabilisatorer til PVC-produkter til indendørs formål såsom gulvbelægning. Her vil cadmiumstabilisatorer kunne erstattes af andre stabilisatorer baseret på bly og tin. Til udendørs brug findes der derimod for øjeblikket ingen tilfredsstillende alternativer, såfremt produkter som ovenlys og vinduesprofiler skal fremstilles af PVC. I løbet af meget få år må egnede tinstabilisatorer dog forventes at kunne erstatte cadmiumstabilisatorer også til disse formål.

Akkumulatører

I nikkel-cadmium akkumulatører anvendes anoder af cadmium, katoder af nikkeloxid samt en elektrolyt af kaliumhydroxid. Indholdet af cadmium er af størrelsen 5-15%. Denne type akkumulatører kendetegnes bl.a. ved lang levetid, evne til at arbejde ved både høje og meget lave temperaturer, minimal vedligeholdelse, evne til at tåle hurtig afladning samt evne til at tåle overopladning. Anvendelserne for disse akkumulatører spænder fra batterier i gramstørrelse til alarmsystemer, regnemaskiner, fotoudstyr m.m. til batterier til lokomotiver og flyvemaskiner.

Til en række formål kan nikkel-cadmium akkumulatører næppe erstattes i dag. Dette gælder især m.h.t. evnen til at arbejde ved meget lave temperaturer og evnen til at tåle hurtig afladning. I et vist omfang kan små akkumulatører dog erstattes af batterier baseret på bl.a. bly, zink og sølvoxid. De tekniske muligheder for at genindvinde cadmium fra nikkel-cadmium akkumulatører er gode.

Andre anvendelser

Cadmium kan absorbere neutroner. Denne egenskab udnyttes i atomreaktorer, hvor metallisk cadmium benyttes til kontrolstænger i selve reaktorkernen og til sikkerhedsskærme i kontrolrum o.lign.

Endvidere kan visse cadmiumforbindelser anvendes som bekæmpelsesmidler. Dette sker dog ikke i Danmark.

Generelt gælder, at cadmiums andre anvendelser er mangfoldige og dårligt kortlagte, men i mængdemæssig henseende mindre vigtige.

2.3. Cadmium som følgestof

Cadmium er tilstede som følgestof i flere vigtige råstoffer, hvis anvendelse medfører en utilsigtet spredning af cadmium. Den nuværende forekomst af cadmium som følgestof i Danmark er opgjort i afsnit 2.4 og fremgår iøvrigt af fig. 2.2 side 26.

Zink

Som nævnt i afsnit 2.1 udvindes cadmium ved rensning af zinkmalme. Det er ikke muligt at fjerne cadmium helt fra zink, og zink vil derfor altid indeholde noget cadmium, afhængig af hvor grundig en rensning zinken har gennemgået.

I praksis skelnes mellem flere forskellige zinkkvaliteter. Til sprøjtestøbning, tørvoltbatterier og offeranoder anvendes normalt "special high grade" zink. For at opnå denne betegnelse kræves bl.a., at indholdet af cadmium ikke overstiger 0,003%. Reelt vil indholdet være af størrelsen 0,001-0,002% [1]. "High grade" zink benyttes bl.a. til zinkplader og rør m.m., el-forzinkning samt messing. Messing er en legering af kobber og zink, hvor indholdet af zink varierer mellem 10 og 40%. Indholdet af cadmium i "high grade" zink vil normalt være af størrelsen 0,01% og må ikke overstige 0,03% [1].

For andre zinkkvaliteter blev der tidligere ikke stillet særlige krav til indholdet af cadmium, som derfor ofte var af størrelsen 0,1% og højere. Den vigtigste anvendelse for disse zinkkvaliteter har været varmgalvanisering af jern og stål f.eks. lysmaster og drikkevandsledning.

Imidlertid er der i 1978 indført et krav i Vesttyskland om at zink, der anvendes til varmgalvanisering, maksimalt må indeholde 0,01% cadmium. Hensigten med dette krav er at mindske afsmitningen af cadmium til drikkevand (se afsnit 6.2). Som følge af dette krav kan praktisk taget al zink, der anvendes i Vesteuropa i dag forventes at leve op til grænsen på max. 0,01% cadmium. Undtagelsen fra dette vil typisk være zinkstøv, der anvendes i malinger til rustbeskyttelse af jern og stål, og zinkoxid, der bl.a. anvendes ved vulkanisering af bildæk. Såvel zinkstøv som zinkoxid kan være fremstillet af affaldsprodukter fra zinkindustrien.

Som det fremgår af ovenstående, er det teknisk muligt at sænke indholdet af cadmium til 0,001-0,002% og endda lavere. Den nedre grænse er i praksis afhængig af de metoder, der bringes i anvendelse for at rense zinken. Økonomisk set er forskellen mellem "special high grade" zink og "high grade" zink relativ beskedent.

Kul og olie

Forekomst af cadmium i kul og olie må antages at bero på, at disse råstoffer er dannet ud fra organisk materiale, som altid vil indeholde cadmium i mindre mængder. En del af cadmiumindholdet i kul kan også være afsat af gennemsvivende vand, såvel under som efter dannelsen.

Indholdet af cadmium i kul kan variere en del, primært afhængig af kullenes udvindingssted. Selv indenfor samme mine kan der dog være tydelige forskelle. Normalt

antages, at kul i gennemsnit indeholder ca. 1 ppm cadmium. Værdier i intervallet 0,3-10 ppm må dog betegnes som typiske. I Danmark anvendes nu fortrinsvis kul fra Polen, Australien og Sydafrika. Der foreligger ingen særlige oplysninger om cadmium i disse kul.

Der foreligger kun få undersøgelser af indholdet af cadmium i olie. Årsagen hertil er sandsynligvis, at olie er et meget vanskeligt materiale at analysere. Så vidt vides, findes cadmium kun i de tungere olieprodukter såsom dieselolie, brændselolie og smøreolie. Indholdet af cadmium i disse produkter kan så vidt vides variere mellem 0,001 ppm og 0,5 ppm. Der synes ikke at eksistere nogen økonomisk mulighed for at fjerne cadmium fra kul eller olie.

Gødning

Praktisk taget al fosfatholdig kunstgødning fremstilles ud fra råfosfat, der naturligt indeholder cadmium. Afhængig af udvindingssted kan indholdet af cadmium i råfosfat variere betydeligt. Tidligere var gødningsproduktionen i bl.a. Danmark i høj grad baseret på råfosfat fra Kolahalvøen, som er kendt for sit meget lave cadmiumindhold.

Imidlertid ophørte USSR for et par år siden med at eksportere denne råfosfat, og gødningsproducenterne i Vesteuropa har herefter været henvist til andet fosfat, primært fra Florida (USA) og Nordafrika. For Danmark skønnes denne omlægning at være årsag til, at der i fosfatholdige handelsgødninger nu omsættes ca. 3 gange så meget cadmium som tidligere [2].

Den foreliggende viden om de tekniske muligheder for at mindske indholdet af cadmium i kunstgødning er meget beskeden. Der synes dog at være visse muligheder for at mindske indholdet i de kvælstofholdige fosforgødninger f.eks. ved at fremstille disse ud fra fosforsyre, hvis indhold af cadmium sandsynligvis kan mindskes betydeligt ved at udfælde cadmium som sulfid. Derimod er det i øjeblikket næppe realistisk at fjerne cadmium fra PK-gødninger.

Der kendes andre forekomster af råfosfat med lavt indhold af cadmium f.eks. fra Tennessee (USA), Sydafrika og Sverige. Disse forekomster er imidlertid af beskeden størrelse eller svært tilgængelige.

2.4. Nuværende forbrug af cadmium i Danmark

Det nuværende forbrug af cadmium i Danmark er opgjort i [1], og fremgår af tabel 2.1. For en mere detaljeret oversigt henvises til fig. 2.2 side 26.

Om tabel 2.1 skal bemærkes, at denne opgørelse i en vis udstrækning er baseret på skøn, som selvfølgelig er behæftet med usikkerhed. Som hovedregel må størrelsesordenen af de enkelte poster dog antages at være korrekt. Den eneste væsentlige undtagelse fra dette vedrører forbruget af cadmium til overfladebehandling. Det i tabel 2.1

Tabel 2.1: Årligt forbrug af cadmium i Danmark 1977-78 [1].
Annual consumption of cadmium in Denmark 1977-78.

	Mængde tons	Relativ mængde %	Usikkerhedsmargen tons
<i>Industriel anvendelse</i>			
Overfladebehandling ¹	1,1	1,4	-
Legeringer	6,0	7,9	-
Farvestof incl. autolak ²	27,2	35,4	25,1-29,3
PVC-plast	13,0	16,9	-
Akkumulatorer	4,2	5,5	3,2- 5,2
Andet	5,1	6,6	-
<i>Som følgestof</i>			
i zink	3,4	4,4	-
i olie	0,9	1,2	0,2- 4,3
i kul	7,8	10,2	3,9-15,6
i gødning	8,1	10,5	-
Ialt	77		(69-91)

Noter:

- 1) Import/eksport af cadmium med cadmierede dele i halvfabrikata og færdigprodukter er ikke opgjort.
- 2) Forbrug af cadmium i farvestoffer til keramik m.m. er ikke opgjort.

angivne forbrug til dette formål omfatter kun forbruget af cadmium til overfladebehandling foretaget i Danmark. Eksport/import af cadmium med cadmierede dele i halvfabrikata og færdigprodukter er ikke opgjort, og det må anses for sandsynligt, at der hermed sker en væsentlig import af cadmium, som ikke er medregnet i denne opgørelse.

Af tabel 2.2 fremgår, at det opgjorte forbrug af cadmium i Danmark svarer nøje til, hvad der kendes fra andre lande.

2.5. Muligheder for mindskning af cadmiumforbruget

De teknologiske muligheder for at reducere forbruget af cadmium i Danmark er opgjort i [1], og kan opsummeres som følger:

- Det synes umiddelbart muligt at reducere det årlige forbrug med ca. 7 tons cadmium ved restriktioner overfor anvendelse af cadmium i autolak (ca. 4,2 tons) og

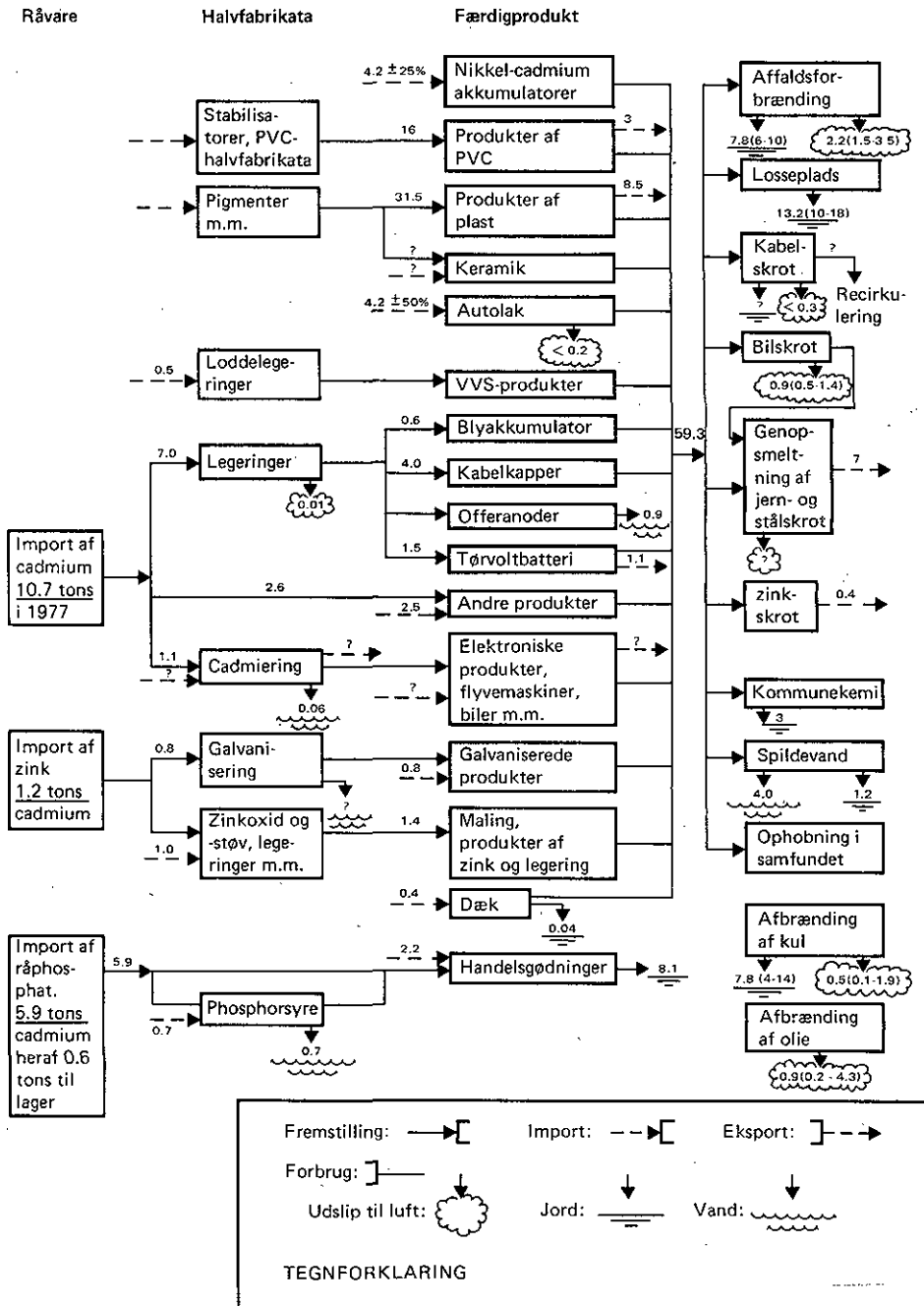
Tabel 2.2: Forbrug af cadmium i forskellige lande, totalt og per indbygger.
Annual consumption of cadmium in different countries.
(Total and pro inhabitant).

	Danmark	Sverige	Norge	Nordamerika Europa USSR, Japan
	(1977-78)	(1977)	(1974)	(1977)
Årligt forbrug af Cd (tons)	77 (69-91)	115-177	83-105	17963
Indbyggerantal (millioner)	5	8	4,5	1100
Årligt forbrug af Cd pr. indbygger (gram)	15,4 (13,8-18,2)	14,4-22,1	18,4-23,3	16,3
Reference	[1]	[5]	[4]	[3]

loddelegeringer (ca. 0,5 tons) samt ved begrænsning af indholdet af cadmium i zink til 0,001%. (ca. 2,2 tons).

- Endvidere er en vis umiddelbar reduktion af forbruget til overfladebehandling mulig, idet erstatning for cadmium til næsten alle anvendelser på nær flyvernaskindele og billåse findes. Forbruget til de enkelte formål er imidlertid ikke opgjort.
- En vis reduktion af anvendelsen af cadmium som stabilisator i plast er mulig, idet der findes erstatninger til alle formål, pånær i PVC-produkter til udendørs anvendelse. For udendørs anvendelse vil cadmiumholdige stabilisatorer sandsynligvis kunne erstattes i løbet af højst et par år. Forbruget til de enkelte formål er imidlertid ikke opgjort. En total afskaffelse svarer til et mindsket forbrug på ca. 13 tons cadmium årligt.
- En total afskaffelse af cadmiumholdige farvestoffer i plast er umiddelbart muligt, såfremt de klare farver i spektret gule-røde kan undværes. Tilfredsstillende termostabile alternativer i disse farver kan forventes på markedet i løbet af højst et par år. Til visse formål eksisterer der i dag tilfredsstillende alternativer, men forbruget til disse formål er ikke opgjort. En total afskaffelse svarer til et mindsket forbrug på ca. 23 tons cadmium årligt.
- Nikkel-cadmium akkumulatore kan til en række formål næppe erstattes. Genindvindingsmulighederne er imidlertid teknisk set gode, og en indsamlingsordning må være realistisk.
- Det vides ikke, i hvilket omfang det er muligt at mindske forbruget af cadmium til andre anvendelser og som følgestof i gødning. Der synes at foreligge visse mulighe-

Figur 2.2: Cadmiumtransport og -forurening i Danmark (tons/år, 1977-78).
Cadmium flow in Denmark (ton/year).



der for at udvikle teknologi til fjernelse af cadmium fra de kvælstofholdige fosfatgødninger.

Alt i alt må det anses for muligt gennem restriktioner overfor anvendelse af cadmium i plast, autolak, overfladebehandling og loddelegeringer samt ved begrænsning af indholdet i zink at reducere det samlede forbrug af cadmium i Danmark i de kommende år med 43-44 tons årligt, svarende til 56-57% af det nuværende forbrug.

Referencer til afsnit 2:

- [1] Hansen, Erik:
Cadmiumtransport og -forurening i Danmark og teknologiske muligheder for at mindske denne forurening.
Lab. for Teknisk Hygiejne. Danmarks tekniske Højskole, Lyngby, oktober 1980.
- [2] Simonsen, A.:
Spormetalindhold i handelsgødning.
NJF - seminar. Tungmetaller, sirkulasjon i jordbruget. 21-23 okt. 1975, Ladelund.
- [3] CADMIUM
Mining Annual Review. Pag. (101-2), 1978.
- [4] Hauge, C. C., Strøm-Erichsen, A.:
Materialestrømanalyse af kadmium - En skisse.
Chr. Michelsens Institut for UTVALG FOR FAST AFFALD - NTNF, no. 3.1.10, Oslo 1975.
- [5] Mörstedt, Leif:
Materialstrømanalys av kadmium i det svenska samhället.
Statens Naturvårdsverk, SNV PM 1249, Solna 1979.
- [6] Fulkerson et al:
Cadmium - the Dissipated Element.
Oak Ridge National Laboratory, ORNL-NSF-EP-21, NTIS, 1973.

3. Udslip af cadmium til omgivelserne

Følgende gennemgang af udslip af cadmium til omgivelserne i Danmark er baseret på [1] og [2].

3.1. Udslip af cadmium ved industrielle processer

Til forskel fra flere andre lande er industrielle processer i Danmark kun ansvarlig for et relativt beskedent udslip af cadmium til omgivelserne.

Årsagen hertil er, at der i Danmark ikke foregår nogen udvinding og fremstilling af zink og cadmium, ligesom der ikke findes anden primær metalindustri af større omfang. Væsentlige udslip af cadmium til omgivelserne som følge af industrielle processer finder, så vidt vides, i Danmark kun sted ved fremstilling af fosforsyre ud fra importeret råfosfat, samt eventuelt i forbindelse med smeltning af jernskrot. Ved fremstilling af

fosforsyre udfældes en del af råfosfatets cadmiumindhold sammen med gips, som et affaldsprodukt fra processen. Dette gips udledes i dag med spildevandet, der endvidere indeholder forureninger af anden art. Denne udledning af cadmium på omkring 0,8 tons årligt er påbudt mindsket til max. 0,3 tons årligt inden 1985 [5].

Ved smeltning af jernskrot må forventes et vist udslip af cadmium til luft. Jernskrot indeholder cadmium fra autolaker og cadmierede dele i bilskrot samt fra zinkbelægnin- ger på galvaniseret jern- og stålskrot. Størrelsen af de nuværende udslip kendes ikke. Efter overgang til nyt produktionsanlæg medio 1980 forventes udslippet nedsat til 0,01 tons cadmium årligt.

Slibestøv fra autolakererier indeholder cadmium som følge af anvendelsen af cadmium- pigmenter i autolaker. Årligt produceres der i Danmark ca. 400 tons slibestøv, som skønnes at indeholde ca. 1 tons cadmium. Heraf vil mindre end 0,2 tons blive udledt til luft, mens den resterende del efter opsamling i filtre må antages at blive ført til Kom- munekemi, lossepladser eller forbrændingsanlæg. I takt med at der bliver installe- ret filtre på alle punktudsugningsanlæg i autolakererier (jvf. miljøministeriets be- kendtgørelse nr. 154 af 6.4.79) vil emissionen af cadmium fra disse mindskes til 10-20 kg årligt.

Udslip af cadmium til luft sker herudover i forbindelse med fremstilling af legerin- ger. Endvidere sker udslip af cadmium til vand fra bl.a. cadmierings- og galvanise- ringsanstalter. Fælles for disse udslip er, at de, målt i forhold til det samlede udslip af cadmium til omgivelserne i Danmark, må betegnes som betydningsløse. I forhold til de umiddelbare omgivelser kan disse udslip dog være væsentlige punktkilder, som bør begrænses mest muligt.

3.2. Udslip ved energiproduktionen

Ved afbrænding af kul og olie sker et udslip af cadmium til luft, hvis omfang kun kan anslås med betydelig usikkerhed. Problemet i denne forbindelse er, at cadmium i røg- gasser koncentrerer på de mindste partikler, der kun vanskeligt opfanges af selv meget effektive elektrostatiske filtre. Endvidere er kendskabet til udslippet med små partik- leri i røggasser ringe på grund af prøvetagningsmæssige vanskeligheder.

Med baggrund i oplysninger fra litteraturen kan emissionen af cadmium ved afbræn- ding af kul i Danmark i 1979, hvor kulforbruget var steget til ca. 7 mio. tons, anslås til ca. 0,5 tons, med en usikkerhedsmargen på 0,1-1,9 tons [1].

Det skal nævnes, at Dansk Kedelforening i foråret 1979 har foretaget en række emis- sionsmålinger på Studstrupværket, som er et kulfyret kraftværk. Ved disse målinger blev registreret en emission af cadmium svarende til, at det samlede udslip af cadmium til luft ved afbrænding af kul i Danmark skulle være af størrelsen 0,1 tons pr. år [6].

Ved et forbrug på ca. 15 mio. tons tunge olieprodukter kan emissionen ved afbræn-

ding af olie skønnes til ca. 0,9 tons cadmium årligt med en usikkerhedsmargen på 0,2-4,3 tons [1]. Ved dette skøn er antaget, at al cadmium i olie bliver udledt til luft ved afbrændingen.

3.3. Udslip ved bortskaffelse af cadmiumholdigt affald

I Danmark indsamles årligt ca. 1,5 mio. tons husholdningsaffald og ca. 1 mio. tons industri-, handels- og kontoraffald samt storskrald. Af denne affaldsmængde behandles ca. 1,1 mio. tons i forbrændingsanlæg. En mindre del behandles i komposteringsanlæg, mens resten deponeres direkte på losseplads.

Det faktiske indhold af cadmium i såvel husholdningsaffald som andet affald kendes ikke med sikkerhed. Der foreligger dog et vist erfaringsmateriale om indholdet af cadmium i slagge, flyveaske og røgstøv fra forbrændingsanlæg. Udfra dette er det muligt at anslå indholdet af cadmium i affald sendt til forbrændingsanlæg til ca. 9 ppm med en skønnet usikkerhedsmargen på 6,6-12,3 ppm.

Såfremt det kan antages, at det affald, der tilføres losseplads eller komposteringsanlæg, indeholder cadmium i samme omfang som det affald, der behandles i forbrændingsanlæg, kan det beregnes, at der til forbrændingsanlæg, lossepladser og komposteringsanlæg i Danmark årligt føres ialt ca. 23,2 tons cadmium (17,4-31,3 tons).

Tabel 3.1: Kilder til cadmium i fast affald [1].

Sources of cadmium in solid waste.

Kilde	Årlig mængde	
	absolut (tons)	relativ (%)
Cadmierede genstande	< 0,5	2
Tørbatterier	0,4	2
Plast ¹	11,7	50
Keramik	< 0,5	2
Slibestøv fra autolakererier	< 0,8	4
Nikkel-cadmium akkumulatorer	4,2	18
Zink	1,0	4
Gummi, læder	0,9	4
Papir, mad m.m.	2,3	10
Spildevandsslam	0,9	4
Total cadmiummængde	23,2	

Note:

1) Beregnet som forskellen mellem totalmængde og mængden tilført med øvrige kilder.

I tabel 3.1 er anført et skøn over de sandsynlige kilder til cadmium i fast affald. Dette skøn bygger i vidt omfang på den viden, der er indsamlet i [1] om cadmiums anvendelse og transport i Danmark.

Som det fremgår af tabel 3.1 må det antages, at ca. 50% af cadmiummængden i affald indeholdes i plast i form af farvestoffer og stabilisatorer. Det indbyrdes forhold mellem farvestoffer og stabilisatorer er antagelig som 2:1. Den næststørste kilde til cadmium i affald er nikkel-cadmium akkumulatører, som må antages at tegne sig for ca. 18%.

Ved forbrænding sker en emission af cadmium til luft. Omfanget af denne emission er stærkt afhængig af kvaliteten af det røgrensningsudstyr, der er installeret ved det enkelte forbrændingsanlæg. Som det fremgår af tabel 3.2, vil halvdelen af det affald, der brændes i Danmark, blive behandlet på forbrændingsanlæg, der er udstyret med dårligere røgrensningsudstyr end elektrostatiske filtre.

Ialt må der ved forbrændingsanlæg forventes at blive opsamlet ca. 7,8 tons cadmium (6-10 tons) årligt i slagge og flyveaske, mens der udsendes ca. 2,2 tons cadmium (1,5-3,5 tons) til luften.

Tabel 3.2: Cadmiummængder udsendt til luft og opsamlet ved affaldsforbrænding i Danmark [1].

Cadmium emissions to air and ashes from refuse incineration.

Røgrensningsudstyr	Elektro-filter	Multi-cykloner	Intet	Ialt
Behandlet affaldsmængde, tons/år	550.000	510.000	40.000	1.100.000
Cd opsamlet med aske og slagge	4,4	3,4		7,8
Cd udsendt til luft	0,6	1,3	0,3	2,2

Slagge og flyveaske fra forbrændingsanlæg og kulfyrede kraftværker bliver for størstedelens vedkommende deponeret, mens en mindre del genudnyttes ved fremstilling af cement og fliser og som fyldmateriale bl.a. ved vejbyggeri. Endvidere bliver også kompost fra komposteringsanlæg deponeret, da kompost ikke i øjeblikket tillades anvendt til jordforbedringsformål blandt andet på grund af cadmiumindholdet. Fra disse depoter såvel som fra lossepladser foregår *sandsynligvis* en *væsentlig* udvaskning af cadmium med regnvand. Omfanget af dette udslip af cadmium til jord og vand kendes dog ikke på nuværende tidspunkt.

Kommunalt spildevand indeholder cadmium blandt andet fra zinktagreuder og galva-

niserede konstruktioner. Ved vandrensningen opsamles en del cadmium i spildevands-slam, som behandles og slutdisponeres på linie med husholdningsaffald eller udbringes på landbrugsjorden, svarende til henholdsvis 0,9 tons og 0,3 tons cadmium i 1980.

Ved skrotning af gamle biler foretages i et vist omfang afbrænding for at fjerne plast-inventar og autolak fra bilerne, inden de sendes til omsmelting blandt andet på Stålvalseværket i Frederiksværk. Da en del autolakker og plastinventar indeholder cadmium, vil der ved denne afbrænding ske et udslip af cadmium til luft. Dette udslip kan anslås til ca. 0,9 tons (0,5-1,4 tons) cadmium årligt.

Endelig sker der et udslip af cadmium til luft ved afbrænding af udtjente telefon- og elektricitetskabler. Disse kabler indeholder cadmium bl.a. som farvestoffer i plast-isolationen omkring enkeltledninger. Afbrændingen foretages for at genindvinde de metaller bl.a. kobber, der er anvendt i kablerne, og har netop til formål at fjerne plast-isolation m.m. Ved denne afbrænding kan forventes et udslip af cadmium til luft på 0,3 tons årligt.

3.4. Ved anvendelse af cadmiumholdige produkter

Offeranoder (se afs. 2.2), som især anvendes til at beskytte stålkonstruktioner, bl.a. boreplatforme, mod korrosion i det marine miljø, bliver opløst i havvand. Herved frigøres ca. 0,9 tons cadmium årligt. Offeranoder anvendes fortrinsvis i ydre danske farvande f.eks. Nordsøen.

Ved tæring af zinktagrender og zinkbelægninger på jern og stål (galvaniseret jern og stål) sker samtidig en frigivelse af cadmium. Dette cadmium må antages at blive afledt til eksisterende kloaksystemer og udledt til vand med kommunalt spildevand. Herved frigøres ca. 1,8 tons cadmium årligt.

Fra galvaniserede vandledninger og cadmiumholdige loddemidler sker en afsmitning af cadmium til ledningsvand. Herved sker et udslip af cadmium til vand på yderligere 0,6-2,4 tons pr. år.

Endelig sker et udslip af cadmium til luft ved afslidning af dæk. Dette udslip kan, med den nuværende bestand af biler i Danmark, anslås til ca. 0,04 tons cadmium årligt.

Ved brug af fosfatholdig handelsgødning sker en spredning af cadmium til landbrugsjord svarende til det samlede forbrug af cadmium med gødning på 8,1 tons i 1978/79.

3.5. Samlet oversigt over udslip af cadmium til omgivelserne i Danmark

Det samlede udslip af cadmium til luft, jord og vand er opgjort i tabel 3.3 [1, 2]. Heraf fremgår, at den største kilde til udslip af cadmium til luft er affaldsforbrænding, som tegner sig for ca. 44 % af det samlede udslip. Andre væsentlige kilder er afbrænding af olie (18%) og afbrænding af bilskrot (18%). Som det fremgår af de angivne

Tabel 3.3: Samlet oversigt over udslip af cadmium til omgivelserne i Danmark.
Total emissions of cadmium to the Danish environment (tons/year).

Kilde	Luft	Vand	Jord
Ved industrielle processer			
Fremstilling af fosforsyre		0,7	
Slibestøv fra autolakerier	< 0,2		
Fremstilling af legeringer ¹	0,01		
Smeltning af jernskrot ²	0,01		
Cadmierings- og galvaniseringsanstalter m.m.		0,1	
Ved brug af cadmiumholdige produkter			
Offeranoder ³		0,9	
Zinktagrender og galvaniseret jern og stål		1,8	
Galvaniserede vandledninger ⁴ og cadmiumholdige loddemidler		0,6-2,4	
Handelsgødning			8,1
Afslibning af dæk	0,04		
Ved energiproduktion			
Afbrænding af kul	0,5 (0,1-1,9)		
Afbrænding af olie	0,9 (0,2-4,3)		
Ved bortskaffelse af cadmiumholdigt affald			
Affaldsforbrænding	2,2 (1,5-3,5)		
Afbrænding af bilskrot	0,9 (0,5-1,4)		
Kabelafbrænding	< 0,3		
Spildevandsslam ⁵		-1,2	0,3
Lossepladser m.v. ⁶		?	?
Ukendte kilder ⁴		0,6-2,4	
Ialt	5 (3-11)	5,3	8,4

Noter:

- 1) Udslip fra en enkelt punktkilde. Det angivne udslip er skønnet og forudsætter, at røgrensning foretages ved brug af posefiltre.

Noter til tabel 3.3 fortsat:

- 2) Udslip fra en enkelt punktkilde. Størrelsen af det nuværende udslip kendes ikke.
- 3) Offeranoder anvendt fortrinsvis i ydre danske farvande.
- 4) Galvaniserede vandledninger m.m. og ukendte kilder skønnes tilsammen at give et udslip til vand på 3 tons pr. år.
- 5) De resterende 0,9 tons slutdisponeres på linie med husholdningsaffald.
- 6) I et vist omfang må udslip til vand fra lossepladser og depoter antages at være medtaget under ukendte kilder.

usikkerhedsintervaller, er såvel summen af, som de enkelte udslip dog behæftet med betydelig usikkerhed.

Udslip af cadmium til vand beror først og fremmest på forekomsten af cadmium i zink, mens udslip til jord næsten udelukkende sker med anvendelsen af cadmiumholdig handelsgødning. Det skal bemærkes, at cadmium anbragt på lossepladser m.v. ikke er medregnet som udslip til jord. Til sammenligning er der i tabel 3.4 gengivet den foreliggende viden om udslip til omgivelserne i enkelte andre lande. Væsentligt er, at udslip til omgivelserne i disse lande i høj grad stammer fra industrielle processer, som ikke benyttes i Danmark.

3.6. Muligheder for mindskning af udslip af cadmium til omgivelserne

De teknologiske muligheder for at mindske udslip af cadmium til omgivelserne i Danmark er opgjort i [1], og kan opsummeres som følger:

- Såfremt alle affaldsforbrændingsanlæg udstyres med røgrensningsudstyr af en kvalitet svarende til elektrostatiske filtre, som de i dag er i brug ved større affaldsforbrændingsanlæg, kan emissioner af cadmium fra affaldsforbrændingsanlæg mindskes med ca. 1 ton cadmium årligt.
- En fjernelse af cadmiumholdig plast fra affaldet skønnes at reducere det samlede cadmiumindhold i affaldet med ca. 50%, hvilket svarer til en mindsket emission på ca. 1,1 tons Cd årligt.
- En fjernelse af cadmiumholdig plast fra affaldet, kombineret med installation af elektrostatiske filtre ved alle affaldsforbrændingsanlæg som nævnt ovenfor, burde medføre en mindsket emission af størrelsen 1,6 tons cadmium årligt.
- En yderligere reduktion af emissionen fra affaldsforbrændingsanlæg kan utvivlsomt opnås ved at fjerne nikkell-cadmium akkumulatorer fra affaldet. Denne reduktion kan imidlertid ikke kvantificeres.
- Afbrænding af bilskrot og kabelafbrænding er ikke teknologisk nødvendig. Bilskrot kan alternativt afrenses manuelt eller behandles i de såkaldte fragmenteringsanlæg, hvor den forbedrede findeling og sortering overflødiggør afbrænding. Kabelskrot kan alternativt behandles i mekaniske afskrælningsanlæg. Restriktioner overfor afbrænding af bilskrot og kabelafbrænding burde medføre en mindsket emission af størrelsen 1,2 tons cadmium årligt.

Tabel 3.4: Udslip af cadmium til omgivelserne i udlandet (tons/år).
Emissions of cadmium to the environment in some foreign countries (tons/year).

Kilde	USA 1974-75 [7]		Sverige 1977 [3]		Tyskland 1973 [8]	
	luft	vand	luft	vand	luft	jord
Ved industrielle processer						
Zinksmelteværker	102	7	<7	<2		
Minedrift			0,1-0,2	0,5-1,0	4,5	15
Blysmelteværker	23,5	6	1,5-3,0	0,1	0,4	21,5
Jern- og stålindustri						
Fremstilling af cadmiumholdige produkter	15	8	<0,15	<0,15	0,2	
Sekundære smelteværker			0,05-0,1	0,05		
Sekundære ikke-jernholdige metaller	2,2					
Fremstilling af gødning				<1,0		
Ved brug af cadmiumholdige produkter						
Afbrænding af kul	80				30	
Afbrænding af olie	50,8		0,3		5	
Afslidning fra dæk	5,2		0,2		0,1	
Gødning		100				
Fosfatvaskemidler	7	10				
Produktion af koks						8
Ved behandling og disponering af cadmiumholdigt affald						
Affaldsforbrænding	16		1,2			
Kabelafbrænding			<1,0			
Spildevandsslam	20					5
Kommunalt spildevand				2,5		
Affaldsdepoter				0,5-1,0		
	320	31	11-13	7-8		8,5
		100				83,6

Noter: Tal for forskellige lande er ikke umiddelbart sammenlignelige, da forudsætninger og opgøvelsesmetoder kan være forskellige. Udslip til jord omfatter ikke cadmium anbragt på lossepladser eller andre depoter.

- Spredning af cadmium til omgivelserne gennem afbrænding af bilskrot og ved udslip af slibestøv kan alternativt forhindres ved restriktioner overfor anvendelse af cadmium i autolakker. Herved burde en mindsket emission af størrelsen 1,1 tons cadmium årligt kunne opnås.
- I hvilket omfang, det vil være muligt at nedbringe udslip af cadmium til luft yderligere, afhænger af i hvilket omfang det er muligt at forbedre rensningen af røggas fra affaldsforbrændingsanlæg og fra afbrænding af kul og olie. Problemet er her, at cadmium i røggassen koncentrerer på meget små partikler, som kun vanskeligt kan opfanges af selv meget effektive elektrostatiske filtre. Det må anses for sandsynligt, at de elektrostatiske filtre, der i dag er i brug ved affaldsforbrændingsanlæg, kraftværker og andre større fyringsanlæg, kan forbedres betydeligt. En anden mulighed er de såkaldte posefiltre, hvor røggassens passage af en filterkage kan give mulighed for opfangning af meget små partikler. Den foreliggende viden om disse muligheder er imidlertid for spinkel til, at det er muligt at bedømme effekten overfor udslip af cadmium.
- I takt med udskiftningen af zinktagreuder, galvaniserede konstruktioner og drikkevandsledninger kan udslippet af cadmium til vand forventes reduceret med 2,1-3,7 tons cadmium årligt pga. den begrænsning af indholdet af cadmium i zink til 0,01%, som allerede har fundet sted (se afs. 2.3). En begrænsning til 0,001% må forventes af reducere dette udslip med yderligere 0,2-0,4 tons pr. år.
- Det allerede indførte påbud om mindskning af udslip fra fremstilling af fosforsyre vil fra den 1.1.1985 medføre et mindsket udslip af cadmium til vand på 0,5 tons cadmium årligt.
- Om de øvrige udslip af cadmium til vand gælder, at det ikke er undersøgt, om det er muligt at mindske disse. Gennem mekanisk-biologisk rensning af alt kommunalt spildevand er det imidlertid muligt at mindske udslippet af cadmium til vand med op til 0,7 tons cadmium årligt. Generelt gælder dog, at det ikke er hensigtsmæssigt at mindske udslip af cadmium til vand ved rensning af kommunalt spildevand, idet cadmium herved bl.a. opsamles i spildevandsslam. Afhængig af behandlingen og disponeringen af dette slam vil det heri opsamlede cadmium påny slippe ud til enten luft, jord eller vand.
- En væsentlig kilde til tilførsel af cadmium til jord er kunstgødning. Den foreliggende viden om mulighederne for at mindske indholdet af cadmium i gødning er meget beskedent. Der synes dog at være visse tekniske muligheder for at mindske indholdet af cadmium i de kvælstofholdige fosfatgødninger. Den samlede mulige mindskning af udslippene af cadmium er anført i tabel 3.5.

Tabel 3.5: Mulig mindskning af udslip af cadmium til omgivelser i Danmark (tons/år).
*Possible reduction of cadmium emissions to the Danish environment
 (ton/year).*

Kilde	Luft	Vand	Jord
Ved industrielle processer	0,2	0,5	-
Ved brug af cadmiumholdige produkter		2,3-4,1 ³	? ²
Ved energiproduktion	? ¹	-	-
Ved behandling og deponering af cadmiumholdigt affald	2,8	-(0,5-0,95) ³	0,1-0,25 ³
Samlet mindskning	3,0	2,1-3,5	0,1-0,25 ²

- 1) Det vides ikke, i hvilket omfang emission fra afbrænding af kul og olie kan mindskes.
- 2) Det vides ikke, i hvilket omfang spredning af cadmium med gødning kan mindskes.
- 3) Et mindsket udslip til kommunalt spildevand medfører, at mængden af cadmium, der opsamles i spildevandsslam ved rensning af kommunalt spildevand, ligeledes mindskes. Dette vil antagelig samtidig mindske den cadmiummængde, der udspreddes på landbrugsjord med spildevandsslam.

Referencer til afsnit 3:

- [1] Hansen, Erik:
Cadmiumtransport og -forurening i Danmark og teknologiske muligheder for at mindske denne forurening.
Lab. for Teknisk Hygiejne, Danmarks tekniske Højskole, Lyngby, oktober 1980.
- [2] Jensen, Arne & Møhlenberg, F.:
The Ecotoxicology of Cadmium in Fresh and Sea Water and Water Pollution with Cadmium in Denmark, Miljøstyrelsen, oktober 1980.
- [3] Mørstedt, Leif:
Materialströmsanalys av kadmium i det svenska samhället. Statens Naturvårdsverk, SNV PM 1249, Solna, 1979.
- [4] Fulkerson et al:
Cadmium - the Dissipated Element.
Oak Ridge National Laboratory, ORNL-NSF-EP-21 NTIS, 1973.
- [5] Informationer modtaget fra amterne og enkelte kommuner vedr. cadmiumudledning.
Miljøstyrelsens Havforureningslab. Sag 0052-10, København 1979.
- [6] Oplyst af Erik Iversen, miljøstyrelsen, København.

- [7] DeCarlo, Vincent, J.:
Multimedia Levels Cadmium
Battelle Columbus Labs, EPA, NTIS, PB-273 198, Washington D.C. 1977.
- [8] Luftqualitätskriterien für Cadmium, Umweltbundesamt Berichte 4/77, Berlin 1977.

4. Cadmiums forekomst og skadevirkning i omgivelserne.

4.1. Cadmium i luft

Indhold af cadmium i luft

Indholdet af støvbåret cadmium i luft i Københavnsområdet er blevet målt siden 1972, og i to baggrundsområder i Danmark siden 1979. Resultater fra disse målinger er gengivet i [1]. I tabel 4.1 er anført resultater fra danske undersøgelser. Til sammenligning er anført resultater fra nogle få udenlandske undersøgelser.

De målte danske koncentrationer af cadmium i luft er nær den anvendte metodes detektionsgrænse (1 ng/m^3). På denne baggrund er der ringe forskel mellem koncentrationer målt på relativt stærkt befærdede gader i det storkøbenhavnske område og i baggrundsområderne på sydspidsen af Langeland og Tange ved Viborg.

De udenlandske resultater er opnået på stærkt forskellige typer lokaliteter, hvorfor indbyrdes sammenligning er vanskelig. Det kan konkluderes, at luften på trafikalt be-

Tabel 4.1: Cadmiumkoncentrationer i luft. Danske og udenlandske resultater.

Årsmiddelværdier (ng/m^3).

Cadmium concentrations in air. Danish and foreign results.

Annual means. (ng/m^3).

Lokalitet	Bystationer	Baggrundsstationer	Referencer
Danmark			[1]
Storkøbenhavn 1972-74	3	-	
Storkøbenhavn 1975-78	2	-	
Baggrundsstationer	-	1	[1a]
Vesttyskland, 1974-75	5-15	0,5-2,2	[2]
USA, 1969	3-36	< 3	[20]
Nordnorge	-	0,1	[2]
England, 1978	1-20	-	[38]
Japan, 1972	18-26	2	[2]

lastede steder i Storkøbenhavn ikke indeholder større koncentrationer af cadmium, end der er fundet i andre store byer.

Der er ikke i Danmark gennemført målinger af cadmium i luft nær luftforurenende virksomheder. Fra udlandet kendes meget høje værdier, op til 1000 ng/m^3 , men det er sandsynligt, at danske tal vil ligge langt under dette. I det storkøbenhavnske materiale indgår tal fra Glostrupområdet, hvor der 0,8 km NØ fra en målestation er beliggende en sekundær metaloparbejdningsvirksomhed. Målinger herfra angiver let forhøjede luftkoncentrationer; således er der i 1977-78 fundet $2,4 \text{ ng/m}^3$ mod $1,8 \text{ ng/m}^3$ på de andre fire stationer.

Nedfald fra luft

Nedfaldet i danske landdistrikter af cadmium fra luft er bestemt til i gennemsnit at andrage $0,2 \text{ mg/m}^2$ pr. år [4]. Nedfaldsopsamlingen foretages i en plast-tragt med åbnings ca. 2 m over jordoverfladen. Målingerne repræsenterer dels den våde deposition, og dels et ikke nærmere bestemt bidrag fra den tørre deposition, støvnedfald. Nedfaldet er observeret i lokaliteter med en afstand af mindst 10 km fra alle større byer, fabrikker og kraftværker, og mindst 1 km fra mindre byer og større landeveje. Det fundne tal må kunne antages at repræsentere det såkaldte baggrunds niveau for cadmiumnedfald, der for hele Danmarks landareal dermed kan opgøres til ca. 9 tons/år.

I afsnit 4.2 redegøres der for, at disse tragtmålinger formodentlig undervurderer den totale mængde cadmium, der tilføres landarealer med vegetation. Ved støvfiltrering i vegetationen tilføres landsarealer formodentlig indtil 50% mere, således at den totale mængde cadmium, der afsættes fra luft på jord og vegetation, er omkring 13 tons/år.

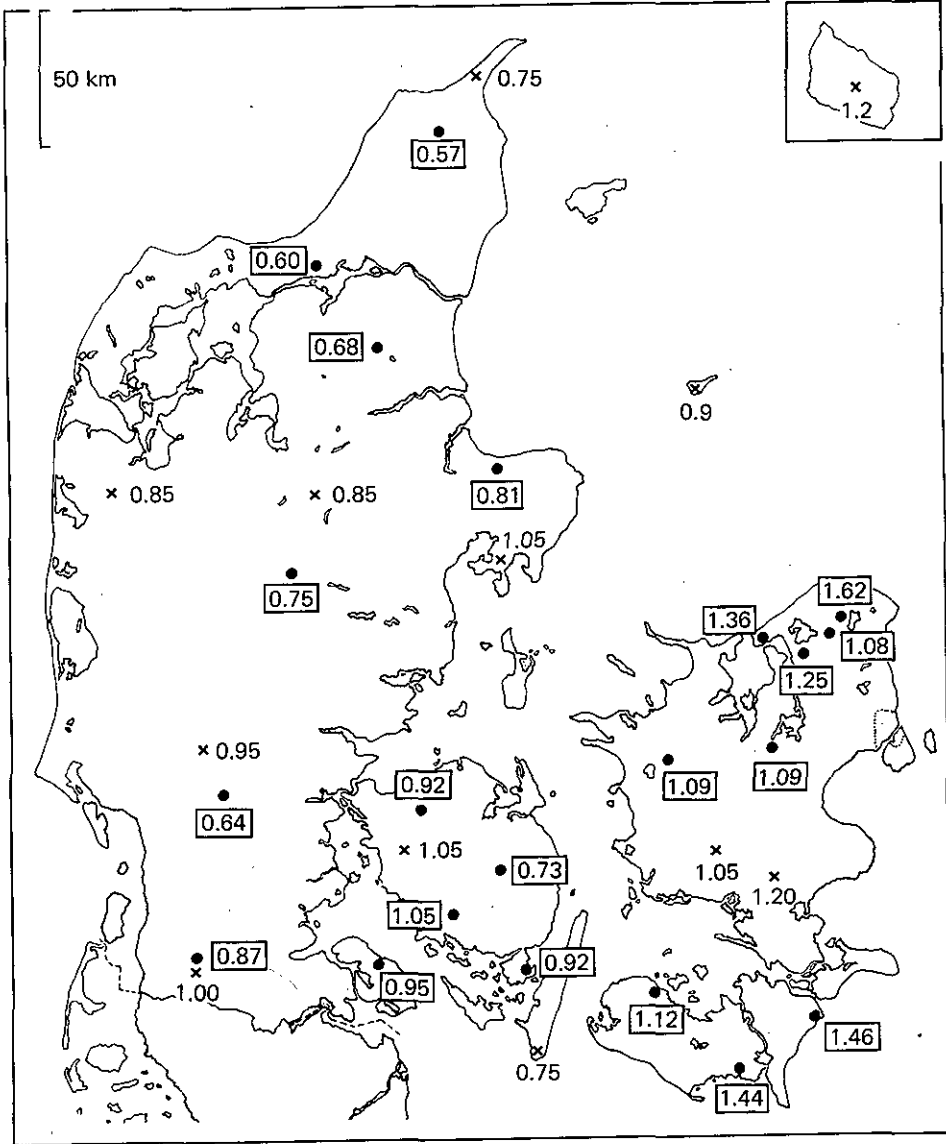
Variationen i cadmiumtilførsel fra luft i Danmark er endvidere belyst gennem måling af cadmiumindholdet i mosser og laver over hele Danmark. Undersøgelserne viser, at tilførslen af cadmium er omtrent dobbelt så stor i det sydøstlige som i det nordvestlige Danmark [5], (se fig. 4.1).

Endelig viser analyser af oksenyrrer fra henholdsvis Syd-, Midt- og Nordjylland en tendens til et større cadmiumindhold i oksenyrrer fra Sydjylland i forhold til Midt- og Nordjylland. Denne tendens er imidlertid ikke statistisk signifikant, og andre faktorer end cadmiumtilførsel fra luften kan være medvirkende til de fundne resultater [6].

Den observerede forskel i luftbåren cadmiumtilførsel mellem Sydøst- og Nordvestdanmark er i overensstemmelse med den meteorologiske udredning af de betydende vindretninger i Danmark i forbindelse med langtransport af luftforurening, der er givet

Figur 4.1: Variation i atmosfærisk tilførsel af cadmium til arealer i Danmark belyst ved målinger af direkte nedfald i tragt (x) [4], og målinger af cadmiumkoncentrationen i mosser og 2 laver (o) [5]. Alle tal er relative værdier dvs. middel = 1,00. Værdier for direkte nedfald i tragt er for perioden februar 1976 —

januar 1977. Mosser og laver er indsamlet i foråret 1977. For hver lokalitet er så vidt muligt indsamlet 5 prøver af hver plante. De i figuren angivne relative værdier er beregnet som middelværdien af relative værdier for hver plante. Atmospheric deposition of cadmium to areas in Denmark assessed through direct precipitation in funnel (x) [4], and as concentrations found in mosses and lichens (o) [5]. All figures are relative to mean values = 1.00. Direct precipitation in funnel, February 1976 – January 77. Mosses and lichens collected in spring 1977. Each value represents 5 samples.



i [7]. Udredningen konkluderer, at de højeste sodkoncentrationer på stationer uden påvirkning af lokale kilder optræder ved sydlig og sydøstlig vind.

Udover den regionale forskel i tilførslen af cadmium til landbrugsområder i Danmark vil der forekomme enkelte særligt belastede lokale områder. En af de få undersøgelser af punktkilders betydning har f.eks. afsløret, at det atmosfæriske nedfald i Frederiksværk og omegn er betydeligt større (op til 30 gange) end landsgennemsnittet pga. udslip fra Stålvalseværket [8]. Også Glostrupområdet ved København vides at være særligt belastet [9].

Tilsvarende kan det forventes, at det atmosfæriske nedfald i nærheden af andre kilder til udslip af cadmium til luft såsom autosliberier, bilskrottningspladser, grusgrave, hvor der foreligger tilladelse til kabelafbrænding osv., ligeledes vil være betydeligt større end landsgennemsnittet. I hvilket omfang udslip fra affaldsforbrændingsanlæg og kul-fyrede kraftværker er årsag til, at visse områder må betegnes som særligt belastede, afhænger af skorstenshøjden ved det enkelte anlæg. Ved store skorstenshøjder spredes udslippet over et betydeligt areal.

Import af cadmium med luft fra andre lande.

Da det sandsynligste skøn over den danske emission af cadmium til luft andrager ca. 5 tons/år (se afsnit 3), hvoraf noget eksporteres med luftmasserne, må en stor del af det konstaterede nedfald og den tørafsatte deposition i Danmark på omkring 13 tons/år (se afsnit 4.2) hidrøre fra import fra andre lande med transporterede luftmasser. Det har ikke været muligt at fastsætte en størrelse på disse massetransporter, udover at det, ved overslag ud fra beregninger af langtransport af svovl, kan skønnes, at 6-10 tons cadmium modtages årligt.

I en opgørelse over transport af cadmium i EF er der i hele EF's område antaget et totalt cadmiumudslip til luft på ca. 914 tons/år [10]. Luftudslippet i Vesteuropa er dermed i gennemsnit ca. 3,5 g/indbygger/år, i sammenligning med ca. 1 g/indbygger/år i Danmark. I de østeuropæiske lande er emissionen af cadmium formodentlig ikke mindre. I Polen findes flere zinkholdige mineralforekomster, der udnyttes.

4.2. Cadmium i jord

Forekomst af cadmium i dansk landbrugsjord

Af Danmarks samlede areal på ca. 4,3 mio. ha udnyttes ca. 3 mio. ha til landbrug og ca. 0,5 mio. ha til skov og plantage. Typisk dansk landbrugsjord indeholder i pløjelaget (0-25 cm) cadmium i koncentrationer mellem 0,05 og 0,5 ppm med en mediankoncentration på 0,22 ppm, [11]. Det kan derved beregnes, at pløjelaget på en ha landbrugsjord indeholder ca. 660 g cadmium. I tabel 4.2 er til sammenligning vist resultater fra udvalgte lande.

Cadmiumindholdet i jordtyper fra de tre nordiske lande er dermed af samme størrelse og iøvrigt lidt lavere end observeret andre steder. Dybereliggende jordlag indeholder

Tabel 4.2: Cadmium koncentrationer i normale landbrugsjordes pløjelag i udvalgte lande.

Cadmium concentrations in the ploughing layer of normal agricultural soils in selected countries.

Land <i>Country</i>	Antal prøver <i>No. of samples</i>	Koncentration <i>mg/kg</i>	Median	Reference
Danmark	53	0,05-0,5	0,22	[11]
Sverige	361	0,03-2,3	0,19	[12]
Norge	15	0,01-0,64	0,20	[13]
Vesttyskland		0,4 -0,5		[14]
Canada		0,55-1,8		[15]
Japan	722	max. 1,0	0,3	[16]

normalt lavere koncentrationer. I tabel 4.3 angives resultater for jordprofiler fra tre danske forsøgsstationer [17].

Tabel 4.3: Cadmium koncentrationer (mg/kg) i jordprofiler fra 3 danske forsøgsstationer [17a].

Cadmium concentrations (mg/kg) in soil profiles from 3 Danish research stations.

Jorddybde (cm) <i>Soil depth</i>	Rønhave <i>Lerjord/loam</i>	Askov <i>Lermuld/sandy loam</i>	Lundgård <i>Sandjord/sand</i>
0 - 25	0,25	0,17	0,19
25 - 50	0,20	0,15	0,15
50 - 75	0,20	0,10	0,14
75 - 100	0,18	0,10	0,13

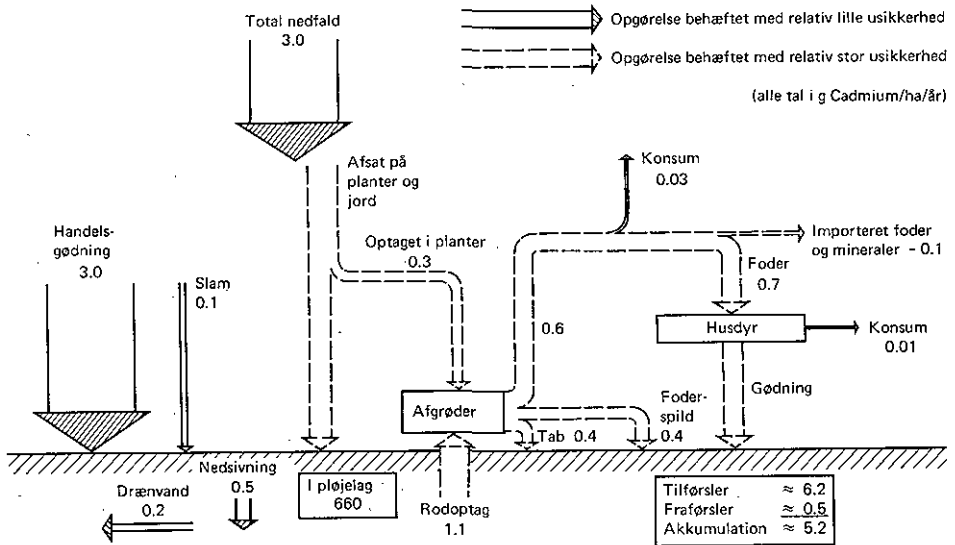
Et "naturligt" cadmiumindhold i danske jorde er umuligt at fastlægge. Dette beror på, at der selv i helt uforurenede jorde foregår tilførsler og udvaskninger, der over lange tidshorisonter medfører ændringer i jordkoncentrationerne.

Det nuværende koncentrationsniveau er derfor et resultat af en oprindelig (lav) koncentration i de isafsatte moræner, og akkumulering som følge af tilførsler og udvaskning gennem årtusinder. Endvidere har vegetationen i høj grad medvirket til at koncentrere cadmium i de øverste jordlag som følge af rodoptagelse fra dybere jordlag. Disse processer har også medført, at det i [11] kun var muligt at eftervise en svag korrelation mellem cadmiumkoncentrationerne og indholdet af ler + silt i jordene. Der kunne ikke eftervises nogen korrelation til andre jordparametre.

Balance for cadmium i dansk landbrugsjord

Udviklingen i det gennemsnitlige indhold af cadmium i danske jorde har været genstand for undersøgelser i de sidste fem år. I fig. 4.2 vises resultatet af en balanceopgørelse, hvor en række tilførsler er kvantificeret [18]. Det understreges, at tallene er gennemsnitstal for typiske jordarealer i Danmark, og at de enkelte tal kan være behæftet med en del usikkerhed.

Figur 4.2: Cadmium cirkulation i dansk landbrug (g Cd/ha/år) [18]
Cadmium circulation in Danish agriculture (g Cd/ha/year).



De enkelte tal er fremkommet således:

Atmosfærisk nedfald af cadmium er målt i baggrundsområder langt fra lokale forureningskilder og er et gennemsnit for tragtopsamlet cadmium i hele Danmark. I virkeligheden er der en lille forskel mellem nedfaldet i det nordvestlige og sydøstlige Danmark, som diskuteret i afsnit 4.1. Tøraf sætning er et udtryk for aerosolafsat cadmium på vegetationen og dermed på jord. Denne størrelse er ikke bestemt med nogen stor sikkerhed og afhænger stærkt af vegetationstypen. Således er der i Draved mose i Sønderjylland i 1972/73 [19] fundet en totalafsætning på ca. 10 g/ha/år, mens direkte tragtmålinger i 1973 har givet et nedfald på 5-7 g/ha/år [21]. I Sydtykland er der endvidere – for en nåleskov i et forureningsmæssigt sammenligneligt område – fundet 5 g/ha/år ved tragtopsamling og 13 g/ha/år opsamlet under træerne [22]. Sandsynligvis vil landbrugsområder i gennemsnit modtage ca. 1,5 gange den tragtopsamlede cadmiummængde, for øjeblikket ca. 3 g/ha/år. Henført til hele Danmarks areal vil dette svare til en totalafsætning fra luft på omkring 13 tons cadmium pr. år.

Fosfatholdige *handelsgødninger* indeholder cadmium som følge af råfosfaters naturlige indhold. Tallet 3 g/ha/år refererer situationen i 1979. Det fremtidige cadmiumbidrag fra fosfatholdige handelsgødninger vil sandsynligvis blive højere (se afsnit 2.3).

Bidraget fra *spildevandsslam* spredt på landbrugsjord er beregnet ud fra et normalt indhold af cadmium (6 mg/kg tørstof) og under antagelse af, at ca. 45% af 110.000 t slam (TS) anvendes i jordbruget. Af transport hensyn fordeles slam meget uens. Formodentlig modtager ca. ½% af landbrugsarealet slam hvert år. Herved kan der i lokale områder opnås betydelige koncentrationer af cadmium. Denne specielle problematik behandles mere indgående i [23].

Opgørelsen af indholdet af cadmium i afgrøder og foder er behæftet med betydelig usikkerhed. For størstepartens vedkommende vil planteprodukter til foder og strøelse dog blive recirkuleret inden for landbruget, og således vil kun en mindre del af det i disse produkter indeholdt cadmium blive fjernet med afgrøder og kød til konsum.

Nedsivning og afstrømning af cadmium er under ét skønnet til 0,5 g/ha/år. Heraf bliver 0,2 g fjernet umiddelbart med drænvand. Resten vil sive ned til dybereliggende jordlag [24]. I praksis vil såvel nedsivning som afstrømning variere en del.

Fig. 4.2 kan sammenfattes i, at der sker en gennemsnitlig akkumulation af cadmium i dansk landbrugsjord på ca. 5-6 g/ha/år, som i forhold til de 660 g/ha, der i gennemsnit skønnes at være indeholdt i pløjelaget, svarer til en årlig gennemsnitlig stigning i cadmiumkoncentrationen i dansk landbrugsjord på ca. 0,8%. Dette tal er naturligvis behæftet med den usikkerhed, der stammer fra opgørelsen af enkeltbidragene. Således vil et voksende nedfald af cadmium fra luft eller et forøget cadmiumindhold i handelsgødning fremover kunne øge dette tal.

De her viste gennemsnitsberegninger gælder rimeligvis for størstedelen af det normale danske landbrugsareal. Ud fra gennemførte kildeundersøgelser er der dog flere steder i landet konstateret ret ekstreme belastninger af begrænsede landbrugsarealer, som nævnt i afsnit 4.1. Disse situationer er ikke kvantificeret på landsplan.

Jordkemiske forhold for cadmium

Cadmium optræder i naturen som divalente metalioner, der ikke udviser særlig stor evne til kompleksdannelse og deltagelse i fældningsreaktioner ved normale jordkoncentrationer. Dette medfører, at cadmium er betydelig mere mobilt end de fleste andre tungmetaller. Den generelle fordeling og transport af cadmium i jord er vist i fig. 4.3.

I danske jordtyper synes cadmium overvejende at forekomme adsorberet til lermineraller og i mindre grad til humusstoffer. Dette støttes af resultater for målte ligevægtskoncentrationer i to forskellige danske jordtyper tilsat letopløseligt cadmiumsolt [25]. Et typisk resultat vises i fig. 4.4.

Figur 4.3: Generelle processer for cadmium i jord.

Generalized picture of processes for cadmium in soils.

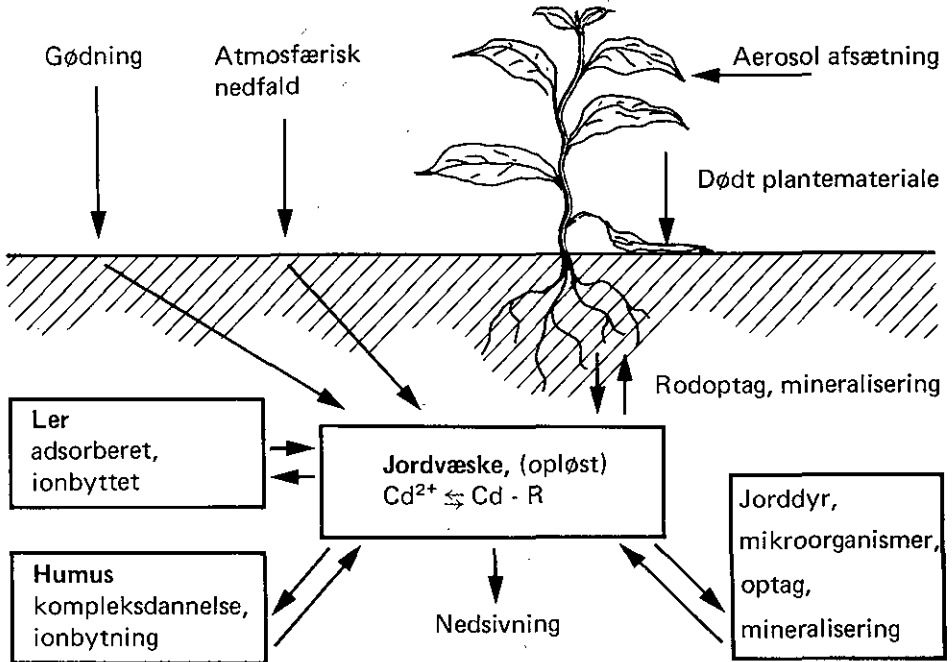


Fig. 4.4 viser tre principielle forhold for cadmium i jord. Det første er den næsten lineære sammenhæng mellem koncentration i jord og jordvæske i et stort koncentrationsområde, spændende fra normale til stærkt forurenede ($<0,2-20$ ppm i jord).

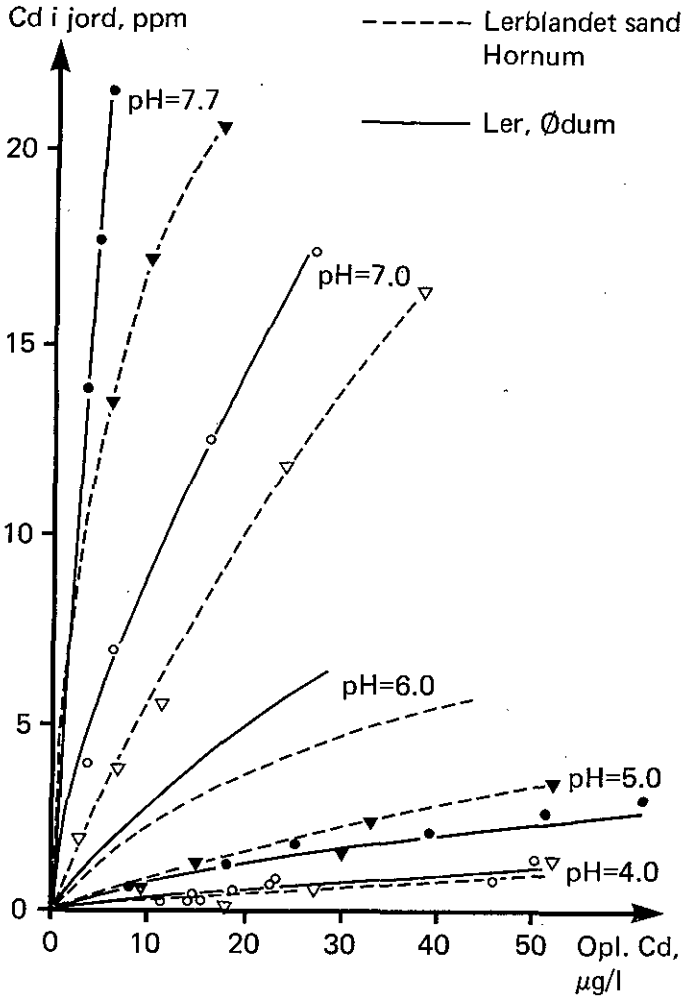
Det andet principielle forhold er den kraftige indflydelse af pH på ligevægtsforholdene. En pH-forøgelse på 1 enhed medfører en nedsættelse af jordvæskekoncentrationen med en faktor 2-3.

Det tredje forhold er jordtypens indflydelse. En bestemt koncentrationsforøgelse i en lerjord medfører mindre forøgelse i jordvæskekoncentrationen, end den samme forøgelse giver i en sandjord.

Udover disse tre vigtige faktorer i forholdene for cadmium i jord vil tilstedeværelsen af konkurrerende ionarter øge jordvæskekoncentrationen af cadmium, specielt vigtig er jordvæskekoncentrationen af calcium (Ca^{2+}) som den dominerende kation i danske jorde.

Den fremherskende bindingsform for cadmium (ionbytning til faste partikler) synes ikke i væsentlig grad at blive stærkere med tiden under normale forhold. Der er endnu

Figur 4.4: Sammenhæng mellem cadmiumkoncentrationen i jordvæske og jord i 2 danske jorde ved forskellige pH [25] (—) lerjord (---) lerblandet sandjord.
Relations between the concentrations of cadmium in soil solution and in 2 Danish soils, at varying pH. [25] (—) sandy loam, (---) loamy sand.



ikke udført udtømmende forsøg til belysning af spørgsmålet, men udenlandske erfaringer synes at understøtte formodningerne.

Ved den engelske by Shipham synes en stærk binding (udfældning) i kalkrig jord at finde sted, et forhold der synes at afbøde de værste følger af en kraftig forurening af jord med op til 500 ppm cadmium [26].

Nedsivning af cadmium fra jord

Koncentrationer af cadmium i nedsivende vand i jord vil principielt være de samme som i jordvæsken. Aktuelle koncentrationer af cadmium i drænvand er fundet til omkring 0,2-1 $\mu\text{g}/\ell$ [24]. Opholdstiden for cadmium kan med disse oplysninger beregnes til at være omkring 1000 år for passage af 1 m jordsøjle, i intervallet 200-800 år for passage af pløjelaget (25 cm), naturligvis stærkt afhængig af jordens tekstur og pH [23]. Disse danske resultater er opnået for normale til forurenede jorde. Der er specielt i EF-regi fremkommet meget afvigende estimater for den gennemsnitlige opholdstid for cadmium [10, 50], hvor anvendelse af resultater fra stærkt forurenede jorde (20-300 ppm Cd) giver en opholdstid for 25 cm jordlag på 25-50 år. Den store forskel i de betragtede koncentrationsområder gør, at de danske resultater må anses for mest relevante for danske jordtyper.

En større belastning med cadmium i kombination med et lavt pH i en let jord kan – i ugunstige tilfælde – medføre relativt høje koncentrationer i det nedsivende vand, men det antages almindeligvis, at der ikke nås koncentrationer højere end ca. 3 $\mu\text{g}/\ell$ under landbrugsjord tilført cadmium f.eks. med spildevandsslam [23]. Under lossepladser er der

Tabel 4.4: Koncentrationer af cadmium i danske afgrøder, opnået under identiske vækstbetingelser [23].

Concentrations of cadmium in Danish crops, grown under identical conditions [23].

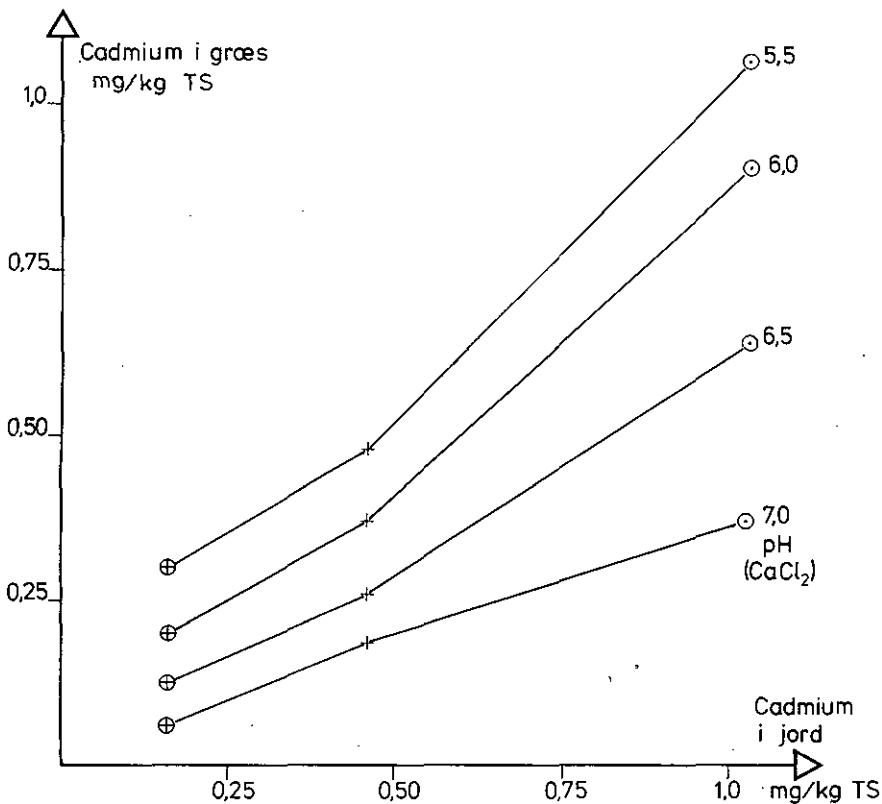
Planteart eller plantedel <i>crop</i>	Cadmium koncentrationer mg/kg tørstof
Byg, kærne/ <i>Barley, grain</i>	0,012
Byg, halm/ <i>Barley, straw</i>	0,14
Havre, kærne/ <i>Oat, grain</i>	0,025
Havre, halm/ <i>Oat, straw</i>	0,18
Kartoffel/ <i>Potato</i>	0,32
Grønkål/ <i>Kale</i>	0,34
Hvidkål/ <i>White cabbage</i>	0,22
Gulerod/ <i>Carrot, root</i>	0,35
Ært/ <i>Pea</i>	0,043
Ært, bælg/ <i>Pea, pod</i>	0,082
Ært, halm/ <i>Pea, straw</i>	0,24
Bønne, bælg/ <i>Green bean, pod</i>	0,040
Bønne, halm/ <i>Green bean, straw</i>	0,40
Salat/ <i>Lettuce</i>	5,2
Spinat/ <i>Spinach</i>	3,9

naturligvis mulighed for meget høje koncentrationer af cadmium i nedsvivende perkolat ($>50 \mu\text{g}/\ell$), men grundvandskvaliteten er da helt uacceptabel for enhver anvendelse på grund af tilstedeværelse af andre stoffer.

Planters optagelse af cadmium fra jord

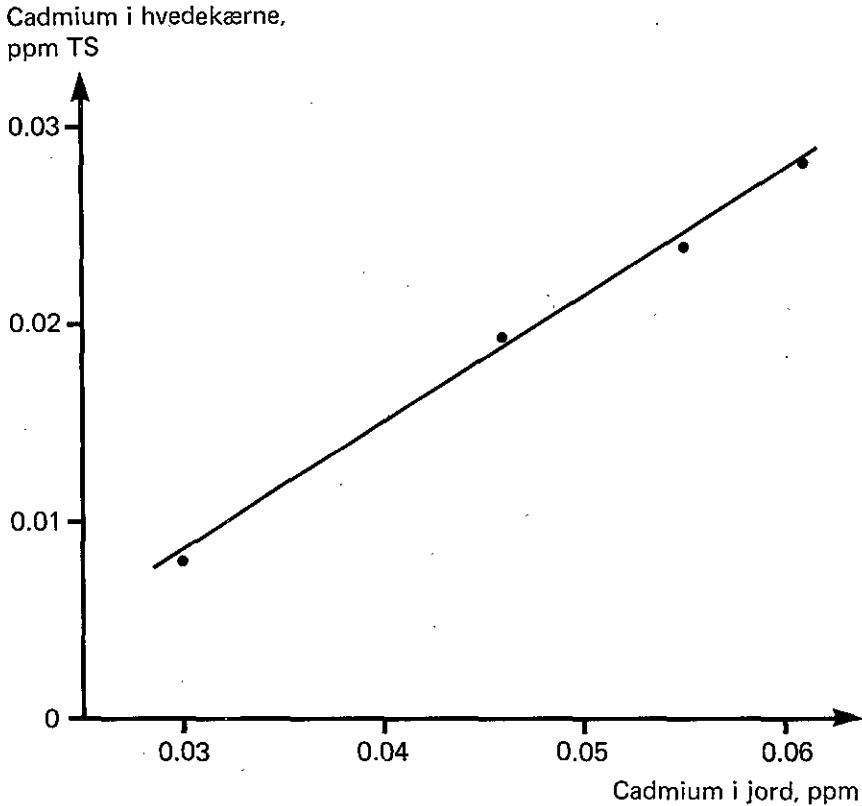
Cadmium er et relativt mobilt metal i jord og optages let i planter gennem rodsystemet med efterfølgende fordeling til resten af planten. De faktorer, der bestemmer cadmiums optagelse, synes principielt at være de samme, som bestemmer cadmiumkoncentrationen i jordvæsken. I danske dyrkningsforsøg over anvendelse af spildevandsslam er der i markforsøg med gentagne slamtilførsler således konstateret meget ringe forøgelse af cadmiumkoncentrationerne i planterne [17a]. Denne observerede neutraliserende virkning af store mængder organisk stof svarer godt til mange udenlandske erfaringer. Me.

Figur 4.5: Cadmiumoptagelse i italiensk rajgræs som funktion af pH og cadmiumkoncentration i Askov let/muldjord. Resultater fra karforsøg [27].
Cadmium uptake in Italian rye grass, as influenced by pH and cadmium concentrations in Askov sandy loam. Pot experiment [27].



Figur 4.6: Cadmiumkoncentration i hvedekærner som funktion af cadmiumkoncentration i jord. Markforsøg [28].

Cadmium concentration in wheat grain as a function of the soil cadmium concentration. Field experiment [28].

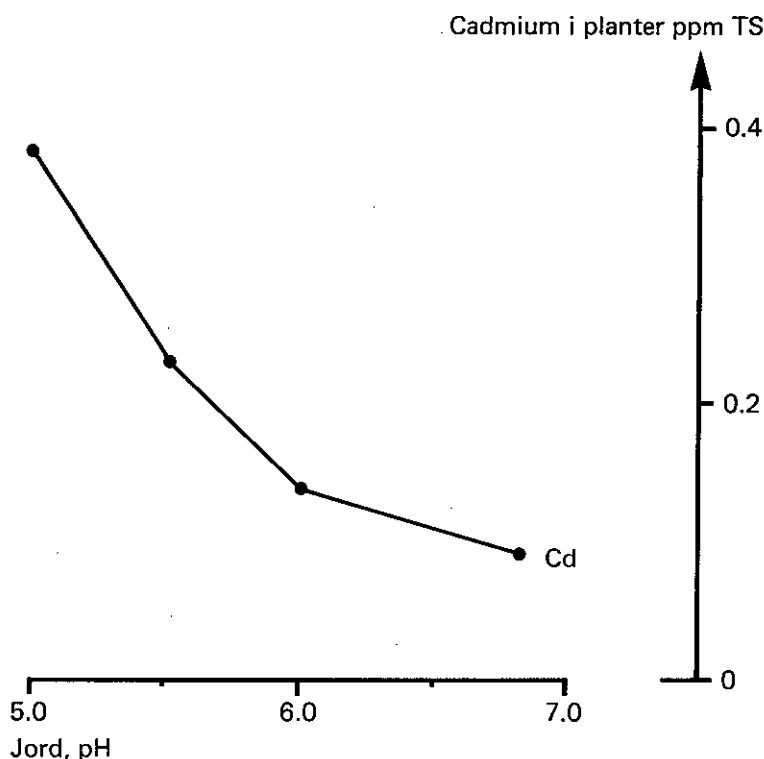


i tilsvarende markforsøg over eftervirkningen af en enkelt tilførsel af spildevandsslam blev der konstateret en relativ forøgelse i afgrødernes cadmiumindhold, der dels nogenlunde var proportional med den relative forøgelse i jordens koncentration, og dels ikke synes at ændre sig i op til 4 år efter slamtilførslen [17b].

Under ens dyrkningsbetingelser vil de enkelte plantearter opnå meget forskellige cadmiumkoncentrationer (se tabel 4.4), og det er endda vist, at cadmiumkoncentrationerne i majs-varianter kan variere med en faktor 5 under ens vækstbetingelser. Se endvidere tabel 6.1 side 66 for typiske indhold i købsfærdige grøntsager i Danmark. Også i disse varer svinger indholdene meget med plantearten. Årsagerne til disse store variationer er ikke klarlagt, men visse plantefamilier synes i udpræget grad at kunne akkumulere cadmium, mens andre synes i stand til at udelukke stoffet. Således synes tobak uheldigvis at optage cadmium i høj grad.

I kontrollerede forsøg (ofte karforsøg), hvor ovennævnte vigtige parametre fastholdes eller måles ofte, kan det med større sikkerhed konstateres, at planteoptaget i en jord er meget nær proportionalt med jordkoncentrationen, og mindskes ved stigende pH. Et dansk eksempel er vist i fig. 4.5 [27], og et australsk i fig. 4.6 og 4.7 [28]. Selv om der er mange divergerende meninger om effekten på planternes optagelse af cadmium fra øgede jordkoncentrationer, synes det mest rimeligt at antage, at planter under ellers identiske vækstbetingelser optager cadmium i mængder ligefrem proportionalt med jordkoncentrationen.

Figur 4.7: Cadmiumkoncentration i kløver (*Trifolium subterranean*) som funktion af pH i jorden. Karforsøg [28].
*Cadmium concentration in clover (*Trifolium subterranean*) as a function of soil pH. Pot experiment [28].*



Planters optagelse af cadmium fra luft

En betydelig kilde til cadmium i planters grønne del synes at være direkte afsætning af aerosolbundet cadmium på overfladen af vegetationen. I Danmark er der udført enkelte forsøg til bestemmelse af denne tilførsel [29].

Det var muligt ved en isotopfortyndningsteknik at vise, at ca. 30-40% af cadmium i en græsafgrøde i et baggrundsområde over en vækstsæson stammede direkte fra luften. Resultaterne er noget usikre, men de er i god overensstemmelse med de tidligere overvejelser, hvor der antages en betydelig luftafsætning af cadmium som bidrag til jordens belastning med stoffet.

Cadmium i pattedyr, fugle, insekter og mikroorganismer

Pattedyr, fugle og insekter må forventes primært at optage cadmium via indtagelse af føde, eftersom de naturlige koncentrationer af cadmium i luft er minimale (se afsnit 4.1).

Fordelingen af cadmium i kroppen hos insekter er ikke nærmere kendt. Hos pattedyr og fugle ophobes cadmium i de indre organer, primært nyre og lever. Cadmium kan dog findes i alle dele af kroppen, også i muskel- og fedtvæv. I nye engelske undersøgelser af duer i London-området er der fundet endog meget høje koncentrationer i de enkelte organer. Duernes indhold af cadmium synes at være relateret til kendte lokale kilder til luftforurening med cadmium [29a]. I kjoever er der fundet koncentrationer der måske kan indvirke på især nyrenes funktion, men et samtidigt højt indhold af selen synes at modvirke dette [29b].

Ved forsøg med svin, kyllinger og høns [30, 31] er det påvist, at der tilsyneladende er en proportional sammenhæng mellem foderets cadmiumindhold og indholdet af cadmium i alle dele af kroppen.

Mens cadmiums skadevirkning overfor pattedyr og til dels fugle må betegnes som rimeligt velkendt, vides der meget lidt om virkningen overfor mikroorganismer og insekter. De vigtigste tegn på cadmiumforgiftning hos pattedyr er blodmangel, mindsket forplantningsevne, forstørrede led, lurvet pels, mindsket vækst samt lever- og nyreskader [32]. Ved kronisk cadmiumforgiftning er nyrene det mest udsatte organ, og nyreskader antages i almindelighed at indtræffe ved en koncentration af cadmium i nyrebarken på ca. 200 mg/kg frisk vægt. For en nærmere gennemgang af effekter og kritiske niveauer henvises i øvrigt til afsnit 7. Forgiftning af fugle er ikke undersøgt i samme grad som forgiftning af pattedyr, men symptomer hos fugle antages i øvrigt at svare til symptomerne hos pattedyr [33].

Den eksisterende viden om indholdet af cadmium i pattedyr og fugle i Danmark er meget beskedent. Den forliggende viden om indholdet af cadmium i nyrer og lever hos danske slagtedyr er gengivet i tabel 4.5 [34]. De her registrerede niveauer må betegnes som uproblematisk med hensyn til skadevirkning på dyrene, og sikkerhedsmargenen synes rimelig stor.

For såvel tamme som vildtlevende pattedyr og fugle, er der ikke i Danmark foretaget undersøgelser, der giver mulighed for at vurdere, i hvilken grad enkeltindivider eller arter kan være truet af cadmiumforgiftning.

Tabel 4.5: Cadmium i nyre og lever fra danske slagtedy 1977/78 [34].

Cadmium in kidney and liver in Danish animals for slaughter 1977/78 [34].

	Antal prøver <i>no. of samples</i>	Cadmiumkoncentration	
		mg/kg	frisk vægt/ <i>fresh weight</i>
		Median	spredning/ <i>range</i>
Oksenyre / <i>Ox-kidney</i>	40	1,10	0,03-5,75
Svinenyre/ <i>Pig's kidney</i>	25	0,34	0,05-1,23
Kyllingelever/ <i>Chicken liver</i>	10	0,11	0,02-0,47

Akkumulation af cadmium gennem fødekæder kan måske være årsag til, at enkelte dyrearter f.eks. rovfugle, som er placeret sidst i fødekæder, er truet i særlig grad. På nuværende tidspunkt vides ikke, om dette er tilfældet. Se dog oplysningerne ovenfor om kjoer [29b].

Om insekter og andre hvirvelløse dyr vides, at disse kan opkoncentrere cadmium i betydeligt omfang. Således er der i danske regnorme fundet op til ca. 30 ppm i tørstof, mens der i jorden var ca. 0,7 ppm cadmium. Det er ikke kendt, i hvilket omfang regnorme påvirkes af disse koncentrationer [36].

Om mikroorganismer vides, at cadmium kan hæmme den mikrobiologiske omsætning i jordbunden. Dette er bl.a. konstateret ved en undersøgelse af svenske skovområder [35]. Eventuel hæmning af den mikrobiologiske omsætning i almindelig dansk jord antages i almindelighed at være forårsaget af forhøjede koncentrationer af kobber og zink blandt spormetallerne, mens cadmiumkoncentrationerne i almindelighed skal forøges stærkt udover det normale for at virke hæmmende.

4.3. Cadmium i vand

Følgende gennemgang om cadmium i vand er baseret på [37], hvortil henvises for yderligere oplysninger.

Cadmiumniveauer i det akvatiske miljø

Koncentrationen af cadmium i det akvatiske miljø viser stor variation. De højeste koncentrationer forekommer i floder og kystnære marine områder, der modtager spildevand fra industri, især elektronisk industri og metalindustri. Her har man målt koncentrationer så høje som 5 µg/l. Dette skal sammenholdes med "normalkoncentrationerne", som man finder i ikke-spildevandsbelastet ferskvand og kystnære marine områder, på 0,05-0,2 µg/l. I de åbne marine områder og i oceanerne er cadmiumkoncentrationerne noget lavere, mellem 0,01 og 0,1 µg/l. I de danske farvande er fundet indhold fra 0,03 til 0,10 µg/l, hvilket ikke overstiger "normalværdierne" for de nærliggende områder (Østersøen, Nordsøen). Der findes ikke pålidelige data for cadmiumkoncentrationer i danske ferske vande.

Cadmium i sedimentet

I akvatiske økosystemer indgår sedimentet som en vigtig del. Sedimentets karakter, og i denne forbindelse dets tungmetalindhold, afspejler både naturlige og menneskeskabte aktiviteter. Cadmium tilføres sedimentet ad flere veje:

1) Ved sedimentation af cadmiumholdige organiske og uorganiske partikler

I de åbne marine områder er det især vandloppernes "fækaliopiller" samt fældende manganoxider, der transporterer cadmium til bunden. Det er velkendt, at hovedparten af det organiske materiale i ferskvand og spildevandsudløb flokkulerer og sedimenterer ved overgangen fra fersk til mere saltholdigt vand. Imidlertid vil kun en mindre del af det oprindeligt partikulært bundne cadmium forblive på partikkelform ved overgangen fra fersk- til saltvand. Hovedparten vil frigives fra partiklerne under dannelsen af stabile, opløste cadmium-chlorokomplekser. Cadmium er i saltvand et yderst mobilt tungmetal og vil i overvejende grad findes i vandfasen.

2) Ved udfældning af carbonat og sulfid

I stærkt alkalisk miljø (pH = 10) og ved høje cadmiumkoncentrationer ($> 1 \mu\text{g}/\text{l}$) kan der ske udfældning af cadmiumcarbonat. Disse ekstreme betingelser vil ikke optræde under naturlige forhold. I beskyttede marine områder, evt. med tilførsel af organisk materiale, kan sedimentet i varme periode med stillestående vand blive iltfrit. Denne situation er typisk for mange af vore fjorde i sommermånederne. Den bakterielle nedbrydning af organisk stof sker ved "sulfatånding", hvorved der produceres store mængder svovlbrinte, der effektivt udfælder cadmium i vandet umiddelbart over bunden som cadmiumsulfid. Når sedimentet iltes, f.eks. ved kraftig vandbevægelse, frigøres cadmium igen fra sedimentet og kan føres bort med vandet.

Generelt gælder, at cadmium i sedimentet hovedsageligt findes i den fineste kornstørrelsesfraktion og især sammen med organisk stof. Finkornet sediment og et højt indhold af organisk stof er karakteristisk for områder, hvor der sker aflejring. I disse sedimentationsområder findes derfor relativt høje koncentrationer af cadmium (over 0,5 mg/kg tørt sediment). Omvendt vil sedimentet i erosionsområder hovedsageligt bestå af sand og ral og have et lavt indhold af organisk stof. Her vil cadmiumkoncentrationerne ofte være meget lave (mindre end 0,03 mg/kg tørt sediment). Høje cadmiumkoncentrationer i sedimentet er derfor ikke nødvendigvis resultatet af en lokal forurening, men kan skyldes aflejring af tilført partikulært materiale. Det generelle billede forstyrres noget omkring cadmiumbelastede spildevandsudløb og i områder, hvor der dumpes cadmiumholdigt materiale. Her er sedimentets cadmiumkoncentration høj, typisk over 5 mg/kg tørt sediment, afvigende fra den generelle overensstemmelse med sedimentets kornstørrelse og indhold af organisk stof. Danske undersøgelser viser ligeledes forhøjede koncentrationer af cadmium i sedimentet (over 5 mg/kg tørt sediment) omkring en række kystbyer og i havneområder [39].

Cadmiums kemiske tilstandsform i vandige recipienter

Det er generelt accepteret, at de frie metalioner er de mest giftige former af tungmetal-

ler for organismer i vand, mens metaller bundet i komplekser eller associeret til kolloidale partikler er langt mindre giftige. Det er derfor essentielt for forståelsen af et tungmetals giftvirkning at kende metallets kemiske tilstandsform i de forskellige akvatiske miljøer.

I ferskvand er Cd^{2+} -ionen den dominerende form – omkring 90% af det opløste cadmium; kompleksdannelse med humusstoffer kan dog i visse ferskvandstyper være af betydning. Med stigende saltholdighed øges kompleksdannelsen mellem cadmium og chloridioner, og selv i brakvand er cadmium-chloridkomplekserne allerede de dominerende former af opløst cadmium. I det åbne hav udgør komplekserne mere end 90%, og de frie Cd^{2+} -ioner kun omkring 2% af det opløste cadmium [40].

Cadmiums biologiske omsætning i det akvatiske miljø

Uanset deres placering i fødekæderne koncentrerer akvatiske organismer cadmium ad flere veje:

- 1) ved adsorption til ydre overflader (f.eks. celleoverflade hos encellede planktonalger, kalkskelet hos krebsdyr etc.)
- 2) ved absorption af opløste Cd^{2+} -ioner gennem ydre overflader (f.eks. gæller).
- 3) ved optagelse fra tarmen af cadmium i føden.

Betydningen af de enkelte veje er helt afhængig af organismernes art og placering i fødekæderne. I fødekædernes nedre trin (alger, vandlopper, filtrerede muslinger) spiller adsorption til cellevæg, henholdsvis kalkskelet/skaller samt absorption gennem de ydre overflader af Cd^{2+} -ioner, den største rolle. Hos marine dyr placeret højere i fødekæden (primært fisk) sker cadmiumoptagelsen hovedsageligt via føden. Derimod synes optagelsen af cadmium hos ferskvandsfisk primært at ske ved absorption gennem gæller af frie Cd^{2+} -ioner, antagelig som følge af disses relativt langt større andel i ferskvand.

Det fremgår således, at cadmium i nogen grad indgår i de akvatiske fødekæder, men eksempler på opkoncentrering igennem fødekæderne, baseret på analyser af hele dyr, er yderst sparsomme. Derimod kan koncentrationen af cadmium i enkelte organer (fordøjelseskirtel, lever og nyrer) være stigende gennem fødekæderne.

Bioakkumulering af cadmium hos bløddyr

Mange undersøgelser har demonstreret bløddyr enorme evne til at akkumulere cadmium. Således kan muslinger fra cadmiumforurenede områder indeholde koncentrationer over 100 mg/kg tørvægt. Denne høje affinitet for cadmium hos bløddyr hænger antagelig sammen med disse dyrs særligt store kapacitet til at syntetisere et protein, metallothionein, der effektivt afgifter og binder cadmium i fordøjelseskirtel og nyre.

Bløddyrene påvirkes tilsyneladende ikke selv af de høje cadmiumkoncentrationer, men udgør en kritisk organismegruppe i den biologiske transport af cadmium i det akvatiske miljø, idet prædatorer med en ensidig diæt af bløddyr (f.eks. vadefugle og dyk-

ænder) kan udsættes for massiv cadmiumbelastning. Eksempelvis har man konstateret alvorlige skader i tesktiklerne hos gråænder, der igennem en 90 dages periode havde modtaget en cadmiumrig føde (20 mg/kg tørvægt).

Muslinger har vist sig velegnede som overvågningsorganismer over for tungmetalforurening og benyttes i stigende grad verden over. Fig. 4.8 viser cadmiumkoncentrationer i blåmuslinger indsamlet i perioden 1975-78 fra en række danske lokaliteter. Set i relation til mange internationale undersøgelser er hovedparten af værdierne lave og tyder ikke på toksiske koncentrationer af cadmium i danske marine farvande. Dog synes Køge Bugt og visse områder af Limfjorden at være cadmiumforurenede. Hvis blåmuslingernes cadmiumkoncentration generelt afspejler koncentrationen i områdernes øvrige bløddyr, kan man ikke udelukke biologiske effekter (til eksempel nedsat fertilitet) hos fugle, som i længere perioder ensidigt ernærer sig af bløddyr.

Biologiske skader af cadmium i det akvatiske miljø

Cadmium kan på grund af stor affinitet til en række biokemisk aktive grupper hæmme mange enzymer, enten ved at udskifte essentielle metaller i metalloenzymer eller ved at bryde disulfidbroer og ændre enzymernes rumlige struktur. Skadevirkninger vil især vise sig i organismernes tidligste stadier, hvor differentiering og vækst foregår.

Hos fisk og pattedyr, som er de bedst undersøgte organismegrupper, påvirker kronisk cadmiumforgiftning især leverens og nyrens funktioner. Fisk, som udsættes for høje cadmiumkoncentrationer, udvikler hurtigt calciummangel og får nedsat hæmoglobin-koncentration i blodet. Calciummanglen kan resultere i skeletdeformationer og eventuelt medføre døden [45].

Faktorer som påvirker giftigheden af cadmium

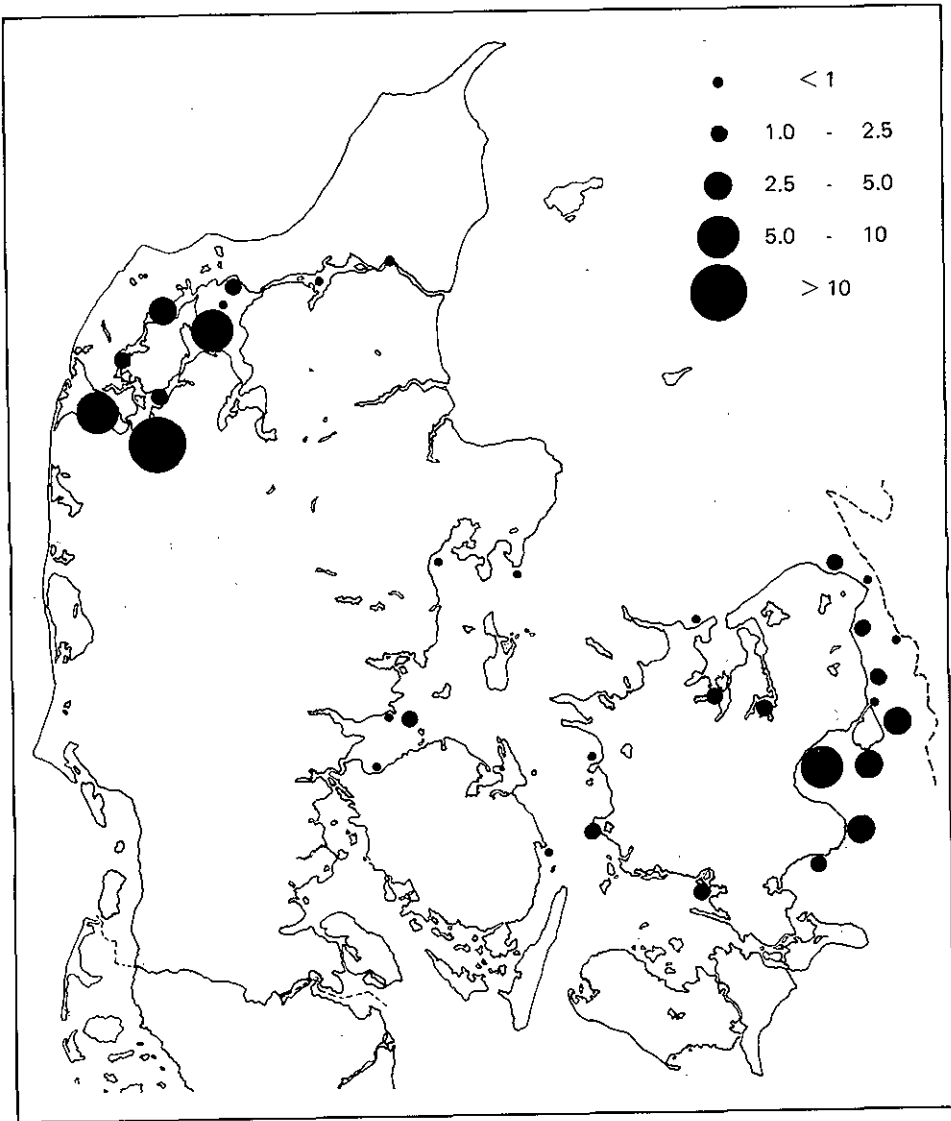
Det gælder generelt, at cadmium optages hurtigere og er langt mere giftigt i ferskvand end i saltvand. Endvidere er giftigheden højest i "blødt vand", dvs. vand med et lavt indhold af bl.a. calcium. Der er to lige sandsynlige forklaringer:

- 1) Cadmium optages udelukkende som frie Cd^{2+} -ioner, og optagelsesraten afhænger kun af denne koncentration. Cd^{2+} -ionens stigende andel af det totale cadmium med faldende saltholdighed medfører en øget optagelse og dermed giftvirkning af cadmium.
- 2) Cadmium optages ad samme vej som calcium. I ferskvand og specielt i kalkfattige søer og vandløb må omsætningshastigheden af de mekanismer, der står for calciumoptagelse, være høj for at dække organismernes calciumbehov. Da cadmium optages ved samme mekanisme, er akkumuleringsraten dermed høj. Dette bevirker en øget giftighed. Akvatiske organismer i ferskvand og især i kalkfattige søer er således de mest sårbare over for cadmiumforurening.

Toksiske niveauer af cadmium

Modstandsdygtighed over for cadmium hos akvatiske planter og dyr er meget variabel.

Figur 4.8: Cadmium i bløddede fra blåmusling (30-60 mm), indsamlet 1975-78.
 Koncentrationer i mg/kg tørvægt [41, 42, 43, 44]
Cadmium in soft tissue from blue mussels (30-60 mm).
Concentrations in mg/kg dry matter.



Her skal specielt nævnes nogle undersøgelser, hvor man har iagttaget biologiske effekter ved koncentrationer, som kan forekomme i cadmiumforurenede områder.

I *ferskvand* er det især ørredfisk, dafnier og planktonalger, som har vist sig at være følsomme over for cadmiumforgiftning. I "blødt vand" (20-40 mg/l som CaCO_3) er cadmiumkoncentrationer så lave som 1-3 $\mu\text{g/l}$ akut toksiske over for en række ørredfisk bl.a. regnbueørred. I "hårdt vand" mangedobles fiskenes resistens over for cadmiumforgiftning. Ved kronisk cadmiumforgiftning af larvestadierne af kildeørred, havørred og gedde øges dødeligheden signifikant ved koncentrationer på 0,9-3,7 $\mu\text{g/l}$ (hårdhedsgrad 44 mg/l som CaCO_3) [46]. Hos dafniekulturer har man registreret fald i biomassen ved cadmiumkoncentrationer omkring 4 $\mu\text{g/l}$, men fald i reproduktionsevnen hos *Daphnia magna* og ændringer i en sø's naturlige zooplanktonsammensætning indtrådte ved langt lavere cadmiumkoncentrationer, nemlig henholdsvis 0,34 og 0,2 $\mu\text{g/l}$ [47, 48]. Resultaterne understreger dafniers store følsomhed over for cadmiumforurening. Det fremgår således, at man bør være yderst restriktiv over for udledning af cadmiumholdigt spildevand til de ferske vande.

Saltvandsorganismer er generelt langt mere resistente over for cadmium. Enkelte arter har dog vist sig relativt følsomme over for cadmiumforurening, bl.a. visse krebsdyr og hydroider.

Her skal nærmere omtales forsøg med mysiden, *Mysidopsis bahia* [49]. Ved forskellige cadmiumkoncentrationer undersøgte man fire parametre: 1) overlevelse, 2) udviklings-tid for første kuld, 3) tidspunkt for frigivelse af unger fra rugeposen, 4) gennemsnitligt antal unger frigivet pr. hun i løbet af en 23 dages periode. Ved 10,6 $\mu\text{g/l}$ af cadmium var mortaliteten 10%; 6,4 $\mu\text{g/l}$ blev udviklingen og frigivelsen af første kuld forsinket med henholdsvis 24 og 48 timer, mens antal unger frigivet pr. hun faldt med 60%. Derimod var der ingen effekt på de undersøgte parametre ved 4,8 $\mu\text{g/l}$. På baggrund heraf forekommer det usandsynligt, at cadmium, isoleret betragtet, direkte har nogen skadelige effekt på organismer i det danske marine miljø. Dog kan synergistiske effekter, hvis cadmium optræder sammen med andre miljøgifte, ikke udelukkes. Ligeledes må belastningen med cadmium i visse dele af Limfjorden karakteriseres som direkte uacceptabel, idet prædatorer af bløddyr her udsættes for massiv cadmiumbelastning med fare for lever/nyreskader og nedsat fertilitet.

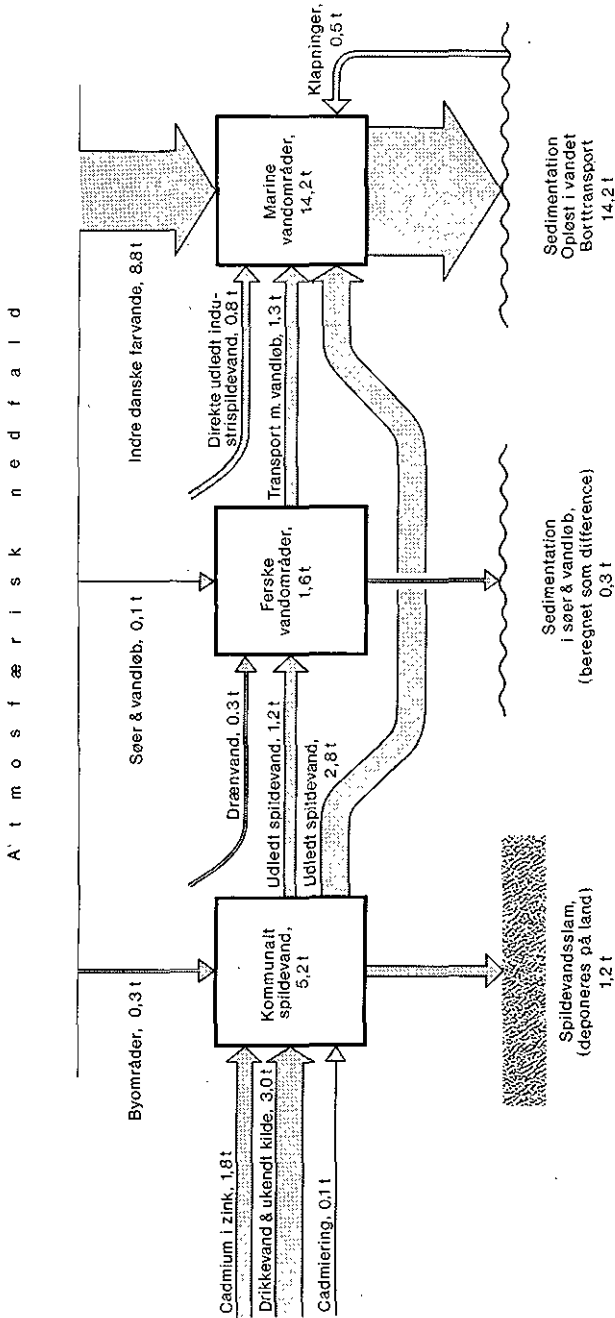
Balance for cadmium i ferske og marine områder

I [37] er der opstillet et skøn over mængden af cadmium, der tilføres de ferske og marine områder. Fig. 4.9 viser cadmiumkilderne og cadmiums transportveje i de ferske og marine vandområder.

Til de ferske vandområder tilføres hovedparten af cadmium med kommunalt spildevand. Til de marine vandområder tilføres 2,8 tons cadmium årligt med kommunalt spildevand. Atmosfærisk nedfald er generelt den dominerende cadmiumkilde for de marine områder. Den direkte udledning af cadmium med industrispildevand vil, på grund af myndighedernes krav til spildevandsrensning, i 1985 være reduceret til 0,3 tons pr. år.

For de to vandområder Øresund og Lillebælt er cadmiumtilførslen opgjort i [37]. For

Figur 4.9: Flowdiagram for transport af cadmium i ferske og marine vandområder.
Flow diagram for transportation of cadmium in fresh water and marine areas in Denmark.



begge områder udgør det atmosfæriske nedfald ca. en fjerdedel af tilførslerne. For Øresund udgør den danske cadmiumudledning 45% af tilførslerne – idet det forudsættes, at rensningsanlægget på Lynetten fungerer – og den svenske andel 28%. Med kommunalt spildevand tilføres til Øresund 60% af cadmiummængden. I Lillebælt er industriudledningen den største kilde (55%); men i 1985 skal industriudledningen være reduceret til 36% af tilførslen på grund af myndighedernes krav til spildevandsrensning. De her anførte tilførsler er eksklusive den årlige nettotransport med vandmasserne fra de tilgrænsende vandområder (Østersøen). Denne transport er ca. 3 gange så stor som tilførslerne for Øresund og ca. 1½ gang så stor som tilførslerne for Lillebælt.

Hvis tilførslerne af cadmium til marine områder ønskes reduceret væsentligt, kan det kun gøres, såfremt cadmiumtilførslerne fra det atmosfæriske nedfald reduceres. En mekanisk-biologisk rensning af alt spildevand vil kun reducere den udledte cadmiummængde på 4 tons/år med ca. 0,7 tons pr. år. Da cadmium tilføres fra små og diffuse kilder, er det umuligt konsekvent at rense ved kilderne. Hvis cadmiummængden i kommunalt spildevand skal reduceres, er det kun muligt, hvis man reducerer forbruget af cadmium og derved undgår at tilføre cadmium til spildevandet. Cadmium kan fjernes ved yderligere spildevandsrensning, men de eksisterende teknologiske løsninger er meget kostbare. Der må imidlertid forventes et fald i tilførslerne af cadmium, efterhånden som der bliver færre cadmierede genstande, og galvaniserede genstande udskiftes med nyere galvaniserede emner, hvor der har været anvendt en renere zinkkvalitet med hensyn til cadmium.

4.4. Sammenfatning

Den nuværende forekomst af cadmium som sporstof i omgivelserne i Danmark er i almindelighed på et rimeligt lavt koncentrationsniveau. Dette udelukker ikke, at enkelte afgrænsede områder er relativt belastede af udslip fra bysamfund inklusive industri, som en del danske undersøgelser af luft- og vandkvalitet har vist. Disse lokale problemer synes i almindelighed at være atypiske for den generelle forureningssituation, og bør i hvert enkelt tilfælde undersøges for muligheder for reduktion af belastningen med cadmium.

Til vurdering af de enkelte recipienters følsomhed over for en kontinuert belastning kan den gennemsnitlige opholdstid for cadmium i recipienten benyttes. Baseret på oplysningerne i afsnit 4.1-4.3 er det muligt at beregne de omtrentlige opholdstider for cadmium i de tre medier luft, havvand og de øverste jordlag i Danmark, som vist i tabel 4.6. Naturligvis angiver tallene kun størrelsesordener for opholdstider, men der er meget stor forskel mellem de beregnede opholdstider i atmosfæren på omkring 10 dage, i havet på ca. 1 år og i jorden på omkring tusinde år. Dette betyder, at ændringer i cadmiumbelastninger af de tre medier hurtigst kan registreres i luftkvaliteten, mens havet mere langsomt indstiller sig på en ligevægtstilstand. For jordens vedkommende vil korttidsændringer næppe kunne registreres.

Omvendt må det antages, at de nuværende koncentrationsniveauer for cadmium i luft og i havet ikke vil stige, hvis ikke belastningen stiger permanent. Anderledes forholder

Tabel 4.6: Cadmium i omgivelserne i Danmark. Overslag over opholdstider for cadmium i luft, vand og jord. Talangivelserne er skønnede ud fra oplysninger i denne rapport.

Cadmium in the environment in Denmark. Approximate retention time for cadmium in air, water and soil. The figures are guestimates, based on information in this report.

Medie	Omtrentlig koncentration	Omtrentlig oplagring	Transport gennem medie	Omtrentlig opholdstid
<i>Media</i>	<i>approximate concentration</i>	<i>approximate stock</i>	<i>transport through media</i>	<i>approximate retention time</i>
	µg/kg	tons	t/år (t/year)	år (years)
Luft (Air)	0,002	0,5	15	0,03
Vand (hav) Water (sea)	0,05	15	15	1
Jord Soil	200	2000	2	1000

det sig for jorden, hvor koncentrationen af cadmium sandsynligvis er stigende som følge af en stadig belastning af dette medie, og en meget langsom nedsivning af cadmium.

De angivne koncentrationer af cadmium i luft er i almindelighed lave og uproblematisk ved indånding.

For jordarealernes vedkommende er der grund til at pege på det uheldige i en fortsat stigning i jordens koncentration af cadmium, som formodentlig for befolkningen vil føre til øget indtagelse af stoffet med føden i fremtiden. Som der redegøres for i kapitel 6, er befolkningens belastning med cadmium fra føden relativt stor, og en forøgelse af belastningen må bedømmes som uønsket. Desuden kan øgede koncentrationer af cadmium i jorden medføre utilsigtede virkninger på flora og fauna, omend der ikke på nuværende tidspunkt kan konstateres skadelige effekter i Danmark. Årsagen til jordens stigende indhold af cadmium må søges i en relativt stor atmosfærisk tilførsel, og en lige så stor tilførsel med handelsgødning. Herved bliver udledning af cadmium til luft en vigtig belastning af jorden og begrænsninger kan blive en nødvendighed. Ligeledes kan en nedbringning af cadmiumindholdet i handelsgødning blive aktuel.

For ferske vande er situationen noget usikker. De anførte koncentrationer af cadmium, der influerer på faunaens trivsel, er så lave, at det må antages, at spildevandsudledning

i en fersk vandrecipient i nogle tilfælde kan medvirke til en ændring af den økologiske balance. Det er dog tvivlsomt, om cadmium vil være den vigtigste årsag hertil, men visse industriudledninger, specielt fra galvaniseringsanstalter, har forårsaget skader som følge af udledning af tungmetaller, inklusive cadmium.

For de åbne danske havområder generelt er den nuværende belastning med cadmium formodentlig uden nævneværdig miljømæssig betydning. Der er dog konstateret relativt høje koncentrationer af cadmium i enkelte prøver af blåmuslinger fra Køge Bugt og fra visse dele af Limfjorden.

Referencer til afsnit 4:

- [1] Jensen, F. P. og Torp, U. Luftkvaliteten i Danmark, vurderet på basis af foreliggende undersøgelser, miljøstyrelsens luftforureningslaboratorium, rapport MST, LUFT – A 34, Risø (1980)
- [1a] Oplyst af miljøstyrelsens luftforureningslaboratorium, Risø
- [2] Markard, C. et al. Luftqualitätskriterien für Cadmium, Umweltbundesamt, Berichte 4/77. Berlin (1977).
- [3] VDI-Richtlinie Nr. 2310, Sept. 1974. VDI-Handbuch, Reinhaltung der Luft in Beuth-Vertrieb, Berlin/Köln (1974)
- [4] Hovmand, M. F. Atmosfærisk Metalnedfald i Danmark 1975-76. Licentiatafhandling. Institut for økologisk Botanik, Københavns Universitet (1977)
- [5] Pilegaard, K., Rasmussen, L., Gydesen, H. Atmospheric background deposition of heavy metals in Denmark monitored by epiphytic cryptogams. J. Appl. Ecology, 16, 843-54 (1979)
- [6] Andersen, A., Engberg, Å, Cadmium, bly, kobber og zink i oksenyrrer fra Jylland. Publ. nr. 36, Statens Levnedsmiddelinstitut, København (1977)
- [7] Buch, H. et al. The variations in the concentration of airborne particulate matter with wind direction and wind speed in Denmark. Atmos. Envir. 10, 159-62 (1976)
- [8] Pilegaard, K. Heavy metals in bulk precipitation and transplanted *Hypogymnia physodes* and *Dicranoweisia cirrata* in the vicinity of a Danish steelwork. Water, Air and Soil Pollution. 11, 77-91 (1979)
- [9] Larsen, E. H. Tungmetalforurening af frugt og grøntsager dyrket i Københavns vestegn, 1978. Publ. nr. 41, Statens Levnedsmiddelinstitut, København (1980)
- [10] Van Enk, R. H. The Pathway of cadmium in the European Community. EUR 6626 EN. CEC. Joint Research Centre. Ispra Establishment. Italien (1979)
- [11] Tjell, J. C., Hovmand, M. F. Metal Concentrations in Danish Arable Soils. Acta Agric. Scand. 28, 81-89 (1978)
- [12] Anderson, A. Heavy Metals in Swedish Soils: On their Retention, Distribution and Amounts. Swed. J. agric. Res. 7, 7-20 (1977)
- [13] Øien, A. Bestemmelse av Bly, Kadmium og Kviksølv i Jord ved Atomabsorpsjon. NJF Seminar om Tungmetaller, sirkulasjon i Jordbruket. Ladelund 21-23. okt. 1975, Ås-Trykk. Norge

- [14] Scharpenseel, H. W., Backmann, H. Schwermetalluntersuchungen an terrestrischen, hydromorphen und subhydrischen Böden aus ländlichen sowie stadt- und industrienahen Bereichen. Landw. Forsch. 28 128-34 (1975)
- [15] Hutchinson, T. C. Kapitel 3 i: Effects of Cadmium in the Canadian Environment. Publ. no. NRCC 16743 of the Environmental Secretariat. Ottawa (1979)
- [16] Yamagata, N. Cadmium in the Environment and in Humans. Kapitel 3 i: Cadmium Studies in Japan: A Review. Kodansha/Elsevier. Tokyo (1978)
- [17a] Damgaard Larsen, S., Larsen, K. E., Søndergaard Klausen, P. Årlig tilførsel af slam fra rensningsanlæg til landbrugsjord. Tidsskr. f. Planteavl, 83 349-86 (1979) Enkelttal oplyst direkte fra Askov-Forsøgsstation.
- [17b] Damgaard-Larsen, S., Søndergaard Klausen, P., Larsen, K. E. Engangstilførsel af slam fra rensningsanlæg til landbrugsjord. Tidsskr. f. Planteavl 83 387-403 (1979)
- [18] Hovmand, M. F. Cirkulation af Bly, Cadmium, Kobber, Zink og Nikkel i Dansk Landbrug. Fokuseringskapitel IV. Slammets Jordbrugsanvendelse. P. F. Forlag, Lyngby (1980)
- [19] Aaby, B., Jakobsen, I. Changes in biotic conditions and metal deposition in the last millennium as reflected in ombrotropic peat in Draved Mose, Denmark. D.G.U. årbog 1978 5-43 (1979)
- [20] Scientific and Technical Assessment Report on Cadmium, EPA-600/5 75-003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., 1975
- [21] Tjell, J. C. Atmosfærisk tilførsel til landbrugsområder af spormetallerne bly, cadmium og zink med nedbør og støv. Delrapport II. Slammets Jordbrugsanvendelse. P.F. Forlag, Lyngby (1980)
- [22] Zöttl, H. W. Der Wald und die Schwermetalle. Allg. Forst. Z. 47, 1282-3 (1979)
- [23] Christensen, T. H., Pedersen, N. E., Foreløbige vurderinger af den langsigtede ned-sivning af Cadmium fra arealer tilført slam i henhold til amerikanske retningslinier. Delrapport IX. Slammets Jordbrugsanvendelse. P.F. Forlag, Lyngby (1980)
- [24] Jensen, J. Indhold af B, F, Mn, Cu, Cd, Pb og Zn i drænvand. Tidsskr. f. Planteavl 82, 540-48 (1978)
- [25] Christensen, T. H. Cadmium sorption onto two mineral soils. Rep. 80-1. Dept. Sanitary Engineering. Technical University of Denmark, Lyngby, February 1980
- [26] Davies, B. E., Ginnever, R. C. Trace metal contamination of soils and vegetables in Shipham, Somerset. J. Agric. Sci., Camb. 93 733-56 (1979)
- [27] Tjell, J. C., Plantetilgængelighed af spormetaller. Effekt af jordtype og pH. Kar-forsøg. Delrapport III D. Slammets Jordbrugsanvendelse. P.F. Forlag, Lyngby (1980)
- [28] Williams, C. H. Trace Metals and Superphosphate: Toxicity Problems. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 43, 99-109 (1977)
- [29] Tjell, J. C. et al. Planteoptag af bly, kviksølv og cadmium fra atmosfæren. Delrapport III G. Slammets Jordbrugsanvendelse. P.F. Forlag, Lyngby (1980)
- [29a] Hutton, M., Goodman, G. T.: Metal Contamination of feral Pigeons *Columba Livia* from a London Area: Part 1 - Tissue Accumulation of Lead, Cadmium and Zinc. Environ. Pollut. ser. A. 22, 207-17 (1980)
- [29b] Furness, R., Hutton, M.: Pollutant Levels in the Great Skua *Catharacta Skua*. Environ. Pollut. ser. A. 21, 261-68 (1979)

- [30] Petersen, U., Vemmer, H. Untersuchungen über den Einfluss steigender cadmiumzulagen auf die Entwicklung von Mastschweinen und auf die Rückstandsbildung in verschiedenen Geweben.
2. Mitteilung: Cadmiumrückstände in verschiedenen Geweben Landw. Forsch. 32, 316-25 (1979)
- [31] Nezel, K., Vogt, H. Der Einfluss von Cadmiumzusätzen zum Broiler- und Legehennenfutter auf die Leistung der Tiere und auf Rückstandsgehalte in den Geweben und Eiern.
2. Mitteilung: Einfluss verschiedener Cadmiumsätze zum Futter auf die Rückstände in den Geweben und den Eiern. Active Geflügelkunde, 41, 81-86 (1977)
- [32] Willoughby, R. A. A Review of cadmium toxicity in Domesticated mammals. Ed. proc. first int. cadmium conf. San Francisco 1977. Metal Bulletin Ltd., London (1978)
- [33] Hammons, A. S. et al. Reviews of the Environmental Effects of Pollutants: IV. Cadmium. Oak Ridge National Lab., NTIS PB-283-085, Springfield, Va. USA, (1978)
- [34] Andersen, A. Spormetaller (kviksølv, bly, cadmium, kobber, zink, antimon, selen og arsen) i dansk svinekød og nyre samt i dansk kyllingekød og lever. Statens Levnedsmiddelinstitut. Rapport nr. F 79004, København (1978)
- [35] Tyler, G., Westman, L. Effekter av tungmetallforurening på nedbrytningsprosesser i skogsmark. VI. Metaller och svavelsyra. Naturvårdsverket SNV PM 1203, Sverige (1978)
- [36] Andersen, C. Cadmium, Lead and Calcium content, number and biomass in biomass in earthworms (Lumbricidae) from sewage sludge treated soil. Pedobiologia 19, 309-19 (1979)
- [37] Jensen, A. og Møhlenberg, F. The Ecotoxicology of Cadmium in Fresh and Sea Water and Water Pollution with Cadmium in Denmark. Miljøstyrelsen, oktober (1980)
- [38] Cadmium in the Environment and Its Significance to Man, Pollution Paper No. 17, Department of the Environment, London, 1980
- [39] Danish Marine Monitoring, Methods and Data. Part IV: Sediment data from marine areas between Skagerak and the Western Baltic. Miljøstyrelsen, København (1978)
- [40] Mantours, R. F. C., Dickson, A. & Riley, J. P. The complexation of metals with humic materials in natural waters. Est. mar. Cost. Sci. 6, 387-408 (1978)
- [41] Danish Marine Monitoring, Methods and Data. Part III: The concentrations of selected heavy metals in bottom vegetation and bottom invertebrates. Miljøstyrelsen, København (1978)
- [42] Phillios, D. J. H. Trace metals in the common mussel *Mytilus edulis* (L.), and in the alga *Fucus vesiculosus* (L.) from the region of the Sound (Øresund). Environ. Pollut. 18, 31-43 (1979)
- [43] Vandkvalitetsinstituttet. Akkumulering af tungmetaller i sediment, bundvegetation, bundfauna og fisk. Delrapport nr. 8 for Hovedstadsområdet vedr. Køge Bugt. Hørsholm (1977/78)
- [44] Resultater fra Struer Levnedsmiddelkontrol og Statens Levnedsmiddelinstitut.
- [45] Roch, M. & Maly, E. J.: Relationship of cadmium-induced hypocalcemia with mortality in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and the influence of temperature on toxicity. J. Fish. Res. Board Can. 36, 1297-1303 (1979)

- [46] Eaton, J. G. et al. Metal toxicity to embryos and larvae of seven freshwater fish species. *Cadmium. Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 19, 95 (1978)
- [47] Biesinger, K. E. & Christensen, G. M. Effects of various metals on survival, reproduction, and metabolism of *Daphnia Magna*. *J. Fish. Res. Board Can.* 29, 1691 (1972)
- [48] Marshall, J. S. & Mellinger, D. L. Dynamics of cadmium-stressed plankton communities. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37, 404-14 (1980)
- [49] Nimmo, D. R. et al. *Mysidopsis bahia*: An estuarine species suitable for life-cycle toxicity tests to determine the effects of a pollutant. *Aquatic Toxicol. Hazard Eval. ASTM ST634* (1977)
- [50] Poelstra, P., Frissel, M. J., El-Bassam, N. Transport and accumulation of Cd ions in soils and plants. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.* 142 848-64 (1979)

5. Danmarks cadmiumbalance

Det fremgår af afsnit 2 og figur 5.1, at der til Danmark årligt *importeres* ca. 90 tons cadmium fordelt på ca. 11 tons rent metal, som hovedsageligt anvendes til fremstilling af legeringer, ca. 59 tons i halvfabrikata f.eks. farvestoffer og færdigprodukter som akkumulatører, og ca. 20 tons som følgestof i zink, kul, olie og gødning.

Fra Danmark *eksporteres* årligt ca. 20 tons cadmium fordelt på ca. 13 tons i varer f.eks. plastlegetøj, og ca. 7 tons som affald i form af cadmiumholdigt metalstøv.

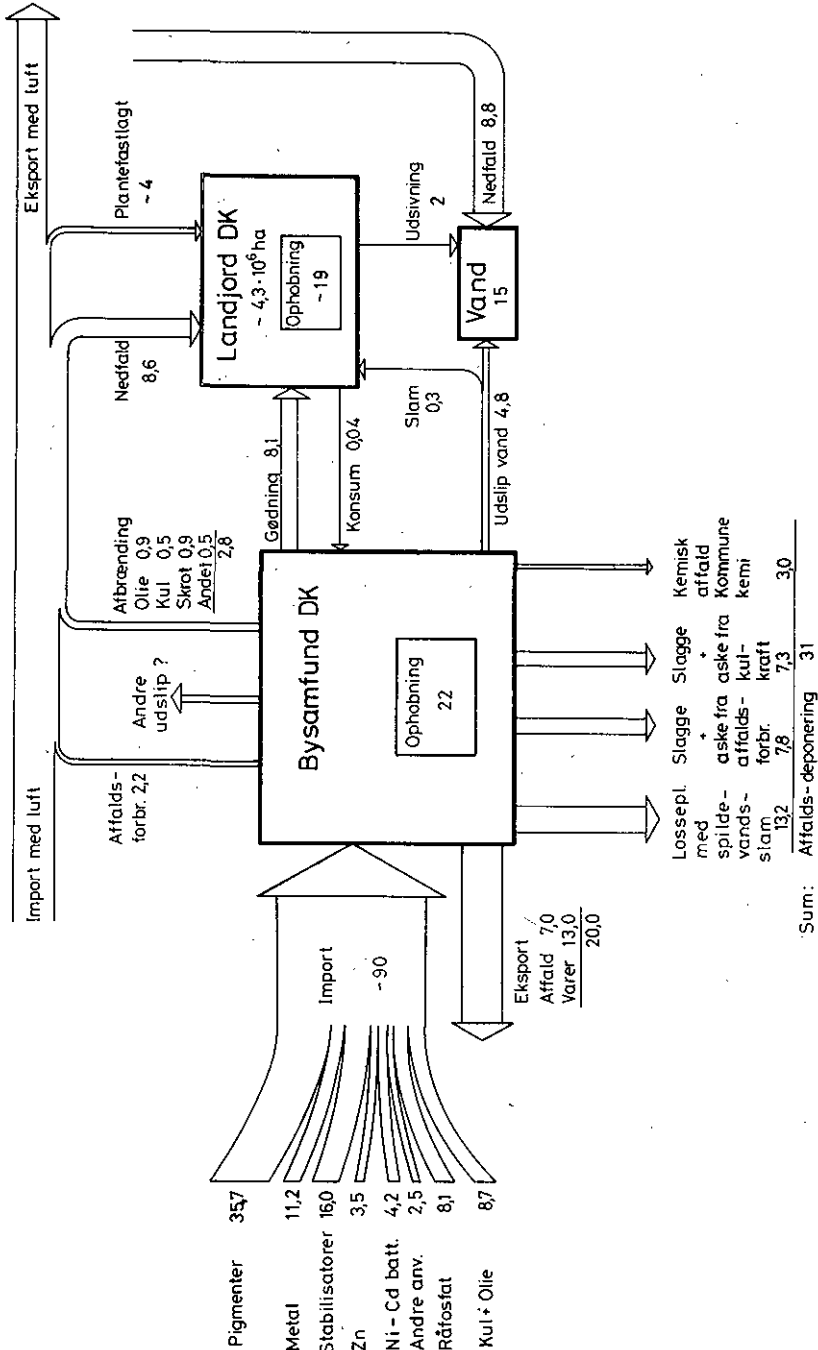
Den faktiske import/eksport af cadmium med varer er opgjort med betydelig usikkerhed, idet det ved de fleste anvendelser kun er muligt at anslå nettoimporten. Såvel import som eksport af cadmium kan derfor nemt være betydeligt større end her angivet. Nettoforbruget af cadmium i Danmark er af størrelsesordenen 77 tons årligt. Af dette nettoforbrug *ophobes* ca. 22 tons cadmium årligt i samfundet i forskellige færdigprodukter. Resten af nettoforbruget spredes som nævnt i afsnit 3 til omgivelserne i form af udslip til *luft* (ca. 5 tons årligt) udslip til *jord* (ca. 8 tons årligt) og udslip til *vand* (ca. 5 tons årligt). Endvidere *deponeres* ca. 31 tons årligt på lossepladser og andre affaldsdepoter. Fra depoter vil der foregå en vis *udvaskning* af cadmium, hvis omfang dog ikke nærmere er kortlagt. Det nuværende udslip af cadmium til luft ved smeltning af jernskrot er ligeledes ukendt.

Det fremgår desuden af afsnit 4, at der med atmosfærisk *nedfald* årligt tilføres omkring 13 tons cadmium til jord og ca. 9 tons cadmium til vand, dvs. til danske søer og vandløb samt til de danske marine områder indenfor Skagen. (Nedfald over Nordsøen er ikke medregnet i denne opgørelse).

En væsentlig del af dette nedfald stammer fra det øvrige Europa og er i figuren betegnet som *import af cadmium med luft*. Endvidere må forventes en vis *eksport af cadmium med luft* til andre lande. Det faktiske omfang af denne import/eksport kendes ikke. Cadmiumbalancen er forsøgt anskueliggjort i figur 5.1.

Figur 5.1: Danmarks Cadmiumbalance. Alle tal i tons Cd/år.

The cadmium balance for Denmark. Figures in metric ton Cd/year.



6. Kilder til befolkningens cadmiumeksponering

6.1. Levnedsmidler

På baggrund af den mere eller mindre naturlige forekomst af cadmium i landbrugsjord – såvel i Danmark som i andre lande – samt den spredning, der iøvrigt finder sted med luft og vand, vil alle levnedsmidler indeholde cadmium i større eller mindre mængde.

Det karakteristiske indhold af cadmium i danske levnedsmidler fremgår af tabel 6.1. Det ses, at det største indhold af cadmium findes i gruppen "indmad", hvilket beror på, at cadmium hos dyr koncentrerer i nyre og lever.

Indtagelsen af cadmium med en dansk gennemsnitskost, den såkaldte normalindtagelse, er i tabellen opgjort til ca. 30 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{dag}$. Denne indtagelse stammer hovedsageligt fra konsum af kartofler, grøntsager, kornprodukter og indmad.

Indtagelse af cadmium med en ren vegetarkost er opgjort til ca. 31 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{dag}$ [1]. Der er således ingen væsentlig forskel på en ren vegetarkost og en normal kost. Vegetarkostens større bidrag af cadmium med grøntsager m.m. opvejes af den mindskede indtagelse med kød og fisk.

Som nævnt i afsnit 4.2 vil indholdet af cadmium i grøntsager og andre afgrøder variere betydeligt, alt efter hvor i Danmark disse er dyrket dvs. afhængig af jordbundsforhold og cadmiumtilførsel.

For størsteparten af den danske befolkning vil denne variation være betydningsløs, idet det må antages, at der ved distributionen af grøntsager og andre levnedsmidler sker en sådan udjævning, at den faktiske indtagelse af cadmium ikke afviger væsentligt fra den normal indtagelse, der fremgår af tabel 6.1.

Imidlertid vil befolkningsgrupper, som i udstrakt grad lever af grøntsager m.m. fra særligt belastede områder, kunne være udsat for indtagelse af cadmium, der ligger betydeligt over normalindtagelsen. Man har et eksempel fra Glostrup-området ved København. Her vil personer, hvis konsum af grøntsager og frugt dækkes af egne produkter, kunne få en cadmiumindtagelse med levnedsmidler på op til 45 $\mu\text{g}/\text{dag}$ [4], hvilket er en forøgelse på 50% i forhold til normalindtagelsen.

Særlige kostvaner kan ligeledes være årsag til, at den daglige indtagelse ligger betydeligt over normalindtagelsen. Indgår skaldyr, oksenyre eller vilde champignon med et højt cadmiumindhold fast i et ugentligt måltid i en mængde svarende til det normale konsum af fisk, kød eller grøntsager, opnås herved en indtagelse af cadmium svarende til en gennemsnitsindtagelse på henholdsvis 41 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{dag}$, 64 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{dag}$ og 190 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{dag}$ [5]. Sådanne indtagelser må dog betegnes som ekstreme og sjældent forekommende.

WHO [6] har fastsat en foreløbig tolerabel ugentlig indtagelse (PTWI) på 400-500

Tabel 6.1: Indtagelse af cadmium med dansk gennemsnitskost samt karakteristisk cadmiumindhold i levnedsmidler [1, 2, 3, 5]

Intake of cadmium from Danish average diet and cadmium content in foods.

	Konsum g/pers./dag (% af total)	Indtagelse µg/pers./dag (% af total)	Karakteristisk Cd-indhold mg/kg friskvægt
Kartofler	213 (10,8)	6,4 (21,3)	0,030
Grøntsager	114 (5,8)	2,2 (7,3)	-
Kål			0,010
Bladgrøntsager			0,043
Rodgrøntsager			0,026
Ærter og bønner			0,015
Andre grøntsager			0,008
Frugt	134 (6,8)	0,5 (1,7)	-
Kerne- og stenfrugt			0,003
Bærfrugt			0,013
Rabarber			0,009
Kornprodukter	264 (13,4)	7,9 (26,2)	0,030
Sukker	60 (3,1)	1,8 (6,0)	0,030
Frugt- og grøntkonserver incl. frugtsaft (dåsejuice)	113 (5,8)	1,6 (5,3)	-
Frugt- og grøntkonserver			0,017
Frugtsaft (dåsejuice)			0,011
Kød	132 (6,7)	<2,0 (<6,6)	-
Svinekød			0,006
Oksekød			<0,03
Fjerkrækød			0,006
Indmad	17 (0,9)	3,7 (12,3)	0,22
Fisk	27 (1,4)	0,4 (1,3)	0,014
Æg og fedt	98 (5,0)	<2,0 (<6,6)	-
Æg			<0,01
Fedt (og margarine)			<0,03
Mejeriprodukter	681 (34,7)	<1,4 (<4,7)	<0,002
Drikkevarer	111 (5,7)	0,2 (0,7)	0,002
Total	1964	<30,1	

$\mu\text{g Cd/uge}$ — svarende til 60-70 $\mu\text{g/dag}$. Til sammenligning er i tabel 6.2 gengivet den foreliggende viden om daglig indtagelse af cadmium i en række andre lande.

Tabel 6.2: Daglig gennemsnitlig indtagelse af cadmium i udlandet.

Average daily intake of cadmium in foreign countries.

Land	Daglig indtagelse $\mu\text{g/person/dag}$	Reference
Sverige	10-18	[7] Middelværdier fra flere undersøgelser fra de senere år
England (1973)	15-30	[8]
Vesttyskland (1975)	60-67	[9]
USA (1969-70)	38-92	[10, 11] Middelværdier fra flere undersøgelser
Rumænien (1970)	38-64	[12]
Czechoslovakiet (1970)	60	[13]
Japan (ikke-forurenede områder)	40-56	[7] fra flere undersøgelser fra de senere år
WHO, PTWI omregnet til daglig indtagelse	60-70	[6]

6.2. Drikkevand

Indholdet af cadmium i grundvand er normalt meget lavt, 0,1-0,2 $\mu\text{g Cd/l}$ [3], men drikkevand kan tilføres cadmium ved afsmitning fra galvaniserede vandforsyningsledninger, fra kobberledninger og armaturer, hvor der er anvendt cadmiumholdige loddemidler.

Det faktiske indhold af cadmium i drikkevand er undersøgt ved stikprøver såvel i Københavnsområdet som i enkelte jyske byer [14, 15]. Ved alle stikprøver er cadmiumindholdet bestemt for den første halve liter vand, der blev tappet om morgenen. Der er ialt foretaget stikprøver fra 67 aftapningshaner.

Hovedparten af de udtagne prøver viste ganske lave indhold af cadmium på 1 $\mu\text{g Cd/l}$ og derunder, og kun 7% af det samlede antal prøver indeholdt cadmium i større mængder end 10 $\mu\text{g Cd/l}$. Det største cadmiumindhold blev fundet i en prøve fra Københavnsområdet. Her blev målt 15 $\mu\text{g Cd/l}$.

Der er af Korrosionscentralen udført undersøgelser af afsmitningen af cadmium fra nye

galvaniserede vandledninger, hvor der var anvendt zinkkvalitet med 0,1% cadmium [16]. Efter mindst 8 timers henstand var afsmitningen $3 \mu\text{g}/\ell$, efter $\frac{1}{2}$ times henstand $1 \mu\text{g}/\ell$, og ved rindende vand var afsmitningen ikke målelig ved den anvendte metode.

På baggrund af ovennævnte undersøgelser kan det anslås, at der i Danmark gennemsnitligt indtages $2 \mu\text{g Cd/person/dag}$ med drikkevand. Det må dog forventes, at en mindre del af befolkningen vil indtage cirka $8 \mu\text{g Cd/person/dag}$ – måske endda mere. Der er her regnet med et dagligt vandforbrug på 2 liter pr. person.

Det skal til slut nævnes, at miljøministeriets bekendtgørelse nr. 6 af 4. januar 1980 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg angiver, at cadmiumindholdet i drikkevand bør være så lavt som muligt, og den højeste tilladelige værdi er $5 \mu\text{g Cd}/\ell$.

6.3. Keramik og plast

Cadmiumpigmenter i gule, orange, røde, rødbrune og grønne farver anvendes til glasurer og dekorering på porcelæn, stentøj, keramik, fajance, emalje m.m., samt til indfarvning af plast.

Ved brug af sådanne genstande i den daglige husholdning vil der kunne ske en afsmitning af cadmium til de fødevarer, som opbevares eller tilberedes. Dette vil især finde sted, hvis disse genstande anvendes til opbevaring gennem længere tid af sure fødevarer, såsom juice og syrnede mælkeprodukter.

De nuværende danske bestemmelser fastsætter, at afsmitning fra keramik m.m. ikke må overstige 1 mg cadmium pr. liters brugsrumfang eller $0,1 \text{ mg cadmium pr. dm}^2$ mundrand ved kogning i $3 \times \frac{1}{2}$ time i 4% eddikesyre [17].

Afsmitning af cadmium fra keramik kontrolleres løbende ved udtagning af stikprøver. En undersøgelse fra 1977 over afgivelse af bly og cadmium fra keramik viste, at af ialt 598 undersøgte keramikgenstande m.m. af såvel dansk som udenlandsk herkomst, blev de ovennævnte grænser kun overskredet i 4 tilfælde. I tre af disse tilfælde var grænseværdierne overskredet mere end 10 gange [18].

Der er ingen regler for afsmitning af cadmium fra plast. Erfaringer fra bl.a. danske undersøgelser [19] viser, at afsmitningen fra plast må betragtes som ubetydelig i forhold til afsmitningen fra keramik.

Det har ikke været muligt at fastlægge hvilken daglig indtagelse af cadmium, der vil finde sted på grund af afsmitning fra plast og keramik m.m., men den faktiske afsmitning vil variere meget med den håndværksmæssige kvalitet af de enkelte genstande.

Beregninger på baggrund af madlavningsforsøg viser, at såfremt en person tilbereder og anretter al sin føde i keramiske genstande, som netop overholder dansk lovgivning, vil dette kunne medføre en forøgelse af vedkommendes daglige cadmiumindtagelse med op til $55 \mu\text{g}$ ved afsmitning fra disse genstande [20]. På grund af de helt specielle forud-

sætninger er disse beregninger først og fremmest af teoretisk interesse, men udtrykker maksimalbidraget, bestemt af den eksisterende lovgivning.

Kontrollen med keramik m.m. viser, som nævnt ovenfor, at der stadig, omend sjældent, forekommer store overskridelser af grænseværdierne. Man kan derfor ikke se bort fra risikoen for endda meget store bidrag til den daglige cadmiumbelastning for enkeltpersoner, som daglig bruger genstande, der ligger op til grænseværdierne, eller er gået uden om kontrollen. Såfremt denne risiko skal elimineres, må man fastholde, at cadmiumholdige farver m.v. kun må anvendes til dekoration udvendig på genstandene og ikke på flader, der kommer i kontakt med levnedsmidler.

Det skal bemærkes, at også plastlegetøj kan være indfarvet med cadmiumpigmenter. I de tilfælde, hvor børn sutter på eller spiser dette legetøj, kan en mindre del af det cadmium, der er indeholdt i plasten, blive optaget i barnet. Erfaringer fra udenlandske undersøgelser viser dog, at optagelsen i almindelighed må betragtes som ubetydelig [21].

6.4. Tobak

Cigaretrykning er en kilde til væsentlig indtagelse af cadmium gennem luftvejene. Almindelige cigaretter indeholder 1-2 μg cadmium pr. cigaret [7]. Heraf indtages ca. 10%. En ryger med et forbrug på 40 cigaretter om dagen vil dermed kunne indtage 4-8 μg cadmium dagligt til lungerne.

6.5. Atmosfærisk støv

Som nævnt i afsnit 4.1 er indholdet af cadmium i luften og svævestøv i Danmark meget beskedent. De registrerede årsmiddelværdier er normalt af størrelsen 0,001-0,003 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Idet en voksen person med fysisk arbejde normalt indånder 20 m^3 luft i døgnet, kan den daglige gennemsnitlige indtagelse af cadmium med luft ansættes til 0,04 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{dag}$. Den maksimale cadmiumindtagelse i Danmark fra atmosfærisk luft kan ansættes til 0,2 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{dag}$.

6.6. Arbejdsmiljøet

I forbindelse med det daglige arbejde kan enkelte personer være udsat for en betydelig indtagelse af cadmium f.eks. ved beskæftigelse i metalindustrien og autolakererier, ved forarbejdning af plast, ved varmgalvanisering eller ved anvendelse af loddemidler.

Den hygiejniske grænseværdi for indtagelse af cadmium i form af støv eller uorganiske forbindelser er for tiden fastsat til 0,05 mg cadmiumstøv pr. m^3 luft, mens grænseværdien for indtagelse af cadmiumoxidrøg er fastsat til 0,02 mg cadmium pr. m^3 [22].

Antages en arbejdsdag at være på 8 timer, samt at der er 235 arbejdsdage pr. år, vil en person, der i sit arbejde udsættes for cadmium i form af støv eller uorganiske forbindelser, maksimalt opnå en gennemsnitlig daglig indtagelse på ca. 215 μg cadmium,

mens den tilsvarende indtagelse ved indånding af cadmiumdampe maksimalt kan være af størrelsen ca. 86 μg cadmium.

6.7. Vej- og husstøv

Amerikanske undersøgelser har vist, at almindeligt støv i beboelser kan indeholde betydelige mængder cadmium. I husstøv er der målt værdier på op til 105 μg cadmium/g støv. Som sandsynlig kilde peges på afslid fra gulvtæpper med PVC bagklædning, stabiliseret med cadmiumforbindelser [23]. En dansk undersøgelse viste en middelværdi på 7 μg Cd/g i husstøv [26]. Udendørsstøv fra gader og veje vil normalt indeholde 2-6 μg cadmium pr. gram støv [23].

Især oplysninger om husstøv er vigtige, idet der her kan være tale om en kilde til væsentlig cadmiumindtagelse, især for børn.

6.8. Sammenfatning

På baggrund af oplysninger i de foregående afsnit kan den nuværende indtagelse af cadmium for danskere beskrives som det fremgår af tabel 6.4.

Tabel 6.4: Indtagelse af cadmium i Danmark (μg Cd/person/dag).

Intake of cadmium in Denmark (μg Cd/person/day).

Kilde	Normalindtagelse		Mulig teoretisk Maksimalindtagelse	
	Tarmsystem	Lunger	Tarmsystem	Lunger
Levnedsmidler	30	-	190	-
Drikkevand	2	-	8	-
Keramik og plast	0	-	55	-
Tobak	0	0	-	8
Luft	-	0,04	-	0,2
Arbejdsplads	-	0	-	215
Vej- og husstøv	-	0	-	?

Når der i tabel 6.4 skelnes mellem indtagelse via tarmsystem og indtagelse via lunger, er årsagen den, at indtagelse via lunger giver anledning til en betydeligt større optagelse af cadmium i den menneskelige organisme end indtagelse via tarmsystem.

Normalindtagelsen for personer, der ikke i særlig høj grad er udsat for cadmium, er beregnet til 32 μg Cd/dag. Dette svarer til 224 μg Cd/uge. Da WHO-grænseværdien fra 1972 (PTWI) er på 400-500 μg Cd/uge, er der en sikkerhedsmargen på 2. Det er et stort spørgsmål, om denne margin er tilstrækkelig, specielt på baggrund af, at en mindre del af befolkningen kan forventes at være udsat for betydeligt højere indtagelse af cadmium end normalindtagelsen – enten fra levnedsmidler, afsmitning fra keramik og plast, tobaksrygning eller i forbindelse med det daglige arbejde.

Sandsynligheden for at en enkelt person vil være udsat for flere maksimalindtagelser samtidig må imidlertid bedømmes som minimal.

6.9. Udviklingstendenser i befolkningens cadmiumindtagelse

Under forudsætning af en fortsat tilførsel af cadmium i det nuværende omfang til den danske landbrugsjord, er det i afsnit 4.2 beregnet, at der kan forventes en forøgelse af det gennemsnitlige indhold af cadmium i dansk landbrugsjord med 5-6 g Cd/ha/år — svarende til en forøgelse på 0,8% pr. år af det nuværende indhold. Dette vil medføre en fortsat stigning i afgrødernes og dermed levnedsmidlernes cadmiumindhold.

Under forudsætning af uændrede kostvaner i befolkningen, og at der kan antages en nær ligefrem proportionalitet mellem indholdet af cadmium i jord og cadmium i afgrøder, kan den årlige forøgelse i normalkostens cadmiumindhold anslås til 0,2 µg/person/dag. Da den nuværende normalindtagelse er beregnet til omkring 30 µg/person/dag, kan det forudses, at normalindtagelsen om 10 år vil være forøget til 32 µg/person/dag, og om 100 år til 50 µg/person/dag.

Antagelsen af en ligefrem proportionalitet mellem cadmium i jord og afgrøder — ved små koncentrationer af cadmium og andre parametre fastholdt — understøttes af eksperimentelle undersøgelser omtalt i afsnit 4.2. Den fortsatte stigning i afgrødernes indhold af cadmium sandsynliggøres af en svensk undersøgelse af cadmium i vinterhvede, der viste en signifikant stigning i cadmiumindholdet fra 1916 til 1960-72 [27].

Figur 6.1 illustrerer den beregnede tidsmæssige forøgelse af normalkostens indhold af cadmium fordelt på kilder. Forøgelsen tilskrives næsten udelukkende atmosfærisk nedfald og handelsgødning. Det må understreges, at figurens tal er baseret på en række forudsætninger bl.a. uændrede kostvaner, en uændret cadmiumtilførsel til landbrugsjord og afgrøder. Afhængig af, om forudsætningerne holder i hele 100 års perioden, kan der forventes afvigelser i prognosen i opadgående eller nedadgående retning.

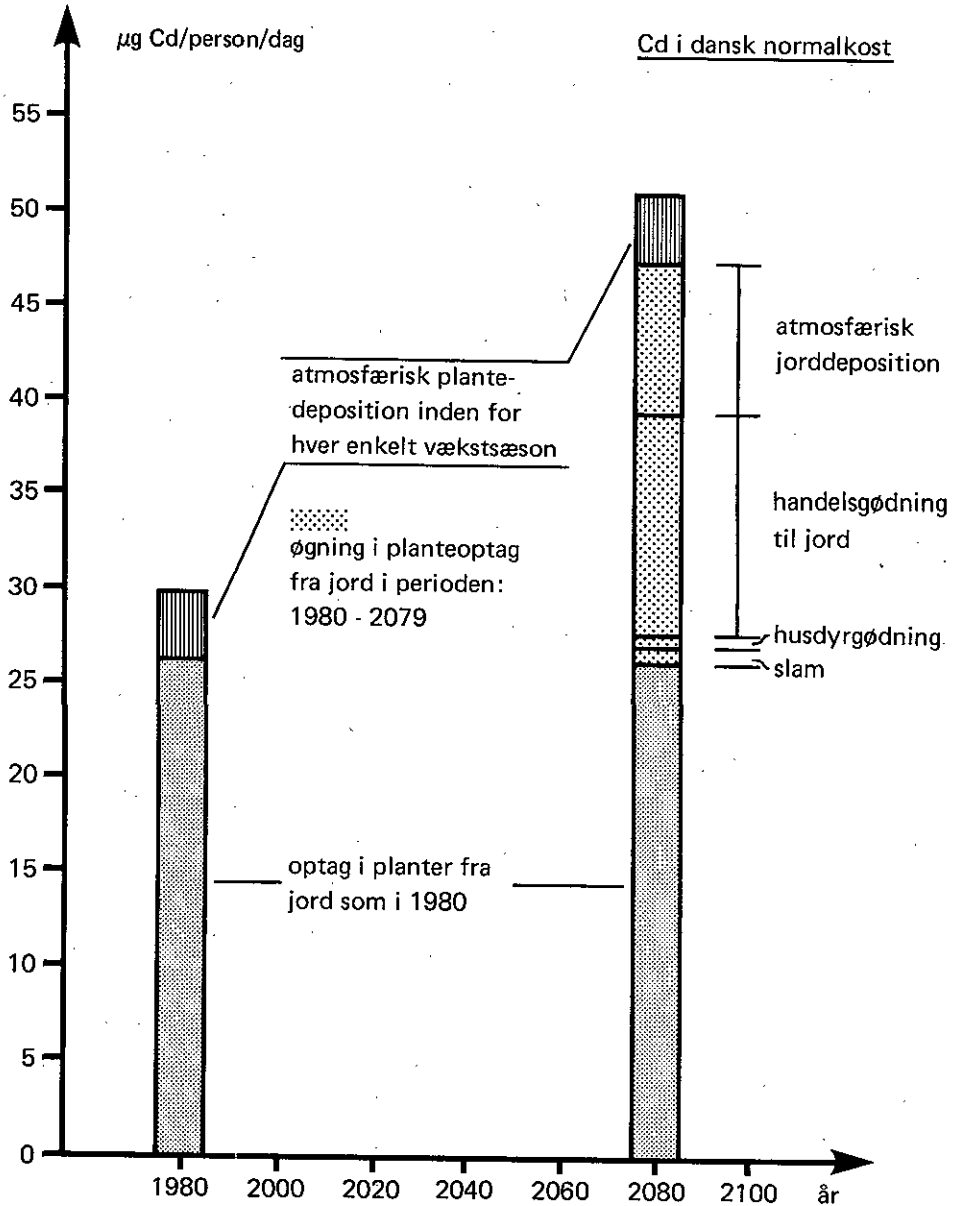
Udover levnedsmidler er de væsentligste kilder til cadmiumindtagelse drikkevand, afsmitning fra keramik m.m. og plast, indtagelse af cadmium i forbindelse med det daglige arbejde samt tobaksrygning.

I takt med, at eksisterende vandinstallationer udskiftes, må indholdet af cadmium i drikkevand forventes at mindskes. Dette beror på, at kravene til afsmitning fra varmgalvaniserede rør såvel som kravene til afsmitning af cadmium fra armaturer er skærpet i de senere år [16, 25].

I løbet af 30-50 år må det derfor forventes, at den daglige indtagelse af cadmium med drikkevand vil mindskes til mindre end 1 µg Cd/person/dag.

Figur 6.1: Ændring over 100 år i indholdet af cadmium i dansk normal kost ved uændrede kostvaner og fremskrivning af de nugældende tilførsler af cadmium til dansk landbrugsjord [24].

Prediction of the future cadmium content in the Danish average diet, assuming a continuing constant flow of cadmium to the agricultural soils.



Fremtidig indtagelse af cadmium i forbindelse med det daglige arbejde vil være bestemt af den eksisterende lovgivning. Det vides ikke, om der er planer om at ændre på de nuværende arbejdsshygieniske grænseværdier for cadmium.

Indholdet af cadmium i tobak vil utvivlsomt øges med tiden, eftersom akkumulation af cadmium i dyrkningsjord må antages at finde sted overalt, omend med højst forskellig takt. Det er imidlertid ikke muligt at kvantificere denne forøgelse på nuværende tidspunkt.

For keramik føres der i EF-regi forhandlinger om fastsættelse af fælleseuropæiske grænseværdier for bl.a. cadmiumafgivelse. Den danske holdning har her været, at cadmiumholdige farver m.v. kun bør bruges i dekorationer udvendigt på genstandene.

Referencer til afsnit 6:

- [1] Andersen, Allan:
Bly, cadmium, kobber og zink i den danske kost. Fokusering på friske vegetabilier og kornprodukter. Rapport nr. F 79008, Statens Levnedsmiddelinstitut, København 1979.
- [2] Andersen, Allan:
Bly, cadmium, kobber og zink i dansk producerede frugt og grøntsager, 1977-78. Statens Levnedsmiddelinstitut publ. nr. 40, København 1979.
- [3] Andersen, Allan:
Bly, Cadmium, Kobber og Zink i den danske kost. Fokuseringskapitel VB. Slamets jordbrugsanvendelse. P.F.-Forlag, Lyngby 1980.
- [4] Larsen, E.H.:
Tungmetalforurening af frugt og grøntsager dyrket i Københavns vestegn, 1978. Statens Levnedsmiddelinstitut publ. nr. 41, København 1980.
- [5] Andersen, Allan:
Bly, Cadmium, Kobber og Zink i den danske kost, Statens Levnedsmiddelinstitut publ. nr. 43, København 1980.
- [6] Evaluation of certain food additives and the contaminants Mercury, Lead and Cadmium. WHO Tech. Rep. Ser. No. 505, Geneve (1972).
- [7] Nilsson, R.:
Teknisk redegørelse om cadmium, Sveriges Produktkontrollnämnd, Solna 1978.
- [8] Cohen, M.:
Recent surveys of Mercury and Cadmium in Food in United Kingdom. In: Problems of the contamination of Man and his Environment by Mercury and Cadmium. Proceedings of an International Symposium, Luxembourg, 3-6 July 1973, p. 543-70
- [9] Zentrale Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltschwermetalle in Bundesgesundheitsamt (ZEBS) Blei-, Cadmium- und Quecksilbergehalte von Lebensmitteln in der Bundesrepublik Deutschland. Stand: 1.10.1975, Bundesgesundheitsamt, Berlin 1975.
- [10] Duggan, R. E., Corneliussen, P. E.:
Dietary Intake of Pesticide Chemicals in the United States, Pest. Monit. J. 5, 331 (1972).

- [11] Murthy, C. K., Rhea, U., Peeler, J. T.:
Levels of Antimony, Cadmium, Chromium, Cobalt, Manganese and Zinc in institutional Diets, *Environ. Sci. Technol.* 5, 436 (1971).
- [12] Rauto, R., Sporn, A.:
Beiträge zur Bestimmung der Cadmium zuführ durch Lebensmitteln. *Nahrung* 14, 25-31 (1970).
- [13] Lener, J., Bibr, B.:
Cadmium Content in some Foodstuffs in Respect of its Biological Effect. *Vitalstoffe Zivilisationskrankheiten* 15, 139 (1970).
- [14] Engberg, Åse:
Undersøgelse af cadmium og bly i drikkevand fra Københavnsområdet. Rapport nr. F. 73014, Statens Levnedsmiddelinstitut, København 1973.
- [15] Reuss, Merete:
Vedrørende afgivelse af bly og cadmium fra nogle drikkevandsinstallationer i Esbjerg forsynet med vand fra Jerne og Norup Vandværker. Rapport nr. F 75013, Statens Levnedsmiddelinstitut, København 1975.
- [16] Oplyst af Kate Nielsen, Korrosionscentralen, København.
- [17] Engberg, Åse:
Undersøgelser over bly og cadmium fra keramik, glas og emaille. Statens Levnedsmiddelinstitut publ. nr. 14, København, 1972.
- [18] Rasmussen, Gitte:
Oversigt over erfaringer ved kontrollen med keramiske genstande m.v. udtaget i 1977. Statens Levnedsmiddelinstitut, København 1978.
- [19] Engberg, Å. & Bro-Rasmussen, F.:
Sources of direct cadmium contamination in food. Rapport nr. F 73015, Statens Levnedsmiddelinstitut, København 1974.
- [20] Engberg, Å. & Bro-Rasmussen, F.:
Study on information already available in the literature on food contamination caused by lead and cadmium in ceramic household containers. Commission of the European Communities, Health Protection Directorate, Doc. no. V/F/3799/74 e. Luxemburg 1976.
- [21] Fowles, G. W. A.:
The leaching of cadmium from plastic toys. *Sci. Total Environ.* 7, 207-216 (1977).
- [22] Arbejdstilsynets liste over hygiejniske grænseværdier. Arbejdstilsynet, København 1979.
- [23] Solomon, Robert, L., Hartford, John W.:
Lead and Cadmium in Dust and Soils in a small Urban Community. *Environ. Sci. Technol.* 10, 773-777 (1976).
- [24] Hansen, J. Aa., Tjell, J. Chr.:
Metalepidemiologisk vurdering af alternative slamvendelser i jordbrug. Fokuseringskapitel VC, Slammets jordbrugsanvendelse. P.F. Forlag, Lyngby 1980.
- [25] Hansen, Erik:
Cadmiumtransport og -forurening i Danmark og teknologiske muligheder for at begrænse denne forurening. Lab. for Teknisk Hygiejne, Danmarks Tekniske Højskole, Lyngby 1980. (Bilagsrapport).

- [26] Tjell, J. Chr.:
Upubl. resultater, Lab. f. Tekn. Hyg., DtH, Lyngby.
- [27] Kjellström, T., Lind, B., Linnmann, L. & Elinder, C. G.: Variation of Cadmium Concentration in Swedish Wheat and Barley. Arch. Environ. Health, 30, 321-28 (1975).

7. Cadmiums giftvirkninger overfor mennesker*)

Cadmium er en af de miljøgifte, der giver anledning til størst betænkelighed, hvad angår sundhedsmæssige effekter. Det har ingen kendt nyttig funktion i organismen. Det ophobes særligt i nyrerne, og på grund af en meget langsom udskillelse fra kroppen vil daglig indtagelse af selv små mængder cadmium med tiden kunne give anledning til opbygning af sundhedsskadelige koncentrationer i nyrerne.

7.1. Cadmiums optagelse og fordeling i mennesker

Befolkningen får i almindelighed tilført den største mængde cadmium med føden. Den normale cadmiumindtagelse med levnedsmidler i Danmark er beregnet til 30 $\mu\text{g}/\text{dag}$ (se tabel 6.1). Det er mindre end indtagelsen på 43 $\mu\text{g}/\text{dag}$ for Europa som helhed, men større end indtagelsen i Sverige, der er anslået til 18 $\mu\text{g}/\text{dag}$ [7]. Af det cadmium, der indtages gennem munden, optages normalt kun 5-6% i organismen, svarende til $1\frac{1}{2}$ -2 $\mu\text{g}/\text{dag}$ i Danmark. Optagelsen i mave-tarmkanalen afhænger imidlertid af individets alder samt kostens sammensætning. Lave indhold af protein, D-vitamin, kalk eller jern i kosten øger optagelsen. (jfr. afsnit 7.2).

På grund af den ringe optagelse af cadmium fra mave-tarmkanalen kan cadmiumindholdet i latrin med god tilnærmelse afspejle den daglige cadmiumindtagelse. I en dansk undersøgelse af et begrænset antal latrinprøver blev der fundet en udskillelse af cadmium på 20-30 $\mu\text{g}/\text{dag}$ [11].

Tilførsel af cadmium gennem indånding har stor betydning i forbindelse med tobaksrygning og kan spille en rolle i arbejdsmiljøet og nær cadmiumforurenende virksomheder.

Normalt optages 10-50% af den cadmiummængde, der indåndes. Optagelsen afhænger af partikelstørrelsen, således at cadmium fra de mindste partikler i højere grad optages. Cadmiumforbindelsens art har ligeledes betydning. For eksempel optages cadmiumoxid i højere grad end cadmiumsulfid.

De største partikler når ikke de mindste lungehulrum (alveolerne), men deponeres i

*) Når der i dette afsnit ikke anføres specifikke referencer, stammer oplysningerne fra reference 1, 2 eller 3.

de øvre luftveje. Herfra bliver de transporteret til mave-tarmkanalen og bidrager til cadmiumoptagelsen derfra.

Cadmium i byluft forekommer med en partikelstørrelse på omkring 1 μm , – hvilket vil føre til en optagelse via lungerne på omkring 20% af det indåndede, udgørende ca. 0,01 $\mu\text{g}/\text{dag}$. I cigaretrøg er partikelstørrelsen mindre, så man kan regne med, at omkring 35% af cadmium indåndet med cigaretrøg optages i organismen. Et dagligt forbrug på 20 cigaretter vil betyde indånding af 2–4 μg cadmium (se afsnit 6.4) og dermed en optagelse på 0,7–1,4 μg cadmium pr. dag via lungerne.

For danske rygere kan det på baggrund af oplysningerne i afsnit 6.4 derfor anslås, at den totale optagelse af cadmium er på 3–4 μg pr. dag.

Personer, der er specielt udsatte for cadmium enten fra deres erhverv, fra en speciel sammensætning af kosten eller på grund af boligens beliggenhed, kan have en betydelig større optagelse.

I tabel 7.1 er sammenstillet et skøn over optagelsen af cadmium i danskere på baggrund af oplysninger i tabel 6.4, samt til sammenligning gengivet en opgørelse over cadmiumoptagelsen i europæere, bearbejdet efter reference 1. De skønnede "maksimal optagelser" må betegnes som teoretiske og meget usikre.

Cadmium, der bliver optaget i organismen, transporteres fra lunger og mave-tarmkanal med blodet til leveren, hvor det bindes til det lavmolekylære protein, metallothionein.

Tabel 7.1: Optagelse af cadmium i Danmark og Europa [1] ($\mu\text{g}/\text{person}/\text{dag}$).
Absorption of cadmium in Denmark and Europe ($\mu\text{g}/\text{person}/\text{day}$).

Kilde	Danmark		Europa	
	Normalt	Maksimalt	Median	Interval
Levnedsmidler	1.8	11	2.58	(0.24 - 5.04)
Drikkevand	0.12	0.5	0.18	(0.12 - 0.6)
Keramik/plast	0.	3.3	?	
Tobak (kun rygere)	1.5	6	1.92	
Luft/støv	0.01	>0,05	?	(0.0003 - 0.14) (land)
			?	(0.006 - 2.24) (by)
			?	(0.03 - 16.00) (industriomr.)
Total (rygere)	3.5		>4.8	

Herfra fordeles cadmiumforbindelsen videre med blodet, fremfor alt til nyrerne, hvor det fortrinsvis koncentrerer sig i nyrebarken, men også til andre organer. Fosteret hos den gravide er beskyttet, idet moderkagen virker som en effektiv barriere.

I normalbefolkningen er blodets indhold af cadmium under $2 \mu\text{g/liter}$. Blodets indhold af cadmium afspejler den aktuelle eller nylige eksponering, idet cadmium fjernes hurtigt fra blodet og deponeres i organerne.

For en midaldrende person uden erhvervsmæssig belastning kan kroppens totale indhold af cadmium skønnes at ligge på mellem 5 og 20 mg. Omkring $1/6$ af denne cadmiummængde vil normalt være deponeret i leveren og $1/3$ i nyrerne.

Ved høje cadmiumbelastninger vil andelen i leveren være større. Den biologiske halveringstid for cadmium i leveren er 5-10 år og i nyrerne op mod 40 år. Nyfødte er næsten fri for cadmium i nyrerne, og koncentrationen stiger med alderen – i hvert fald indtil 40-60 års alderen. (Jfr. afsnit 7.3).

Det cadmium, der er optaget i organismen, udskilles meget langsomt og hovedsageligt med urinen. Den daglige udskillelse med urinen anslås til normalt at være 0,01% af kroppens samlede indhold – svarende til under $1 \mu\text{g/dag}$ for en voksen person.

Udskillelsen af cadmium med urinen anses normalt for en god indikator for den daglige optagelse af cadmium. Dette gælder imidlertid ikke, når der foreligger nyreskader, idet urinudskillelsen af cadmium i så fald øges betragteligt.

7.2. Cadmiums sundhedsskadelige virkninger

Korttidsvirkninger:

Ved akut forgiftning efter indtagelse af cadmium gennem munden er symptomerne ildebefindende, opkastninger, mavekrampe og hovedpine. Symptomerne viser sig allerede efter nogle minutter. En éngangsindtagelse på 3 mg kan forårsage opkastninger, således som det forekom i 1973, da 13 svenske skolebørn blev forgiftet af cadmium afgivet fra en juice-automat.

Indånding af cadmiumoxid-røg i arbejdsmiljøet har i flere tilfælde været årsag til alvorlige forgiftningstilfælde, hvor symptomerne, der bestod af åndenød, muskelsvaghed og feber, først viste sig flere timer efter eksponeringen. En eksponering for $5000 \mu\text{g Cd/m}^3$ i 8 timer anses for at være dødelig for mennesker. Døden indtræffer ofte først i løbet af nogle dage, som følge af væskeansamlinger i lungerne. En koncentration på $500 \mu\text{g/m}^3$ i arbejdsluften har været angivet som årsag til lungebetændelse.

Langtidsvirkninger:

Som nævnt udskilles cadmium meget langsomt fra den menneskelige organisme. En daglig tilførsel af cadmium, i mængder der tilsyneladende er uskadelige, vil føre til en ophobning af cadmium i kroppen. Den kan med tiden blive så betydelig, at skadevirk-

ninger vil kunne registreres. Hos mennesker er det først og fremmest lunger og nyrer, der er udsat ved en langtidspåvirkning med cadmium ved luftforurening og gennem fødeindtagelse.

Fra arbejdsmiljøet er der erfaringer for, at indånding af cadmium i form af støv eller røg over længere tid fremkalder blivende *lungeforandringer* (emphysem, "store lunger"). Hos særligt følsomme personer er en daglig (8 timer) udsættelse for over 20 $\mu\text{g Cd/m}^3$ i form af respirabelt støv ($< 5 \mu\text{m}$) tilstrækkelig til at forårsage en let funktionsændring af lungerne i løbet af mindre end 20 år. (Vedrørende indvirkning på nyrene, se senere). Et overslag herudfra tyder på, at en udsættelse for 2 $\mu\text{g Cd/m}^3$ i 24 timer i 70 år er et tilnærmet nul-effekt-niveau for lungeskader. Det må dog understreges, at selvom en koncentration i luften ikke fremkalder en skadelig effekt på lungerne, kan den bidrage væsentligt til den totale kropsbelastning med cadmium.

Det organ, hvor man ved en langtidseksponering først kan konstatere en uønsket virkning – *det kritiske organ* – er *nyrerne*. Således har man hos arbejdere konstateret symptomer på kroniske nyreskader ved luftkoncentrationer, der var så lave, at de ikke resulterede i lungesyntomer [1].

Cadmium indvirker på nyrenes funktion (reabsorptionen i de proximale tubuli), og det første symptom på en nedsat nyrefunktion er en øget udskillelse i urinen af lavmolekylære proteiner, bl.a. β_2 -mikroglobulin. Den normale udskillelse af β_2 -mikroglobulin er omkring 0,1 mg/dag, men den kan i fremskredne tilfælde af kronisk cadmiumforgiftning være øget 500-1000 gange. Undersøgelser af arbejdere udsat for cadmium tyder på, at respirabelt cadmiumstøv i koncentrationer på ned til 20 $\mu\text{g/m}^3$ kan give nyreskader i løbet af 20 år. (Indvirkning på lungerne er tidligere omtalt). Hvis dette omregnes til en påvirkning hele døgnet i hele levetiden, betyder det, at en koncentration på ca. 2 $\mu\text{g/m}^3$ i luften kan have en skadelig virkning på nyrerne – men ikke lungerne, som tidligere anført.

Som anført i afsnit 6.6 er den arbejds hygiejniske grænseværdi for tiden 50 $\mu\text{g/m}^3$.

I forbindelse med nyreskaderne opstår der ændringer i kalkomsætningen, idet den af cadmium forårsagede funktionsforstyrrelse i nyretubuli kan medføre øget udskillelse af calcium og fosfat i urinen. Dette kan give sig klinisk tilkende ved knogleskørhed (osteomalaci) og forekomst af nyresten.

Knogleskørhed og andre knogleforandringer, der i værste fald kan være invaliderende, forekom – sammen med proteinuri – i *Itai-Itai sygen*, der blev konstateret i Toyama distriktet i Japan i efterkrigstiden. I begyndelsen af 60'erne blev det påvist, at der i sygdomskomplekset indgik en kronisk cadmiumforgiftning forårsaget af indtagelse af vand og ris forurenet med cadmium fra en nærliggende mineindustri. Senere undersøgelser tydede imidlertid på, at en række andre faktorer end cadmium var af betydning for udbrud af denne miljøbetingede lidelse. Ofrene tilhørte en specielt følsom befolkningsgruppe, især midaldrende kvinder med mange børnefødsler

bag sig og med symptomer på calcium- og D-vitaminmangel. En endelig afklaring af cadmium og andre faktorerers rolle i *Itai-Itai sygen* er ikke tilvejebragt, men cadmium anses for at være den udløsende faktor. Indtagelsen af cadmium anslås til at have været op til 600 µg/dag [2].

Som nævnt er *leveren* et organ, hvor en stor del cadmium oplagres. Lang tids udsættelse for cadmium kan forårsage leverforstyrrelser med påvirkning af enzymsystemer, men den sundhedsmæssige betydning af disse virkninger er ikke afklaret. Ved langvarig udsættelse for cadmium i arbejdsmiljøet er der observeret tilfælde af let *blodmangel*, formentlig forårsaget af at cadmium indvirker på jern-stofskiftet. Denne effekt er, til forskel fra nyreskaderne, ikke kronisk.

Dyreforsøg viser, at cadmium kan fremkalde *forhøjet blodtryk*. Befolkningsundersøgelser har imidlertid givet modstridende resultater med hensyn til betydningen af cadmium for forekomsten af forhøjet blodtryk hos mennesker. En endelig afklaring må afvente yderligere undersøgelser.

Indsprøjtning af relativt store mængder cadmiumforbindelser har i dyreforsøg resulteret i udvikling af lokale *svulster* samt i nogle tilfælde i forekomst af svulster lokaliseret i andre væv og organer end på indsprøjtningstedet. Svulst udviklingen kunne i nogle forsøg modvirkes af samtidig tilførsel af zink eller selen.

Flere epidemiologiske studier tyder på en øget hyppighed af kræft i blærehalskirtelen (prostata) blandt arbejdere, der over en længere årrække har været udsat for cadmium, specielt cadmiumoxid. Disse undersøgelser er hver for sig ikke sikre og endegyldige. En international ekspertgruppe nedsat af WHO (IARC) bedømte i 1976 de tilgængelige oplysninger og konkluderede, at erhvervsmæssig udsættelse for cadmium øger risikoen for prostatacancer og muligvis for lungekræft [12].

Det er vist i mange dyreforsøg, at optagelsen og skadevirkningen af cadmium kan modvirkes ved samtidig tilførsel af andre stoffer. Der er allerede nævnt eksempler på indflydelse af D-vitamin, calcium, protein, jern, zink og selen. Stoffer som kobber og cobalt har i visse tilfælde også vist sig at kunne mindske skadevirkningerne af cadmium.

7.3. Cadmium i danskeres nyrer

Der er i de senere år foretaget undersøgelser over cadmiumindholdet i danskeres nyrer. Der er blandt andet analyseret et materiale fra ialt 30 personer, der er pludseligt døde i perioden december 1972 til maj 1973, og om hvem der ikke forelå oplysninger om særlig cadmiumpåvirkning eller om længere tids sygdom. Hos de 40-60 årige i gruppen (12 personer) fandtes en gennemsnitskoncentration i nyrebarken på 41 mg/kg våd vægt, og 4 værdier oversteg 50 mg/kg. Der fandtes i materialet ingen signifikant forskel mellem prøver fra hospitalet i København (Sundby) og Holbæk [13].

I en senere dansk undersøgelse er der i perioden januar 1974 til januar 1975 ind-

samlet prøver fra ialt 120 personer i alderen 45-65 år. Resultaterne er opført i tabel 7.2 [14].

Tabel 7.2: Gennemsnitligt indhold af cadmium i nyrer hos danskere på 45-65 år [14].
Average content of cadmium in kidney cortex from Danes
45-65 years [14].

Alder	Lokalitet	mg Cd/kg nyrebark		Køn	Antal
45 - 55	Holbæk	41.2	38.6	♂	18
			43.5	♀	3
	Sundby	46.4	50.5	♂	9
			41.2	♀	7
56 - 65	Holbæk	25.9	26.4	♂	22
			25.1	♀	11
	Sundby	27.5	26.3	♂	36
			30.4	♀	14

For tilsvarende aldersgrupper er der overensstemmelse mellem gennemsnitskoncentrationen fundet i 1972-73 (40,9 mg/kg for 40-60 årige) og i 1974-75 (42,4 mg/kg for 45-55 årige).

Rygevanernes indflydelse på indholdet af cadmium i nyrerne er også undersøgt, og de fundne værdier er anført i tabel 7.3. Hos cigaretrygere blandt normalbefolkningen findes – svarende til udenlandske erfaringer – omkring dobbelt så meget cadmium i nyrene, som hos ikke-rygere [15]. Dette bekræfter opgørelsen i tabel 7.1, hvoraf det fremgår, at rygere optager dobbelt så meget cadmium som ikke-rygere.

De danske undersøgelser viser den samme aldersafhængige ophobning af cadmium i nyrer med et toppunkt omkring 50 års alderen, som er kendt fra udenlandske undersøgelser. Aldersfordelingen for cadmium i nyrebarken fra afdøde personer i Danmark er, sammen med nogle udvalgte undersøgelser fra Sverige og USA, illustreret i figur 7.1 [14, 16].

Tabel 7.3: Cadmium i nyrer hos danske rygere og ikke-rygere [15].

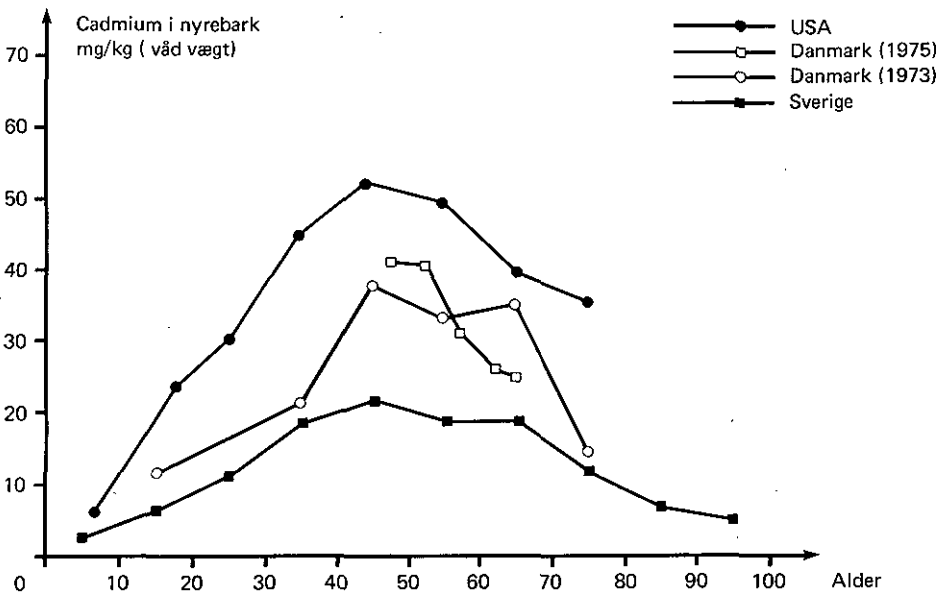
Cadmium in kidney cortex from Danish smokers and non-smokers [15]

Tobaksforbrug	Antal	Gennemsnitsalder (år)	Cadmiumkoncentration mg/kg nyrebark vådvægt	
			gennemsnit	interval
Ikke rygere	19	60.5	18.0	(5.7 - 40.2)
Pibe-cigar/cerut	16	58.2	29.6	(5.3 - 82.3)
<20 cigaretter/dag	11	57.6	39.4	(15.4 - 62.3)
≥20 cigaretter/dag	12	56.8	45.3	(15.7 - 122.2)

Figur 7.1: Cadmium i nyrebark i svenskere, amerikanere og danskere.

(Gennemsnitstal for forskellige aldersgrupper). [14, 16].

Average cadmium in kidney cortex in different age groups of Swedes, Americans and Danes [14, 16].



Der kan være flere forklaringer på, at den konstaterede koncentration i nyrebarken hos personer, der er døde i forskellig alder, viser en nedgang efter 50 års alderen. Forklaringen kan være en kombination af, at de ældste personer har levet den største del af deres liv i en periode, hvor forureningen med cadmium var mindre end i de senere år og rygevanerne anderledes, og at nyrevævet hos ældre mennesker svinder med alderen. Det er muligvis de celler, der er særligt cadmiumholdige, der mistes. Ligeledes er tilførslen

af cadmium med kosten mindre hos ældre end hos yngre, fordi ældre mennesker spiser mindre end yngre, og samtidig er optagelsen af cadmium fra føden formentlig mindre hos ældre individer. En sådan sammenhæng er påvist ved dyreforsøg. Hvorvidt forholdene i mennesker svarer fuldstændig hertil er dog ikke afklaret. En nærmere diskussion af aldersvariationen mht. cadmium i nyrer er foretaget i [20].

7.4. Kritisk koncentration af cadmium i nyrerne

Undersøgelser af arbejdere, der har været udsat for cadmium gennem indånding, viser, at ved cadmium koncentrationer i nyrebarken på omkring 200 mg/kg våd vægt kan der konstateres ændringer i nyrevævet opbygning og forringelse af nyrernes funktion, der viser sig ved forekomst af protein i urinen [2, 9].

På baggrund heraf har en ekspertgruppe nedsat af WHO i 1975 foreløbigt vurderet det for mennesker *kritiske niveau* i nyrebarken til at ligge mellem 100 og 300 mg Cd/kg, med 200 mg/kg som den sandsynlige *kritiske koncentration* (cit. fra [7]). Denne vurdering havde en foreløbig karakter. Undersøgelser, hvor man ved hjælp af den nyere neutronaktivitetsteknik har bestemt indholdet af cadmium i nyrerne hos arbejdere, har vist, at grænsen for forekomst af protein i urinen mest sandsynligt er de nævnte 200 mg/kg [9].

Nyere undersøgelser hos mennesker og dyr tyder på, at forholdet mellem cadmium og zink i nyrebarken er nogenlunde konstant op til cadmiumkoncentrationer på 50-70 mg/kg. Over dette niveau ændres forholdet mellem de to metaller, så der bliver en overvægt af cadmium [8]. Selvom betydningen af denne biokemiske ændring endnu er uklar, må den betragtes som et advarselstegn.

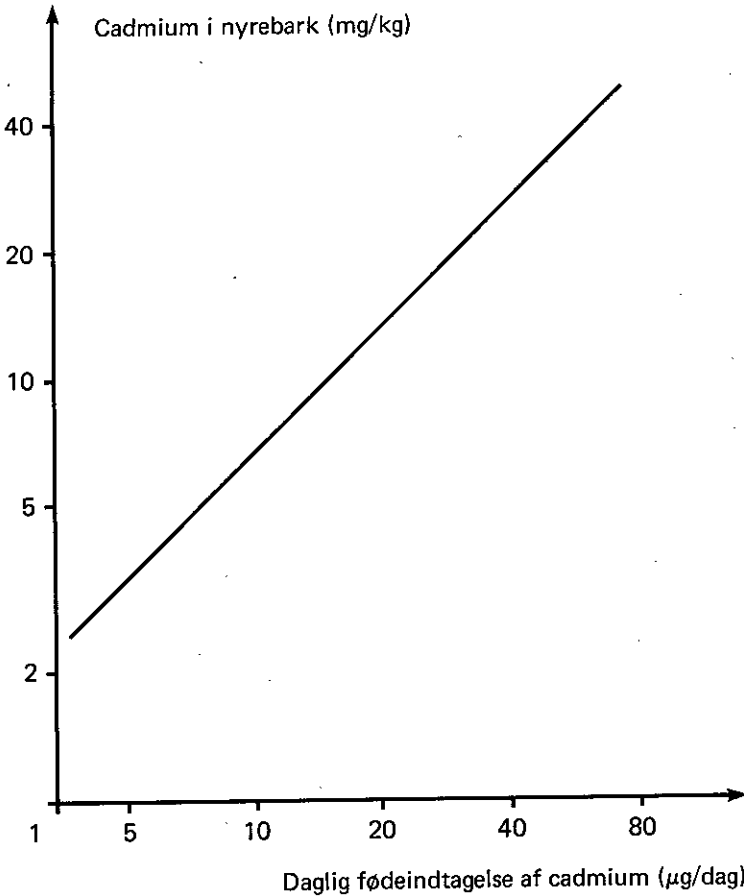
Af en EF-ekspertgruppe [1] er det beregnet, at den daglige indtagelse gennem føden, der vil være nødvendig for at opnå en kritisk koncentration på 200 mg/kg i nyrebarken i en alder af 50 år, vil være 200-240 μg for ikke-rygere. For rygere (ca. 20 cigaretter daglig) er en daglig indtagelse gennem føden på ca. 170 μg tilstrækkelig. Da den aktuelle indtagelse i Danmark er omkring 30 μg pr. dag, er der en sikkerhedsmargin på under 10 for normalbefolkningen i gennemsnit. I figur 7.2 ses afbildet den sandsynlige sammenhæng mellem cadmium indtaget gennem føden og indholdet i nyrebarken hos canadere på 50 år [5].

De tidligere anførte danske resultater, med en skønnet indtagelse på 30 μg /dag og niveauer i nyrebarken på ca. 20 mg/kg i ikke-rygere, stemmer udmærket overens med denne canadiske undersøgelse. Når den gennemsnitlige koncentration i nyrebarken i en befolkning har nået 200 mg/kg, betyder det, at 50% af befolkningen ved en normalfordeling ligger over det kritiske niveau. Ved lavere gennemsnitlige belastninger vil stadig en vis procentdel have overskredet det kritiske niveau på grund af den individuelle variation.

Ud fra figur 7.3, som er baseret på resultater fra svenske undersøgelser, skulle det nuværende belastningsniveau med en sandsynlig daglig gennemsnitlig optaget mængde

Figur 7.2: Sammenhæng mellem daglig indtagelse af cadmium gennem føden og det resulterende cadmiumniveau i nyrebarken i 50-årige [5].

Relationship between daily dietary Cd intake and the resultant Cd levels in renal cortex at age 50 [5].



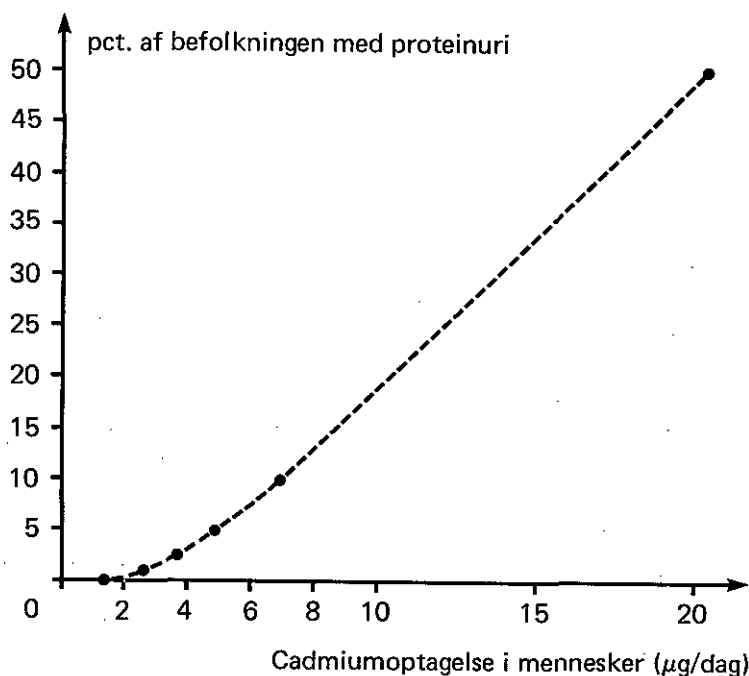
cadmium på 2–4 µg betyde, at mellem 0,1 og 2,5% af de 50-årige i den danske normalbefolkning vil have overskredet det kritiske niveau og være udsat for uønsket nyrepåvirkning, som giver sig udtryk i øget udskillelse af protein i urinen (proteinuri). Med den nuværende aldersfordeling i befolkningen, hvor omkring 1,2 mio. mennesker er i alderen 45–64 år, svarer dette til, at mellem 1.000 og 30.000 personer kan forventes at have en øget udskillelse af protein i urinen af denne grund.

7.5. Skøn over befolkningens fremtidige cadmiumbelastning

På grund af de relativt få danske data, der ydermere alle stammer fra personer, der er

Figur 7.3: Optagelse af cadmium og hyppighed af proteinuri i en 50-årig befolkningsgruppe [17].

Relationship between absorption of cadmium and incidence of proteinuri in a population of age 50 [17]



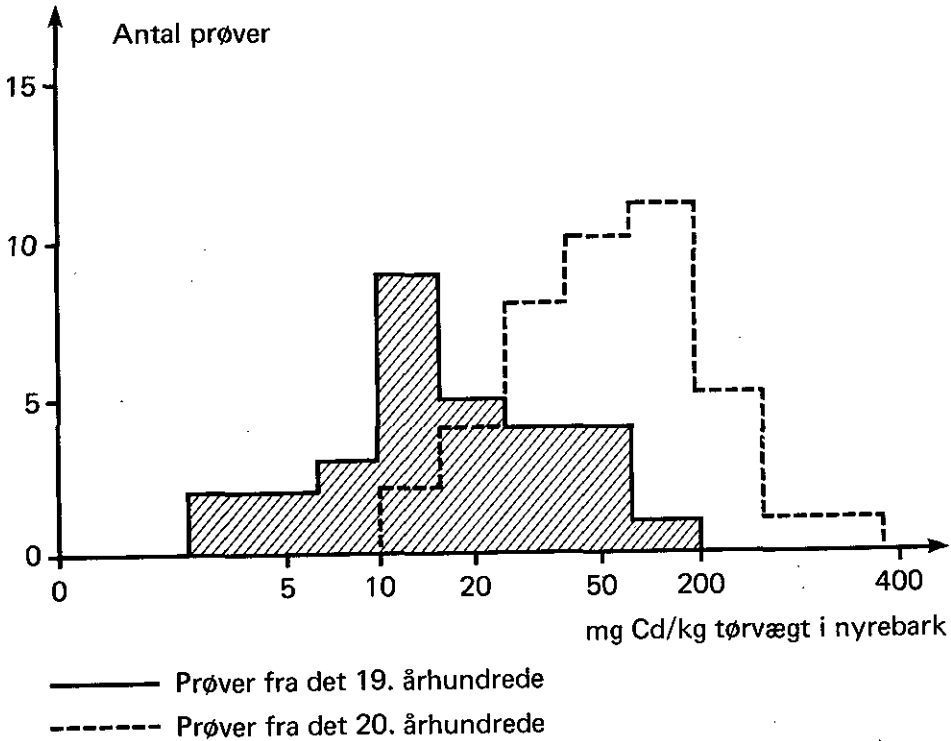
døde indenfor de senere år, er det ikke muligt at udtale sig sikkert om, hvorledes udviklingen i danskernes cadmiumbelastning er forløbet indtil idag. Der foreligger imidlertid en svensk undersøgelse, der viser, at der er sket en 3-4-dobling af indholdet af cadmium i nyrebarken hos ikke-rygere, i løbet af de seneste 100 år (figur 7.4) [18].

Det må antages, analogt med de svenske erfaringer, at danskernes belastning med cadmium er steget i takt med industrialiseringen, som har medført et øget forbrug af og en øget forurening med cadmium.

Såfremt den prognose for stigningen af cadmiumindholdet i dansk landbrugsjord og danske levnedsmidler, som omtales i afsnit 6.9, vil komme til at holde stik, må det formodes, at befolkningens optagelse af cadmium stiger med ca. 70% i de kommende 100 år. Dette vil betyde, at en stigende del af befolkningen risikerer at få cadmiumindhold i nyrebarken over den kritiske koncentration på 200 mg/kg. På baggrund af undersøgelserne vedrørende proteinuri (figur 7.3) vil det dreje sig om indtil 20% af de 45-65 årige.

Endnu mere alvorlig vil situationen være, hvis den kritiske koncentration i nyrebarken viser sig at være mindre end 200 mg/kg.

Figur 7.4: Cadmiumindhold i svenske nyrebarkprøver fra forrige århundrede (anslåede maximumværdier) og fra 1973-74 [18].
Cadmium content (dry weight) in Swedish samples of kidney cortex from 19th century and from 1973-74 [18].



7.6. Sammenfatning

Cadmium er et meget giftigt tungmetal, der især ophobes i nyrerne. De nuværende gennemsnitlige niveauer i 50-årige danskere er omkring 40 mg/kg i nyrebarken, hvor det kritiske niveau sandsynligvis er 200 mg/kg. Det er en så lille gennemsnitlig sikkerhedsmargen, at det kan anslås, at der med de nuværende niveauer vil være mellem 1.000 og 30.000 blandt de 45- til 65-årige danskere, der overskrider det kritiske niveau på 200 mg/kg.

På basis af de nuværende forhold kan der forventes en stigning i landbrugsjordens indhold af cadmium og dermed i levnedsmidlernes indhold af cadmium. Det vil betyde, at en større del af befolkningen i fremtiden vil nærme sig eller overskride det kritiske niveau. En stigning i den daglige gennemsnitlige cadmiumindtagelse med kosten fra 30 til 50 $\mu\text{g}/\text{person}/\text{dag}$ i løbet af de næste 100 år vil medføre, at indtil 200.000 danskere til den tid vil have et cadmiumindhold i nyrerne over det kritiske niveau for en nyrepåvirkning.

En sådan udvikling vil kunne modvirkes ved, at der iværksættes foranstaltninger til at nedbringe den kontrollerbare del af forureningen med cadmium.

Referencer til afsnit 7:

- [1] Lauwerys, R.:
Evaluation of the Impact of Cadmium on Health of Man. CEC, Luxembourg, 1978.
- [2] Friberg, L., Piscator, M., Nordberg, G. & Kjellström, T.:
Cadmium in the Environment 2nd ed., CRC Press, Cleveland, Ohio, 1974.
- [3] Health Assessment Document for Cadmium (preprint)
EPA-600/8-79-003, USEPA, Research Triangle Park, North Carolina, January, 1979.
- [4] Luftqualitätskriterien für Cadmium. Umweltbundesamt Berichte 4/77. Berlin. (1977).
- [5] Effects of Cadmium in the Canadian Environment, National Research Council, Ottawa, 1979.
- [6] Nordberg, G. F.:
Health Hazard of Environmental Cadmium Pollution, *Ambio* 3, 55-66 (1974).
- [7] Elinder, C. G., Friberg, L. & Piscator, M.:
Hälsoeffekter av kadmium, *Läkartidningen* 75, 4365-68 (1978).
- [8] Nordberg, M., Elinder, C. G. & Ralmster, B.:
Cadmium, Zinc and Copper in Horse Kidney Metallothionein, *Environ. Res.* 20, 341-50 (1979)
- [9] Lauwerys, R., Berard, A., Buchel, J. P. & Roels, H.:
Dose-Response Relationship for the Nephrotoxic Action of Cadmium in Man. Proc. Int. Conf. Heavy Metals in the Environment, London, 1979.
- [10] Kjellström, T. & Nordberg, G. F.:
A Kinetic Model of Cadmium Metabolism in the Human Being. *Environ. Res.* 16, 248-69 (1978).
- [11] Hansen, J. Aa. & Tjell, J. C.:
Spormetaller i humane ekskreter. Fokuseringskapitel V A. Slammets Jordbrugsanvendelse. P.F. Forlag, Lyngby 1980.
- [12] IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks of Chemical Products, vol. 2, Lyon, 1976.
- [13] Østergaard, K. & Clausen, P. P.:
Cadmium i danske nyrer. *Ugeskrift for læger* 136, 863-65 (1974).
- [14] Østergaard, K. & Clausen, P. P. & Simonsen, A.:
Cadmium i danske nyrer II. *Ugeskrift for læger* 139, 985-88 (1977).
- [15] Østergaard, K.:
Cadmiumkoncentration i nyrevæv hos rygere og ikke-rygere. *Ugeskrift for læger* 139, 989-91 (1977).
- [16] Elinder, C. G., Kjellström, T., Friberg, L., Lind, B. and Linnman, L.:
Cadmium in Kidney Cortex, Liver and Pancreas from Swedish Autopsies. *Arch. Environ. Health* 31, 292-302 (1976).

- [17] Krause-Fabricius, G.:
Grenzwertvorschlag für Cadmium and Cadmiumverbindungen. Lufthygiene und Silikoseforschung, Jahresbericht 1977, Band 10, p. 119-43, Verlag W. Girardet, Essen, 1978.
- [18] Elinder, C. G. & Kjellström, T.:
Cadmium Concentration in Samples of Human Kidney Cortex from the 19th Century. *Ambio* 6, 270-72 (1977).
- [19] Cadmium 77. Proc. First Int. Cadmium Conf. San Francisco 1977, Metal Bulletin Ltd., 1978.
- [20] Travis, C. C. & Haddock, A. G.:
Interpretation of the Observed Age-Dependency of Cadmium Body Burden in Man, *Environ. Res.* 22, 46-60 (1980).

Liste over medarbejdere

Udarbejdelsen af denne cadmium-rapport er koordineret af en gruppe bestående af: Mogens Bundgaard-Nielsen, Hans Sand, Albert Sabroe Welinder, Allan Astrup Jensen (formand) og Edith Salinas (sekretær) fra miljøstyrelsen samt Arne Jensen, miljøstyrelsens havforureningslaboratorium, Jørgen Carstensen, toksikologisk institut, statens levnedsmiddelinstitut og Jens Chr. Tjell, laboratoriet for teknisk hygiejne, Danmarks tekniske højskole.

Rapportens illustrationer er udført af Jørgen Mikkelsen og Vagn Brostrup, miljøstyrelsens ferskvandslaboratorium samt Niels Gerhard Nielsen, DTH.

Rapportens afsnit 2, 3, 5 og 6 er hovedsagelig udarbejdet af Erik Hansen, laboratoriet for teknisk hygiejne. DTH.

Afsnit 4 af Jens Chr. Tjell, Arne Jensen samt Flemming Møhlenberg, marinbiologisk laboratorium, Københavns universitet.

Afsnit 7 af Jens Carl Hansen, hygiejnisk institut, Århus universitet, Jørgen Carstensen og Allan Astrup Jensen.

Iøvrigt har ved udarbejdelsen og diskussionen af rapporten medvirket en række medarbejdere i miljøstyrelsen og sagkyndige personer udefra, blandt andre:

Allan Andersen, statens levnedsmiddelinstitut

Finn Bro-Rasmussen, laboratoriet for økologi og miljølære, DTH.

Finn Christensen, kemikaliekontrollen

Carl-Heinz Cöhr, arbejdsmiljøinstituttet

Axel Dam Kofoed, Askov forsøgsstation, landbrugsministeriet

Mogens Hink, direktoratet for arbejdstilsynet

Jacob Hout, direktoratet for arbejdstilsynet

Ib Johnsen, institut for økologisk botanik, København universitet

Jens Kierkegaard, arealdatakontoret, landbrugsministeriet

Gunnar Nordberg, Umeå universitet

Hans Jørgen Styhr Petersen, institut for kemiindustri, DTH

Kim Pilegaard, institut for økologisk botanik, Københavns universitet

Nils Rosdahl, sundhedsstyrelsen

Jens Schou, farmakologisk institut, Københavns universitet

Ulrik Torp, miljøstyrelsens luftforureningslaboratorium

Bent Viuf, statens foderstofkontrol, landbrugsministeriet

Hans Wolf, Hvidovre hospital

Karen Østergaard, Holbæk centralsygehus

Fra miljøstyrelsen:

Hans Henrik Christensen, 6. kontor

Niels Christensen, 5. kontor

Peter Gammeltoft, 10. kontor

Erik Iversen, 12. kontor

Anders Ottar Jensen, 5. kontor

Bente Koch, 4. kontor

Poul Lauridsen, 3. kontor

Johan Hougs Møller, 13. kontor

Erik Somer, 16. kontor

Kirsten Warnøe, 3. kontor

Ordliste

affinitet	kemiske stoffers tilbøjelighed til at indgå forbindelse med hinanden, reaktionsvillighed
akkumulere	ophobe
Cd	cadmium
differentiering	udvikling i forskellig retning
diffus	spredt, uden skarpe grænser, udflydende, utydelig
emission	udsendelse, udledning
fertilitet	frugtbarhed, forplantningsevne
flokkulere	udfnugge
flyveaske	materiale opsamlet ved røgrensning
flyvestøv	støv i røg efter røgrensning
gradient	ændring pr. længdeenhed i en målestørrelse fra sted til sted, f.eks. trykfald, koncentrationsændring
hydroider	goplepolypper, vandmænd
inhibere	hæmme
IARC	International Agency for Research on Cancer (WHO institution med hovedsæde i Lyon)
marin	som hører til havet
mobilt	bevægeligt
mysider	krebsdyr, kårer, "rejeunger"
måleenheder	
ha	hektar = 10.000 m ²
mg	milligram = tusindedel gram
µg	mikrogram = milliontedel gram
ng	nanogram = milliartedel gram
ppm	part per million, f.eks. µg/g, mg/kg, g/ton, ml/m ³
Ni	nikkel
perkolat	gennemsvivet væske, filtreret væske

protein	æggehvidestof
prædator	rovdyr
recipient	deponeringssted, udledningssted, modtagested for f.eks. affald og spildevand
resistens	modstandsdygtighed
sediment	bundfald, aflejring, aflejrede partikler på sø- og havbund
silt	materiale med kornstørrelse mellem ler og sand dimension: 0,002-0,06 mm
synergisme	forstærkende samvirken
tekstur	fasthed af væv, vævsstyrke, jords partikelsammensætning, forholdet mellem ler, silt og sand
TS	tørstof
WHO	World Health Organisation (Verdenssundhedsorganisationen under FN)

ISBN 87-503-3442-5
Stougaard Jensen/København
Fu 00-166

Pris kr. 30.00 i. m.