



**Universiteit  
Leiden**

The Netherlands

## **Haalbaarheidsstudie naar indicatoren voor ketenbeheer in de Milieubalans : voorbeeldstudie voor cadmium in Nederland 1985-1990**

Oers, L. van; Voet, E. van der

### **Citation**

Oers, L. van, & Voet, E. van der. (1997). Haalbaarheidsstudie naar indicatoren voor ketenbeheer in de Milieubalans : voorbeeldstudie voor cadmium in Nederland 1985-1990. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/11539>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/11539>

**Note:** To cite this publication please use the final published version (if applicable).

HAALBAARHEIDSSSTUDIE NAAR  
INDICATOREN VOOR KETENBEHEER  
IN DE MILIEUBALANS

Voorbeeldstudie voor Cadmium in Nederland 1985 en 1990

Lauran van Oers  
Ester van der Voet

Centrum voor Milieukunde  
Rijksuniversiteit Leiden  
Postbus 9518  
2300 RA Leiden

CML rapport 134 - Sectie Stoffen & Produkten

HAALBAARHEIDSSSTUDIE NAAR  
INDICATOREN VOOR KETENBEHEER  
IN DE MILIEUBALANS

Dit rapport kan op de volgende wijze worden besteld:

- telefonisch: 071-5277485
- schriftelijk: Bibliotheek CML, Postbus 9518, 2300 RA Leiden, hierbij graag duidelijk rapportnummer, naam besteller en verzendadres aangeven
- per fax: 071-5275587

ISBN: 90-5191-108-4

Druk: Universitair Grafisch Bedrijf, Leiden

© Centrum voor Milieukunde, Leiden 1997



## INHOUDSOPGAVE

<b><u>1 INLEIDING: INDICATOREN KETENBEHEER VOOR ZWARE METALEN IN DE MILIEUBALANS</u></b>	<b>5</b>
1.1 Indicator ketenbeheer	5
1.2 Indicator afwenteling	6
<b><u>2 ONTWERP VAN DE FIGUREN VOOR DE SAMENGESTELDE INDICATOREN; KETENBEHEER EN AFWENTELING</u></b>	<b>8</b>
<b><u>3 TOELICHTING OP DE DEELINDICATOREN</u></b>	<b>9</b>
3.1 Efficiency	9
3.2 Het absolute gebruik	11
3.3 Hergebruik	11
3.4 Economische accumulatie	13
3.5 Export van verontreiniging	14
3.6 Dissipatie	17
<b><u>4 ALGEMENE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</u></b>	<b>20</b>
4.1 Conclusies tav de indicatoren	20
4.2 Conclusies tav de casestudie; de cadmiumketen en het beleid	21
4.3 Aanbevelingen	22

## 1 Inleiding; indicatoren Ketenbeheer voor zware metalen in de Milieubalans

In de Milieubalans (RIVM, 1995) is veel aandacht voor de milieuhygiënische aspecten van het materiegebruik in Nederland. Aanvullend hierop is ook ketenbeheer van materie relevant: niet de stromen van een stof in het milieu, maar de stromen en voorraden in de maatschappij. In opdracht van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) zijn in deze studie mogelijkheden uitgewerkt voor het opstellen van indicatoren voor ketenbeheer van een stof in de maatschappij.

Voor een beleid gericht op milieugevaarlijke stoffen is het relevant te beschikken over informatie met betrekking tot de keten van processen betrokken bij de winning, produktie, consumptie en afvalverwerking van een stof en zijn toepassingen. In een stofstroomanalyse worden voor een bepaalde regio, bv. Nederland, de stromen van een stof binnen de economie en het milieu geordend en gekwantificeerd in een samenhangend geheel. Het resultaat van een stofstroomanalyse is een overzicht van alle in- en uitgaande stromen voor het samenhangende geheel van sectoren, zoals industrieën, huishoudens, milieucompartimenten e.d., die relevant zijn voor de betrokken stof.

Een dergelijk overzicht kan worden vertaald in een overzicht van specifieke probleemstromen in de keten die leiden tot een bepaald milieuprobleem, bv. de keten van processen die leidt tot een normoverschrijding in het oppervlakte water. In het rapport 'Stofstroomanalyse van zes zware metalen - gevolge van autonome ontwikkelingen en maatregelen' is de stofstroomanalyse gebruikt voor een dergelijke probleemstroombenadering (Annema et al, 1995). De resultaten van een stofstroomanalyse kunnen echter ook gebruikt worden voor het karakteriseren van de keten van economische processen en het ketenbeheer als geheel (hoe gesloten is de keten?, hoe groot is het hergebruik van de stof?). Het in kaart brengen van de stromen en voorraden in de economie levert informatie over te verwachten milieuproblemen en dient daarmee als *early warning*. Bovendien kunnen uit de informatie over het beheer van de economische keten aanknopingspunten gedestilleerd worden voor regulering van de stofstromen. Door deze expliciete koppeling van economie en milieu ontstaat een duidelijke meerwaarde voor het milieubeleid.

Het is voorstelbaar een set indicatoren te definiëren die gezamenlijk een karakterisering vormen van "de integrale keten" in de Nederlandse economie vanuit het oogpunt van het beheer van de stromen en de opgehoopte voorraden daarin. In deze studie worden twee indicatoren uitgewerkt aan de hand van een voorbeeld (cadmium in Nederland); een indicator "ketenbeheer" en een indicator "afwenteling". De twee indicatoren zijn samengestelde indicatoren, dat wil zeggen dat iedere indicator is opgebouwd uit een drietal aspecten, deelindicatoren.

Naast deze indicatoren kunnen ook indicatoren worden gedefinieerd die meer direct op het milieu betrekking hebben (zie b.v. de diverse basisdocumenten, Voet et al, 1989 en Annema et al, 1995). Dergelijke indicatoren voegen echter weinig toe aan de reeds bestaande sterk op het milieu georiënteerde praktijk. Indicatoren met betrekking tot economische ketens en

kringlopen hebben wèl een meerwaarde te bieden. Daarmee komen ze niet in plaats van de milieu indicatoren, maar aanvullend daarop.

### 1.1 Indicator ketenbeheer

De indicator ketenbeheer vertelt iets over de toestand van de metaalketens "hier en nu", een karakterisering van de ketens voorzover en hoe die zich in Nederland in de betreffende jaren hebben voorgedaan. Drie aspecten lijken daarbij van belang:

- de efficiëntie van de processen waaruit de keten in 1990 in Nederland was opgebouwd (geeft aan in hoeverre verdere technische maatregelen succes kunnen hebben)
- de omvang van het gebruik in Nederland, 1990 (geeft iets aan over de mogelijkheden van een volumebeleid)
- de mate van hergebruik in Nederland, 1990 (interessant voor een afvalverwerkingsbeleid).

De indicator ketenbeheer zou moeten zijn opgebouwd uit deze drie aspecten.

### 1.2 Indicator afwenteling

Een aantal zaken worden m.b.v. een indicator ketenbeheer niet gedekt. Dit heeft met name te maken met de afwenteling van problemen, die door een bepaald ketenbeheer kan plaatsvinden. Probleemafwenteling kan optreden naar het buitenland, naar de toekomst, maar ook binnenslands hetzij naar de ketens van andere stoffen/materialen, hetzij binnen de keten zelf. Een indicator afwenteling is dan een maat voor de risico's van het Nederlands metaalketenbeheer in 1990 juist *buiten* het "hier en nu". De indicator afwenteling zou eveneens opgebouwd kunnen zijn uit drie aspecten:

- de economische accumulatie, als maat voor probleemafwenteling naar de toekomst: accumulatie betekent een toename van de voorraden in de economie, die op termijn een toename van de afvalstroom inhoudt.
- de "economische dissipatie", als maat voor de probleemafwenteling die kan plaatsvinden als gevolg van een verhoogd hergebruik. Bij recycling worden gewoonlijk hoge concentratie toepassingen ingezameld, die deels weer als lage concentratie toepassingen worden verwerkt. Een andere vorm van verdunning vindt plaats via het hergebruik van reststoffen. Dit speelt speciaal bij metalen omdat deze niet afbreekbaar zijn. Zo komt cadmium uit allerlei toepassingen via de afvalverbranding in lage concentraties terecht in vliegias, dat als cement in de bouw wordt gebruikt. Datzelfde geldt voor zuiveringsslib in de landbouw en slakken in de wegebouw. Op die manier kan het aandeel moeilijk herwinbare toepassingen stijgen, terwijl het tegenovergestelde beoogd wordt.
- de "export van vervuiling", waarin de totale ketenverliezen *binnen* Nederland ten behoeve van Nederland en het buitenland worden geconfronteerd met de totale ketenverliezen in binnen- en buitenland *ten behoeve van* Nederland. Dit is erg verwant met het begrip "footprint" dat wel gebruikt wordt om aan te duiden dat Nederland in feite drie maal zijn areaal nodig heeft om zijn bevolking van voedsel te voorzien.

In de onderstaande tekst worden de indicatoren nader uitgewerkt. De berekeningsmethode en grafische weergaven van de indicatoren worden geïllustreerd met behulp van de cadmiumketen van Nederland voor 1985 en 1990. Voor de gegevens zijn als bronnen gebruikt

de cadmiumstroomstudies waarin voor de economie en het milieu de balansen van Cadmium gedetailleerd zijn uitgewerkt. (respectievelijk Van der Voet (1989) en Annema (1995)).

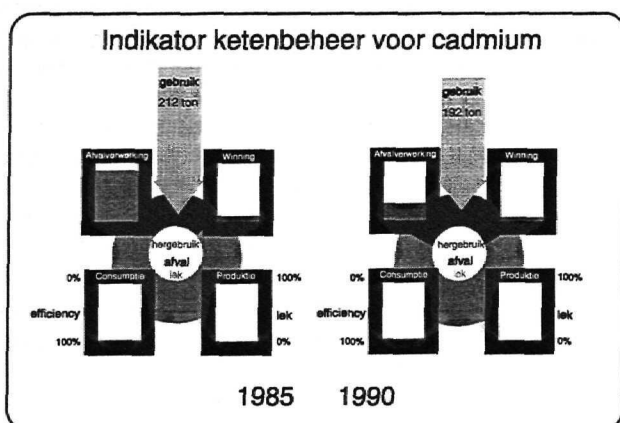
In hoofdstuk 2 wordt het ontwerp voor de grafische weergaven van de samengestelde indicatoren gepresenteerd. In hoofdstuk 3 worden per indicator de drie deelaspecten afzonderlijk behandeld. Iedere deelindicator wordt gedefinieerd en de relevantie wordt toegelicht. Vervolgens wordt de methode voor de afleiding van de indicator behandeld en worden aannamen die eventueel zijn gemaakt voor het Cadmiumvoorbeeld vermeld. Tenslotte wordt kort ingegaan op de inhoudelijke boodschap van de indicator met betrekking tot de voorbeeldstudie Cadmium. Tenslotte worden in hoofdstuk 4 conclusies samengevat met betrekking tot de uitvoerbaarheid van het afleiden van de indicatoren en worden enkele aanbevelingen gedaan voor de opname van de indicatoren in de Milieubalans.










In de bijlage van het rapport zijn per deelindicator de spreadsheets opgenomen voor de jaren 1985 en 1990. De spreadsheets dienen als illustratie bij de berekeningsmethoden van de indicatoren. In de spreadsheets is zichtbaar hoe de gegevens uit de stofstroomoverzichten zijn geaggregeerd en getypeerd teneinde een indicator voor de keten af te kunnen leiden.

## 2 Ontwerp van de figuren voor de samengestelde indicatoren: ketenbeheer en afwenteling

Voor de indicator ketenbeheer en afwenteling is geprobeerd de drie aspecten waaruit iedere indicator is opgebouwd in één figuur te combineren. Daarbij moet ieder deelaspect van de indicator duidelijk herkenbaar zijn en moet de kwantiteit van de deelindicator goed leesbaar zijn.

De figuur voor de indicator ketenbeheer bevat informatie over het absolute gebruik, het hergebruik van afval en de efficiency per levenscyclusfase. De figuur voor de indicator afwenteling bevat informatie over probleemverschuiving in de tijd, in de ruimte en tussen toepassingen waarin het cadmium in verschillende mate beschikbaar is voor herwinning.



-  = Accumulatie in de Nederlandse economie (ton Cd/jaar)
-  = Regionale vervulling in relatie tot footprint vervulling (ton Cd/jaar)
  -  = Regionale vervulling; Vervulling in Nederland ten behoeve van de consumptie in Nederland en buitenland
  -  = Footprint vervulling; Vervulling in Nederland en buitenland ten behoeve van de consumptie in Nederland
  -  = Netto export van vervulling; Footprint vervulling minus regionale vervulling (indien negatief dan import)
-  = Cadmiumgebruik ingedeeld naar theoretisch mogelijke afvalverwerking en de afvalverwerking volgens de praktijk van het betreffende jaar
  -  = niet of moeilijk inzamelbaar, dus storten of verbranden
  -  = inzamelbaar en isoleerbaar
  -  = inzamelbaar en herwinbaar

### 3 Toelichting op de deelindicatoren

In deze paragraaf worden de verschillende deelaspecten waaruit de indicatoren ketenbeheer en afwenteling zijn opgebouwd kort beschreven. De deelindicatoren worden kort toegelicht en de gevolgde berekeningswijze wordt beschreven. Tenslotte wordt kort ingegaan op de inhoudelijke boodschap van de indicator met betrekking tot de voorbeeldstudie cadmium.

#### 3.1 Efficiency

##### *definitie en relevantie van de indicator*

De efficiency van een proces kan worden gedefinieerd als de fractie van de instroom die eindigt als nuttige uitstroom. De 'tegenpool' van efficiency is het lekpercentage, dat wil zeggen de fractie van de instroom die eindigt als emissie naar lucht, water of bodem. Wanneer de efficiency van een proces 80% is, dan eindigt 20% van de instroom in het proces in het milieu.

De efficiency van een levenscyclusfase is een indicatie voor de mate waarin de betrokken processen en technieken gesloten zijn. Met andere woorden de efficiency geeft het potentieel aan voor het dichteren van de keten door middel van technische verbeteringen. Hoe hoger de efficiency des te kleiner het lek en dus des te beter het ketenbeheer.

##### *rekenmethode/aannamen*

De eerste stap in de berekening van de efficiency van de levenscyclusstadia is het indelen van de processen bij de verschillende stadia, te weten winning, productie, consumptie en afvalverwerking. Daarbij moet er op worden gelet dat bij het opdelen van de processen in de verschillende stadia er geen stromen worden vergeten of dubbel geteld.

Er wordt in Nederland geen cadmium uit erts gewonnen. Bij de efficiency-indicator zijn voor de winningsfase echter die processen opgenomen waarbij cadmium als verontreiniging wordt meegewonnen (zinkertsverwerking, fosfaatertsverwerking en schrootverwerking). In de zinkertsverwerking is cadmium een bijproduct.

De tweede stap is het typeren van de stromen als lek of als nuttige uitstroom. Een aantal criteria zijn mogelijk voor het definiëren van een stroom als lek:

- iedere uitstroom van een stof waarbij niet sprake is van een bewust gebruik van de specifieke stoffeigenschappen (emissies, degradatie, immobilizatie, afval, influent van rioolwaterzuiveringsinstallaties, mest, compost, slakken en assen van de afvalverbrandingsinstallaties)
- iedere uitstroom waaruit een stof niet meer herwinbaar of herbruikbaar is (emissies, degradatie, immobilizatie, reststoffen uit de afvalverbrandingsinstallatie, vast afval)
- iedere uitstroom die niet instroomt in een volgend economisch proces (emissies, degradatie, immobilizatie en stort van vast afval)
- ieder uitstroom die direct terecht komt in het milieu (emissies en stort van vast afval)

De keuze van het criterium kan per stof variëren en is bijvoorbeeld afhankelijk van of er voor de betreffende stof sprake is van een vervuilingsproblematiek of een uitputtingsproblematiek.

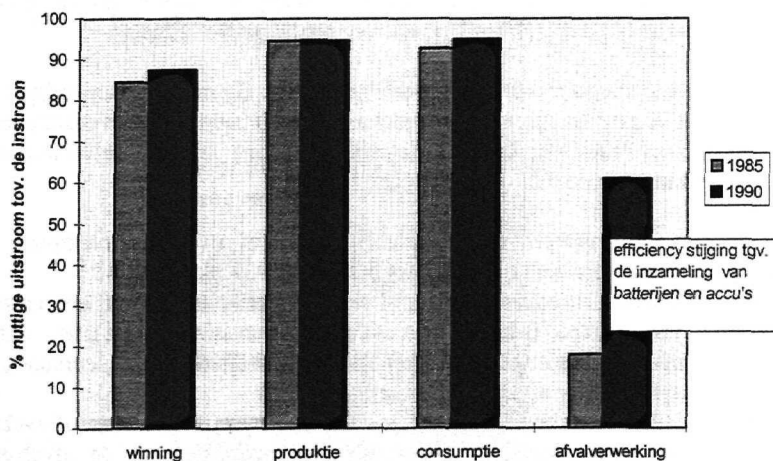
In onderhavige berekeningen voor cadmium in Nederland zijn als lekken uit de keten beschouwd de emissies naar lucht en water en de stort van vast afval. Ook de reststroom vanuit de landbouw naar de bodem is een lek. Het gebruik van slakken en assen in de (wegen)bouw is niet beschouwd als lek. Deze stromen zijn opgenomen bij de accumulatie in de economie en vormen daardoor mogelijk in de toekomst een lek uit de economische keten naar het milieu.

Voor de spreadsheet waarin de indicator wordt afgeleid wordt verwezen naar de bijlage.

#### *boodschap t.a.v. de cadmiumketen*

Er zijn relatief weinig verliezen bij winning, productie en gebruik van cadmiumtoepassingen. De grootste inefficiency is te vinden bij de afvalverwerking. Het meest opvallende in deze figuur is de stijging in de efficiency van het deelsysteem afvalverwerking. Deze is het gevolg van de inzameling van batterijen en accu's. Wat met dit ingezameld cadmium gebeurt is niet geheel duidelijk; het wordt geëxporteerd om in het buitenland in principe herwonnen te worden. Pas bij echte herwinning is dit een werkelijke efficiëncystijging. Voor 1995 wordt een verdere stijging van de efficiency verwacht door een hoger inzamelpercentage (60% tov. 40% in 1990).

efficiency per economische fase





### 3.2 Het absolute gebruik in de regio, Nederland

#### *Definitie en relevantie van de indicator*

Het gebruiksniveau van een regio kan zijn gebaseerd op een stroom of op een voorraad. Bij gebrek aan gegevens over de cadmiumvoorraad in de economie is de instroom naar de gebruiksfase als indicator genomen. Het totale gebruiksniveau van een stof in een regio is een indicatie voor de mogelijkheid en impact van een volumebeleid op een stof in een regio.

#### *rekenmethode/aannamen*

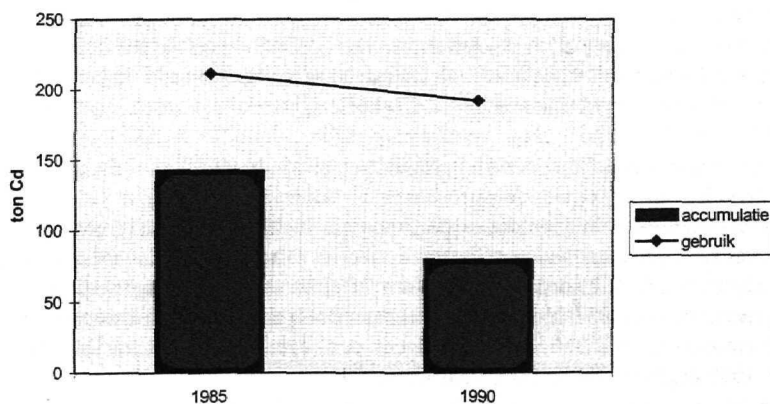
De instroom naar gebruikerssectoren in de economie is een post in de stofstroomanalyse, zoals die momenteel op het CML wordt toegepast. Voor het berekenen van de indicator is geen verdere bewerking van de gegevens noodzakelijk.

Voor de spreadsheets waarin de indicator "gebruik" wordt gespecificeerd wordt verwezen naar de bijlage.

#### *boodschap t.a.v. de cadmiumketen*

We zien een daling van het gebruik in 1990 ten opzichte van 1985. Het is onzeker of deze daling zich heeft voortgezet in 1995. Veruit de grootste toepassingen zijn de Ni/Cd batterijen en accu's (resp. 97 en 32 ton Cd in 1990). Een eventueel volumebeleid zou zich hier het best op kunnen richten.

gebruik en accumulatie



### 3.3 Hergebruik

#### *Definitie en relevantie van de indicator*

De indicator hergebruik geeft aan hoeveel procent van het afgedankte cadmium functioneel wordt hergebruikt. De indicator heeft betrekking op het afval dat ontstaat gedurende de gehele



levenscyclus, van winning tot afvalverwerking. Bij hergebruik van het afval kan een onderscheid worden gemaakt in een functioneel hergebruik en een niet-functioneel hergebruik. Functioneel hergebruik is het hergebruik waarbij de stof bewust wordt herwonnen en/of toegepast, bijvoorbeeld de herwinning van Cd uit accu's of de stabiliserende functie van Cd die gehandhaafd blijft in gerecycled PVC. Het niet-functionele hergebruik is het hergebruik van materialen, waarbij de stof als verontreiniging betrokken is, bijvoorbeeld het gebruik van cadmium bevattende slakken en assen in de bouw en wegenbouw, het cadmium in mest en slib ed.. Gesteld kan worden dat uit oogpunt van voorraadbeheer alleen het functionele hergebruik positief te waarderen is. Hoe hoger het functionele hergebruik des te meer de keten gesloten is.

In het niet-functionele hergebruik worden, uit andere overwegingen dan de cadmiumproblematiek, materialen hergebruikt. Het hergebruik is echter niet positief, of soms zelfs negatief te waarderen. Zo worden door het opbrengen van mest en slib zware metalen, w.o. cadmium, diffuus verspreid wat uit oogpunt van verontreiniging van de bodem ongewenst is.

#### *rekenmethode/aannamen*

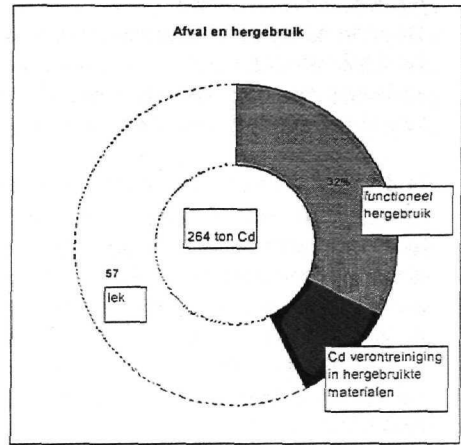
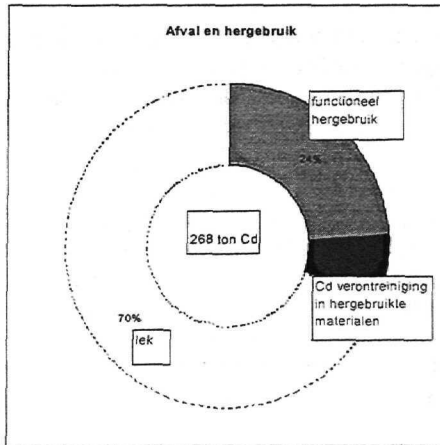
Van alle processen uit de totale levenscyclus van de stof is het afval getypeerd volgens de volgende categorieën; functioneel hergebruik, hergebruik met Cd als verontreiniging en stort en emissies. De indicator hergebruik is het percentage van het totale afval dat functioneel wordt hergebruikt.

In het voorbeeld is het hergebruik van Cu/Co-koek uit de zinkertsverwerking ingedeeld bij het functionele hergebruik. De hoeveelheid Cu/Co-koek op het totaal van het hergebruik is aanzienlijk (in 1985 bedraagt deze 50 ton in 1990 is dat 30 ton). Het is echter ons momenteel onbekend wat er gebeurd bij de opwerking van de Cu/Co-koek in het buitenland, met name of alleen het koper en de kobalt, of ook cadmium herwonnen wordt. Indien het cadmium wordt gestort dient het hergebruik van de Cu/Co-koek uiteraard te worden ingedeeld bij de lekken.

De herwinning van Cd uit accu's en batterijen vindt plaats in Frankrijk en Zweden. De effectiviteit van de opwerkingsprocessen is hoog: 95-100%. Dit Cd komt op de markt waardoor het weer in het totale spectrum van toepassingen (batterijen, accu's, cadmeren, legeringen, pigmenten en stabilisatoren) terecht kan komen. In 1985 kwamen nog geen batterijen en accu's in de afvalfase. Voor 1990 is een inzamelingspercentage van batterijen aangehouden van 40%. Voor 1995 is een inzamelpercentage van batterijen aangenomen van 60% (mond.med VROM-SVS). Overigens een tegenvallende inzameling daar de prognoses voor 1995 ongeveer 80 tot 90% bedroegen.

#### *boodschap t.a.v. de cadmiumketen*

Tengevolge van Cd-besluit, met betrekking tot batterijen/accu-inzameling en opwerking, is het hergebruik toegenomen. In 1995 neemt het functionele hergebruik verder toe door een betere inzamelstructuur voor batterijen.



### 3.4 Economische accumulatie

#### *Definitie en relevantie van de indicator*

Onder accumulatie in de economie wordt verstaan de aanwas van de voorraad in de economie in het betreffende jaar. Accumulatie van een stof in de economie treedt op in materialen en produkten. Verreweg de grootste economische voorraden zijn aanwezig in de gebruikersfase van de stof; in produkten in de huishoudens, in bouwmaterialen en wegen, in het verkeer ed. In mindere mate kan er ook accumulatie optreden door voorraadopbouw van grondstoffen en produkten in de winnings- respectievelijk de productiefasen. Ook in de afvalfase is voorraadvorming mogelijk doordat bepaalde produkten, zoals bijvoorbeeld cadmium batterijen worden opgeslagen, totdat goede verwerkingstechnieken voorhanden zijn.

Accumulatie op zichzelf is geen milieuprobleem, er treden immers geen verliezen op uit de economie naar het milieu. Indien er echter sprake is van accumulatie in de economie dan duidt dit aan dat de voorraad in het systeem groter wordt. De voorraad in de economie leidt tot ketenverliezen in de toekomst. Het optreden van accumulatie is daarmee een signaal dat problemen naar de toekomst worden afgeschoven.

Een indicatie voor de grootte van de problemen in de toekomst wordt gevormd door gegevens over de werkelijk aanwezige voorraden. Immers de voorraad in een systeem kan enorm groot zijn terwijl de jaarlijkse aanwas relatief klein is (bijvoorbeeld bij een systeem dat de evenwichtssituatie nadert). Anderzijds kan de voorraad klein zijn terwijl de accumulatie heel erg groot is (bijvoorbeeld bij de introductie van een nieuw soort produkt met een levensduur langer dan een jaar). De mogelijke toekomstige lekken zijn dus afhankelijk van de grootte van de voorraad.

#### *rekenmethode/aannamen*

De accumulatie in de economie is een post in de stofstroomanalyse, zoals die momenteel op het CML wordt toegepast. Vaak treedt de post accumulatie in de economie op als sluitpost in de balans van een bepaalde sector. Voor het berekenen van de indicator is geen verdere bewerking van de gegevens noodzakelijk.

In de haalbaarheidsstudie is niet gerekend met de voorraden in de economie. Het inventariseren van de voorraden in de economie is een arbeidsintensieve aangelegenheid. Informatie moet verzameld worden over het type materialen en produkten waarin de aanwezig is of in het verleden werd toegepast. Geïventariseerd moet worden hoeveel van deze materialen en produkten momenteel in de economie aanwezig zijn. En tenslotte moet het gehalte van de stof in de materialen/produkten worden bepaald. Een andere methode om informatie te krijgen over de huidige voorraden is het doorrekenen van een aantal stofbalansen uit het verleden met behulp van import/export- en lekgegevens uit het verleden en gegevens met betrekking tot de levensduur van produkten.

Voor de spreadsheets waarin de indicator accumulatie wordt gespecificeerd wordt verwezen naar de bijlage.

#### *boodschap t.a.v. de cadmiumketen*

De presentatie van de accumulatie staat weergegeven in de figuur van de deelindicator "absolute gebruik in de regio". De ten opzichte van de gebruiksstroom hoge accumulatie in 1985 is veroorzaakt door de toen nog nieuwe batterijen, die wel het systeem instroomden maar waar de afvalstroom nog niet van op gang was genomen. Dat laatste was wel het geval in 1990.

Dit leidt tot de vraag of accumulatie eigenlijk wel de meest relevante maat is. Waarschijnlijk is het erbij betrekken van de omvang van de *voorraad* in de economie een goed idee. De accumulatie wordt daarmee in perspectief geplaatst en er ontstaat een beter beeld van de toekomstige hoeveelheid afval en de stijging daarin. Helaas zijn deze voorraadgegevens niet beschikbaar. Gezien de interessante resultaten van een Zweedse studie naar voorraden van metalen in de maatschappij, kan het aanbeveling verdienen een beeld te proberen te verkrijgen van deze voorraden (Bergback & Lohm, 1996).

### **3.5 Export van verontreiniging**

#### *Definitie en relevantie van de indicator*

Een van de gevolgen van een milieubeleid kan zijn dat de problemen in een regio worden 'opgelost' ten koste van een andere regio. Er is dan sprake van probleemverschuiving in de ruimte, bijvoorbeeld het afschuiven van problemen naar het buitenland. Vooral in regio's met een streng milieubeleid kunnen de milieuvriendelijke processen van de levenscyclus van een stof worden verplaatst naar buiten de regio. De indicator "export van vervuiling" is een maat voor en dergelijke probleemverschuiving naar het buitenland. Overigens is het ook mogelijk dat er sprake is van import van vervuiling. De indicator 'export van verontreiniging'

heeft betrekking op de netto export. Door de im- en export van grondstoffen, materialen en producten is er altijd sprake van een uitwisseling van een stof tussen de regio en het gebied daarbuiten. De indicator export van verontreiniging geeft aan naar welke kant de balans van im- en export doorslaat. De indicator geeft dus niet aan in hoeverre de regio zelfvoorzienend is. De indicator 'export van verontreiniging' is nauw verwant aan het begrip 'ecological footprint'.

Voor de duidelijkheid wordt erop gewezen dat de import en export van vervuiling bij deze indicator betrekking hebben op het economisch systeem. Met de import en export van vervuiling wordt dus niet bedoeld de import en export van een stof via het milieu door de lucht en/of rivieren.

#### *rekenmethode/aannamen*

Bij het bepalen van de levenscyclus van een stof zijn er twee soorten benaderingen denkbaar, de regionale en de functionele benadering. De twee benaderingswijzen verschillen van elkaar daar ze een principieel andere doorsnede maken van de processen uit de levenscyclus die in de berekeningen worden opgenomen. Het is juist het verschil tussen deze typen benaderingen die een maat is voor de indicator "export van vervuiling".

In de regionale benadering van de stofstroomanalyse bepaald het geografisch afgescheiden gebied welke processen uit de levenscyclus van een stof in de berekeningen worden betrokken. Alle voor de betreffende stof relevante processen die in de regio optreden worden meegenomen ook al treedt de 'consumptie' van de stof elders op. Het resultaat van deze berekeningswijze is een beeld van de verontreiniging in de regio. Dit noemen we de *regionale vervuiling*.

In de functionele benadering van de stofstroomanalyse worden die processen in de berekeningen opgenomen die relevant zijn voor de consumptie door de bevolking in de regio. Dit betekent enerzijds dat processen die elders optreden ten behoeve van de consumptie in de regio relevant zijn, maar dat processen die in de regio optreden ten behoeve van de consumptie elders worden uitgesloten. Dit noemen we de *vervuilings-footprint*.

In theorie is de indicator "export van vervuiling" het saldo van de vervuilings-footprint minus de regionale vervuiling. In de praktijk is het afleiden van de indicator "export van vervuiling" een enorme gegevens- en tijdbehoefte berekening. In onderstaande tekst wordt een sterke vereenvoudiging van de berekeningsmethode voorgesteld waarmee de indicator "export van verontreiniging" kan worden benaderd. Van geval tot geval moet worden vastgesteld of een dergelijke vereenvoudiging te verantwoorden is.

De eerste stap is de berekening van de indicator is het afleiden van de 'zelfvoorzieningsgraad' van de regio voor de verschillende levenscyclusstadia. Het centrale uitgangspunt bij de berekening van deze 'zelfvoorzieningsgraad' van de regio is de instroom naar de consumptiefase. Deze instroom is namelijk de indicatie voor de behoefte van de regio. Deze consumptiebehoefte kan met behulp van efficiency-factoren (zie de indicator 'efficiency') worden vertaald naar instromen naar de productie- en vervolgens de winningsfase en tenslotte

de afvalverwerkingsfase. Deze afgeleide **referentie-instromen** zijn daarmee inschattingen voor de niveaus van winning, produktie en afvalverwerking nodig om te voorzien in de consumptiebehoefte van de regio. De zelfvoorzieningsgraad van de regio kan dan vervolgens worden berekend door de actuele regionale niveaus, de instroom naar de processen die feitelijk in de regio plaatsvinden, te delen door de afgeleide referentie niveaus, die nodig zijn om de behoefte van de regio te vervullen.

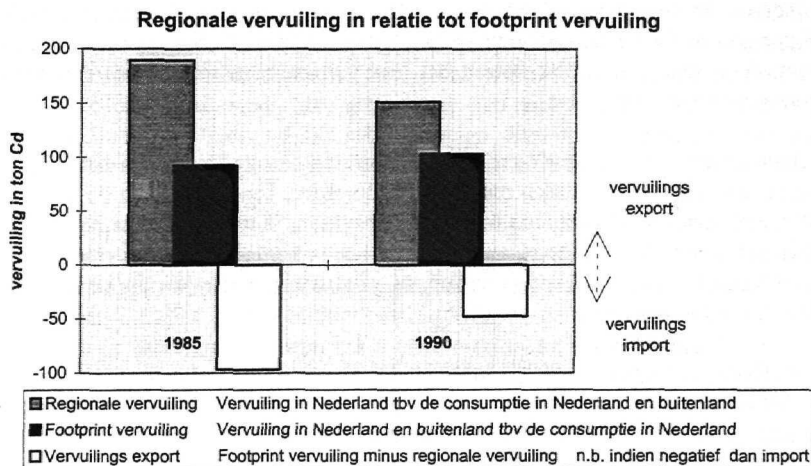
In een tweede stap wordt vervolgens op theoretische wijze een **referentielek ofwel vervuilings-footprint** ingeschat voor iedere fase uit de levenscyclus door de actuele regionale lekken te delen door de zelfvoorzieningsgraad. Vervolgens worden de referentielekken van de levenscyclusfasen opgeteld tot één getal. Dit referentielek is een benadering voor het lek volgens de functionele benadering ofwel de vervuilings-footprint. Bij deze theoretische benadering van het functionele lek wordt er dus vanuit gegaan dat het regionale lek van een levenscyclusfase representatief is voor het totaal van processen nodig voor de behoefte van de regio. Deze aanname leidt tot onnauwkeurigheden. In het geval van cadmium is dit met name voor de winningsfase het geval. De processen in de winningsfase van cadmium hebben met name betrekking op de zinkertsverwerking. In Nederland vindt er geen winning van ertsen plaats en de optredende lekken in het buitenland zijn onbekend.

Indien nu vervolgens de zo benaderde vervuilings-footprint wordt vergeleken met de regionale vervuiling, dan wordt een maat verkregen voor de netto im- of export van verontreiniging. Indien de footprint vervuiling kleiner is dan de regionale vervuiling betekent dit dat Nederland in dit geval netto vervuiling importeert. Indien de footprint groter is dan de regionale vervuiling dan betekent dit dat Nederland netto vervuiling 'exporteert'.

Voor het spreadsheet waarin de indicator export van verontreiniging is afgeleid wordt verwezen naar de bijlage.

#### *boodschap t.a.v. de cadmiumketen*

Uit de indicator "export van verontreiniging" blijkt voor cadmium dat Nederland netto vervuiling importeert. Er is dus geen sprake van een netto afwenteling van vervuiling naar het buitenland, integendeel. Ten opzichte van 1985 is in 1990 de vervuilings-footprint toegenomen, hoewel tegelijkertijd de cadmiumconsumptie in de gebruikersgroepen is afgenomen van 212 ton naar 192 ton Cd (zie de indicator absoluut gebruik)! Dit is het gevolg van een naijl-effect van in gebruik zijnde accu's en batterijen. In 1985 kwamen nog geen accu's en batterijen in de afvalfase terecht, terwijl in 1990 de afgedankte accu's werden geëxporteerd naar het buitenland voor opwerking. Deze export van accu's voor opwerking is een afwenteling van vervuiling naar het buitenland. De netto balans voor Nederland slaat voor 1990 echter nog steeds niet door naar export van vervuiling.



### 3.6 Dissipatie

#### *Definitie en relevantie van de indicator*

Met de term dissipatie wordt bedoeld de afname in de 'herwinbaarheid' van een stof in de economische voorraden ten gevolge van hergebruik. Tijdens het mechanisme van hergebruik is het mogelijk dat in de secundaire toepassing van de stof de mogelijkheid voor hergebruik van de stof is verschoven naar een moeilijker inzamelbare en/of moeilijker herwinbaar toepassing. Bijvoorbeeld cadmium in batterijen is in hoge concentraties en op een makkelijk inzamelbare wijze aanwezig in batterijen. Indien het cadmium uit de batterijen wordt herwonnen is het voor de volledige markt van cadmiumtoepassingen beschikbaar. Als nu dit cadmium wordt toegepast als pigment of stabilisator in (kleine) kunststoffen dan is de mogelijkheid tot herwinbaarheid afgenomen. Deze afname in de "herwinbaarheidskwaliteit" is een ongewenst bijeffect van de recycling van cadmium.

Voor de indicator dissipatie zijn de diverse producten die instromen bij de gebruikers onderscheiden in een aantal typen. Het onderscheid in typen heeft betrekking op de mate waarin Cd 'verloren' is voor de economische keten, en dus uit het oogpunt van voorraadbeheer bij afdanking een verlies van cadmium zal veroorzaken. De categorie "herwinbaar" heeft betrekking op het metallisch cadmium in batterijen en accu's. Bij opwerking van deze producten komt Cd beschikbaar voor de totale cadmiummarkt (batterijen, accu's, stabilisatoren, pigmenten, legeringen en cadmeren). De categorie "isoleerbaar" heeft betrekking op Cd als stabilisator in PVC (raam- en deurkozijnen en bouwpanelen) en pigmenten in, duidelijk herkenbare inzamelbare, kunststoffen (bv. kratten). Het Cd in dit soort producten is niet meer herwinbaar en dus eigenlijk verloren voor de cadmiummarkt, maar door hergebruik op



materiaalnivo kan het secundaire materiaal het gebruik van primair materiaal in kunststoffen verminderen. In de categorie "slecht inzamelbaar" vallen de produkten cadmeren, legeringen en pigmenten in kleine kunststoffen en overige produkten. Samen met de categorieën niet-functioneel gebruik en verlies, betreft het hier toepassingen waarbij het cadmium voor de economische markt verloren is.

De classificaties "herwinbaar" en "isoleerbaar" zijn volledig theoretisch. Ze geven het potentieel aan van wat technisch mogelijk is. Zo zullen bijvoorbeeld in de praktijk niet alle toepassingen waaruit het cadmium in theorie herwinbaar is worden ingezameld. Daarom is bij de indicator dissipatie ook opgenomen wat in het betreffende jaar de werkelijke vorm van afvalverwerking zou zijn geweest indien de produkten in dat jaar in de afvalfase terecht zouden zijn gekomen.

#### *rekenmethode/aannamen*

Voor het afleiden van de dissipatie van cadmium in de economie kan worden uitgegaan van voorraden in de economie of toestromen naar de gebruikersgroepen. Voor het evalueren van het huidige beheer en het evalueren van veranderingen in de tijd is het toereikend te beschikken over de dissipatie van cadmium in produkten die naar de gebruikersgroepen toestromen. Een arbeidsintensieve analyse van de voorraden is dus niet noodzakelijk.

De materialen en produkten in de toestroom naar de gebruikers zijn ingedeeld naar mate van herwinbaarheid; goed inzamelbaar en herwinbaar, goed inzamelbaar en isoleerbaar, slecht inzamelbaar en herwinbaar, niet-functioneel hergebruik en verliezen (in de laatste twee typen is het cadmium een verontreiniging).

Het pigmentgebruik uit 1985 van 32 ton Cd is voor de vergelijkbaarheid met 1990 als volgt opgedeeld (volledig natte vinger) 2 ton herkenbaar/inzamelbaar, 24 ton slecht herkenbaar/inzamelbaar en 6 ton in bier- en frisdrankkratten. Over het Cd gebruik in kunststoffen is al met al weinig bekend zowel voor 1985 als ook 1990. Verder is aangenomen dat er in 1985 nog geen inzamelstructuur aanwezig is voor PVC bouwmaterialen (met Cd als stabilisator).

Voor het spreadsheet waarin de indicator dissipatie wordt afgeleid wordt verwezen naar de bijlage.

#### *boodschap t.a.v. de cadmiumketen*

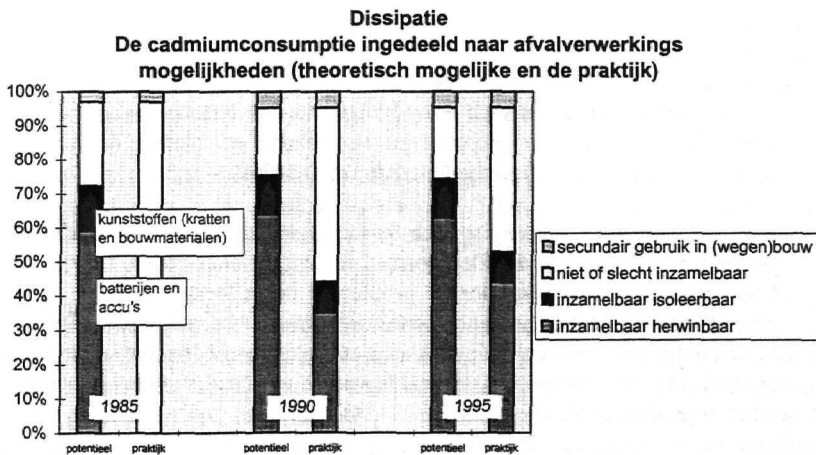
Met betrekking tot de theoretisch mogelijke afvalverwerking laat het verschil tussen 1985 en 1990 in de figuur het effect van het cadmiumbeleid zien: moeilijk inzamelbare en niet-herbruikbare toepassingen (cadmeren, legeringen en pigmenten in kleine kunststoffen) zijn duidelijk afgenomen. Dit is dus een verandering juist in de richting van meer hoogwaardige toepassingen die goed inzamelbaar en isoleerbaar of herwinbaar zijn (kratten, bouwmaterialen, accu's en batterijen). In 1995 zet deze trend zich niet voort. Hier zien we een lichte toename van de moeilijk inzamelbare toepassingen die met name veroorzaakt wordt door de lichtgele categorie, de intentionele primaire Cd-toepassingen. Deze categorie zou als gevolg van het cadmiumbesluit eigenlijk niet meer mogen voorkomen. Waarschijnlijk gaat het om geïmporteerde produkten die in het buitenland vervaardigde cadmiumhoudende onderdelen bevatten, zoals pigment bevattende kunststoffen.

Het verschil tussen 1985 en 1990 met betrekking tot de praktijk van het betreffende jaar toont een aanzienlijke toename van isolatie en hergebruik ten opzichte van stort en verbranding. Door in de figuur de praktijk met de theoretische mogelijkheden te vergelijken kan een beeld ontstaan van in hoeverre potenties voor een nette afvalverwerking ook gerealiseerd worden in de praktijk. Ook hier geldt weer, dat het mooier zou zijn wanneer, aanvullend op de gebruiksstromen, naar de voorraad bij gebruikers op deze manier gekeken zou kunnen worden. Dan worden ook voorspellingen voor de toekomst zinvol.

*Nota bene:*

Uit het oogpunt van voorraadbeheer zijn de categorieën 'herwinbaar' en 'isoleerbaar' identiek. Uit het oogpunt van milieuverontreiniging scoort het isoleerbaar Cd wellicht beter. Bij het herwinbaar Cd komt na opwerking metallisch Cd op de markt en voorkomt daarmee de noodzaak voor de productie van primair Cd. Het metallisch Cd kan in allerlei toepassingen worden gebruikt, echter ook in toepassingen die de neiging hebben diffuus in de economie en het milieu terecht te komen.

Het isoleerbaar Cd in grote herkenbare kunststoffen komt niet als Cd op de markt, maar door het materiaalhergebruik wordt toch de inzet van primair Cd voorkomen. Het voordeel is bovendien dat het Cd in herkenbare produkten is geïsoleerd en dat het niet in allerlei kleine moeilijk controleerbare toepassingen terecht komt. Het is echter de vraag in hoeverre slijtage van de kunststof kratten en bouwmaterialen optreedt. VROM-SVS wil uit deze toepassingen liever metallisch Cd terugwinnen dan isoleren. Het toelaten van Cd in kratten moet echt gezien worden als een tijdelijke toelating. Het lijkt erop dat Heineken met een procédé bezig is om Cd uit de kunststofkratten te halen, waardoor het in de toekomst ook mogelijk zou zijn om Cd uit kunststoffen te winnen.





#### 4 Algemene conclusies en aanbevelingen

In de haalbaarheidsstudie is getracht een tweetal indicatoren te ontwikkelen voor het evalueren van het voorraadbeheer van zware metalen. De indicatoren hebben enerzijds betrekking op het ketenbeheer 'hier en nu' en anderzijds op de afwenteling ten gevolge van het beheer naar de toekomst, in de ruimte of binnen de keten naar andere toepassingen. In principe zijn deze indicatoren ook voor ander stoffen te gebruiken.

In de haalbaarheidsstudie is gebruik gemaakt van een stofstroomoverzicht als resultaat van een stofstroomanalyse. In een dergelijk overzicht is per sector een balans opgesteld van in- en uitgaande stromen bestaande uit im- en export, stromen tussen sectoren en lekken uit sectoren naar het milieu (zie de studies Annema, 1995, en van der Voet, 1989).

##### 4.1 **Conclusies tav de indicatoren**

###### *Indicator ketenbeheer*

- 1 Met behulp van de resultaten van een stofstroomanalyse is het goed mogelijk een indicator op te stellen voor het ketenbeheer 'hier en nu'. Met de indicator ketenbeheer is het mogelijk voor de gehele keten op een drietal aspecten het beheer van de keten te evalueren. De deelaspecten zijn; het absolute niveau van consumptie van de stof, het percentage van het totale afval dat functioneel wordt hergebruikt en de efficiëntiepercentages van de verschillende fasen in de keten.
- 2 De deelaspecten van de indicator ketenbeheer kunnen op een overzichtelijk manier en duidelijk onderscheidbaar worden weergegeven in één figuur.

###### *Indicator afwenteling*

- 3 Met behulp van een stofstroomanalyse is het mogelijk een indicator op te stellen voor de afwenteling van problemen ten gevolge van het beheer in de tijd (economische accumulatie), de ruimte (export van vervuiling) en binnen de keten tussen de verschillende soortige toepassingen van de stof (dissipatie).
- 4 Voor het deelaspect afwenteling naar de toekomst is in de haalbaarheidsstudie gebruik gemaakt van de aanwas van de voorraad in de gebruikersgroep, de zgn accumulatie. Voor een betere indicatie voor de problemen in de toekomst is het noodzakelijk te beschikken over informatie met betrekking tot de voorraden zelf. De economische accumulatie duidt aan dat in de toekomst een grotere afvalstroom te verwachten is dan dat nu blijkt. Met behulp van de grootte van de voorraad kan deze groei in perspectief worden geplaatst.
- 5 Voor het afleiden van de indicator 'export van verontreiniging' is een sterk vereenvoudigde rekenmethode gebruikt. In deze methode worden de verschillende processen niet werkelijk gelokaliseerd in het binnen- of buitenland, maar worden processen binnen de regio als representatief beschouwd voor processen buiten de

regio. Met behulp van een aantal aannamen kan vervolgens de 'export van verontreiniging' worden ingeschat. Het beeld van deze indicator is dus incompleet, maar kan desondanks een indicatieve waarde hebben.

#### *Algemeen*

- 6 Voor het opstellen van de indicatoren moet erop worden gelet dat de deelaspecten consistent zijn gedefinieerd. Daarmee wordt bijvoorbeeld bedoeld dat de stromen die in het deelaspect hergebruik zijn gedefinieerd als lek overeenkomen met de stromen die in het deelaspect efficiency zijn gedefinieerd als lek. Een goede definitie van de deelaspecten en de benodigde parameters voor het afleiden van de deelaspecten is daarvoor noodzakelijk.
- 7 Bij een goede evaluatie van het beheer moeten alle aspecten van beide indicatoren in beschouwing worden genomen. Een verbetering in het ketenbeheer 'hier en nu' kan leiden tot het uitstellen van de problemen of het verplaatsen van de problemen naar elders. Voor het beleid is het relevant over deze informatie te beschikken teneinde een vollediger afweging mogelijk te maken.
- 8 De indicatoren bieden de mogelijkheid de keten te evalueren aan de hand van algemeen geldende criteria, zoals: 'een goed ketenbeheer houdt in dat zoveel mogelijk van het afval functioneel wordt hergebruikt' of 'de lekken uit de processen in de keten dienen zo klein mogelijk te zijn' met andere woorden 'de efficiency van de processen moet zo groot mogelijk zijn'. Op grond van deze algemene criteria kunnen dan aandachtspunten worden afgeleid voor verbetering van het ketenbeheer.
- 9 De indicatoren bieden ook de mogelijkheid veranderingen in de tijd te evalueren. Door een indicator op te stellen voor verschillende momenten in de tijd is het op deze wijze mogelijk de gevolgen van het gevoerde beleid en eventuele uitgevoerde maatregelen te evalueren.
- 10 De indicatoren 'ketenbeheer' en 'afwenteling' zijn een aanvulling op, en geen vervanging van, de milieu-indicatoren (emissies, concentraties, ADI's, milieuaccumulatie en dergelijke).

#### **4.2 Conclusies t.a.v. de cadmiumketen en het op cadmium gericht beleid**

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat mede ten gevolge van het cadmiumbesluit, waarop vele industrieën in 1990 op vooruitliepen, het beheer van de cadmiumketen is verbeterd. In 1985 is ten opzichte van 1990 het *cadmiumgebruik* gedaald van 210 ton Cd/jr naar 190 ton Cd/jr. Veruit de grootste toepassingsvorm van cadmium is het gebruik van cadmium in Ni/Cd batterijen en accu's (130 ton Cd in 1990). De daling van het cadmiumgebruik heeft niet voortgezet voor het jaar 1995. De processen in de winning-, productie- en consumptiefase zijn efficiënt, dwz. dat er gedurende deze fasen weinig lekken optreden van cadmium uit de keten. De grootste lekken uit de keten zijn te vinden in de

afvalverwerkingsfasen. Door het verbeteren van de inzamelings- en hergebruiksstructuur van cadmium, met name in accu's en batterijen, is de *efficiency* sterk op te voeren. Zo is de efficiency in de afvalverwerking gestegen van 20% in 1985 naar 60% in 1990. In 1995 is het functionele *hergebruik* van cadmium verder toegenomen door een verbeterde inzamelstructuur van batterijen.

Het blijkt dat Nederland geen problemen afwentelt naar het buitenland. Het gebruik van toepassingen is verschoven naar de hoogwaardige toepassingen die goed inzamelbaar zijn voor herwinning of isolatie van cadmium, zoals cadmium in batterijen en accu's, pigmenten in kratten en stabilisatoren in bouwelementen. Uit de accumulatie blijkt, dat zowel voor 1985 als ook 1990 de voorraad aan cadmium in de economie is gegroeid. Deze voorraad komt vroeg of laat in de afvalfase terecht, wat betekent dat mogelijke lekken uit de keten naar de toekomst zijn afgewenteld. Daar de efficiency van de afvalverwerking nog niet maximaal is (ca. 60%) is het raadzaam veel aandacht te besteden aan de inzamelstructuur van accu's, batterijen en kunststoffen, zoals kratten en PVC-bouwprofielen, vanuit de grootste toepassingsgebieden op dit moment. Mogelijk moet ook worden gezocht naar inzamel- en verwerkingsmogelijkheden van de kleinere cadmiumtoepassingen die door het gebruik in het verleden ook nu nog in de voorraad aanwezig zijn, zoals cadmeren, legeringen en cadmiumpigment bevattende kleine kunststoffen.

### 4.3 Aanbevelingen

De resultaten van de stofstroomanalyse met betrekking tot de zes zware metalen (Annema, 1995) laten voorraden in de economie en het milieu buiten beschouwing. Om een betere inschatting te maken van de problemen in de toekomst is informatie noodzakelijk over deze voorraden.

Het uitvoeren van een stofstroomanalyse is een gegevensbehoefte methode. Indien een stofstroomoverzicht aanwezig is, is voor het afleiden van een indicator geen extra informatie noodzakelijk. Een uitzondering hierop vormt het deelaspect 'export van vervuiling'. In de haalbaarheidsstudie is dit deelaspect ingeschat met behulp van de stofstroomanalyse van de regio, aangevuld met aannamen en theoretische schattingen. Voor een werkelijke inschatting van de import/export van vervuiling zouden feitelijk ook gegevens beschikbaar moeten zijn van processen buiten de regio die samenhangen met de geïmporteerde en geëxporteerde materialen en producten. De gegevensbehoefte voor het afleiden van dit deelaspect is dus nog groter. Voorgesteld wordt om de beschreven methode voor het afleiden van de 'export van vervuiling' als inschatting te handhaven.

Het is voor de metalen niet noodzakelijk om jaarlijks een overzicht te maken van de indicatoren ketenbeheer en afwenteling veranderingen in de trends treden namelijk niet zo vaak op. Gezien de databehoeft en daarmee de arbeidsintensieve methode voor het opstellen van een stofstroomschema is dit een gelukkige omstandigheid. Een overzicht van de metalen om de 5 jaar kan voldoende worden geacht en is waarschijnlijk ook haalbaar.

De behandelde indicatoren hebben niet specifiek betrekking op zware metalen, maar kunnen ook voor andere stoffen worden afgeleid. Goede kandidaten daarvoor zijn bijvoorbeeld de nutriënten, waarover veel bekend is met name door activiteiten binnen het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), of bepaalde organische (micro)verontreinigingen.

Indicatoren voor economische ketens zijn met name interessant voor stoffen die een ingewikkelde en vertakte keten hebben, voor stoffen waarvan de toepassingen een lange levensduur hebben en voor stoffen die in grote hoeveelheden worden gebruikt.

Te overwegen valt ook, op te schalen naar het niveau van de totale-massa-stromen, teneinde een relatie te kunnen leggen met indicatoren als materials intensity en MIPS. De procedure voor het berekenen van dergelijke indicatoren op massabasis vertoont veel overeenkomsten met de in dit rapport beschreven berekeningen.

Bij het afleiden van de indicatoren kan aansluiting worden gezocht bij de stofbalansen die worden opgesteld door het CBS. Activiteiten met betrekking tot stofstromanalyses en het afleiden van de betreffende indicatoren zouden tussen RIVM en CBS moeten worden afgestemd, zodat extra werk zo beperkt mogelijk kan blijven.

## LITERATUUR

Annema, J.A., H. Booij, L. Paardekooper, L. van Oers, E. van der Voet en P. Mulder (1995). Stofstroomanalyse van zes zware metalen - gevolgen van autonome ontwikkelingen en maatregelen. RIVM. raport nummer 601014010.

Bergback, B. & U. Lohm (in prep). "HOMO METALLICUS ssp. suecicus" Department of Water and Environmental Studies, Linköping University, Linköping, Zweden.

RIVM, 1995. Milieubalans 95. Het Nederlandse milieu verklaard. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. Uitgegeven door Samsom H.D.Tjeenk Willink bv, Alphen aan de Rijn.

Voet, E. van der, P.C. Koppert, W.G.H. van der Naald, G. Huppés en J.F. Feenstra (1989). Stroomschema's voor stoffen in economie en milieu van Nederland en Zuid-Holland. Deel IIa: Cadmium. Centrum voor Milieukunde, Leiden, Instituut voor Milieuvraagstukken, Amsterdam.

Voet, E. van der, P.C. Koppert, W.G.H. van der Naald, G. Huppés en J.F. Feenstra (1989). Stroomschema's voor stoffen in economie en milieu van Nederland en Zuid-Holland. Deel IIb: Bijlagen bij het cadmiumrapport. Centrum voor Milieukunde, Leiden, Instituut voor Milieuvraagstukken, Amsterdam.

Voet, E. van der, (1996). Substances from cradle to grave - Development of a methodology for the analysis of substances flows through the economy and the environment of a region. Doctoral thesis. Centre of Environmental Science, Leiden University.

# Bijlagen

spreadsheets voor 1985 en 1990 per deelindicator

## ketenbeheer indicator

## efficiency

1985

## nuttige uitstroom als % van de instroom

fase	proces	instroom	lek	nuttige uitstroom	efficiency proces	fase
winning	zinkertsverwerking	756	108,14	647,86	85,695767	
	P-erts verwerking	47	17,75	29,25	62,234043	
	schrootverwerking	13,8	0,63	13,17	95,434783	
	SOM	816,8	126,52	690,28		84,510284
productie	accu's	150	0	150	100	
	batterijen	55	0	55	100	
	pigmenten	71	0	71	100	
	stabilisatoren	108	0,103	107,897	99,90463	
	cadmeren	3	0	3	100	
	legeringen	15	0	15	100	
	overige (chemische) p	5	0,54	4,46	89,2	
	kunstmest industrie			0	#DIV/0!	
	veevoer industrie			0	#DIV/0!	
	dierlijke productie	4,7	0	4,7	100	
	plantaardige productie	18,3	16	2,3	12,568306	
	voedingsmiddelen ind.			0	#DIV/0!	
	electriciteitscentrale	0,77	0,02	0,75	97,402597	
	petrochemische ind.	1,34	1,34	0	0	
	ijzer- en staal industrie	4,05	5,65	-1,6	-39,50617	
SOM	436,16	23,653	412,507		94,57699	
consumptie	verkeer	7,11	7	0,11	1,5471167	
	huishoudens	178,48	0,12	178,36	99,932766	
	bier- en frisdr.kratten			0	#DIV/0!	
	overige kratten			0	#DIV/0!	
	bouw	22	6	16	72,727273	
	wegenbouw	4,23	0	4,23	100	
	zinkketen	0,25	0,1	0,15	60	
	ijzerketen (incl. metaal	0,05	2,01	-1,96	-3920	
	waterleiding	0	0	0	#DIV/0!	
	SOM	212,12	15,23	196,89		92,820102
afval verwerking	RWZI	2,8	1,7	1,1	39,285714	
	stortplaats	13,2	13,2	0	0	
	AVI	10,2	6,2	4	39,215686	
	compostverwerking	3,2	3	0,2	6,25	
	opslag batterijen			0	#DIV/0!	
	export accu's			0	#DIV/0!	
	opslag kratten			0	#DIV/0!	
SOM	29,4	24,1	5,3		18,027211	

n.b.

afgeleid uit de cadmiumbalans van 1985 (Basisdocument, CML rapport)

de efficiency is gedefinieerd als de nuttige uitstroom (1-lek) gedeeld door de instroom als lekken zijn beschouwd emissies, stort en de reststroom vanuit plantaardige productie naar de bodem

het gebruik van assen en slakken in de (wegen)bouw is niet beschouwd als lek

## ketenbeheer indicator

## efficiency

1990

## nuttige uitstroom als % van de instroom

fase	proces	instroom	lek	nuttige uitstroom	efficiency proces	fase
winning	zinkerts verwerking	702,5	82,3	620,2	88,284698	
	P-erts verwerking	22,5	10,5	12	53,333333	
	schrootverwerking	17,5	0	17,5	100	
	SOM	742,5	92,8	649,7		87,501684
productie	accu's	45	0	45	100	
	batterijen	130	0	130	100	
	pigmenten	43,5	0	43,5	100	
	stabilisatoren	0	0	0	#DIV/0!	
	cadmeren	1,6	0,25	1,35	84,375	
	legeringen	3	0	3	100	
	overige (chemische) producten					
	kunstmest industrie	11,4	0	11,4	100	
	veevoer industrie	2,3	0	2,3	100	
	dierlijke productie	4,2	0	4,2	100	
	plantaardige productie	11,3	7,83	3,47	30,707965	
	voedingsmiddelen ind.	1,21	0	1,21	100	
	electriciteitscentrale	1,12	0,02	1,1	98,214286	
	petrochemische ind.	7,1	1,4	5,7	80,28169	
	ijzer- en staal industrie	10,1	4,74	5,36	53,069307	
SOM	271,83	14,24	257,59		94,761432	
consumptie	verkeer	4,5	4	0,5	11,111111	
	huishoudens	150,23	0,0034	150,2266	99,997737	
	bier- en frisdr.kratten	6	0	6	100	
	overige kratten	0	0,5	-0,5	#DIV/0!	
	bouw	20	4,8	15,2	76	
	wegenbouw	5,39	0	5,39	100	
	zinkketen	1,2	0,4	0,8	66,666667	
	ijzerketen	4,86	0	4,86	100	
	waterleiding	0	0	0	#DIV/0!	
	SOM	192,18	9,7034	182,4766		94,950879
afval verwerking	RWZI	2,22	1,45	0,77	34,684685	
	stortplaats	24,75	24,75	0	0	
	AVI	16,5	8,16	8,34	50,545455	
	compostverwerking	0,64	0	0,64	100	
	opslag batterijen	6	0	6	100	
	export accu's	32	0	32	100	
	opslag kratten	6	0	6	100	
SOM	88,11	34,36	53,75		61,003291	

n.b.

afgeleid uit de cadmiumbalans van 1990

de efficiency is gedefinieerd als de nuttige uitstroom (1-lek) gedeeld door de instroom

als lekken zijn beschouwd emissies, stort en de reststroom vanuit plantaardige productie naar de bodem

het gebruik van assen en slakken in de (wegen)bouw is niet beschouwd als lek



## ketenbeheer indicator

## hergebruik (ton Cd)

1990

afval ingedeeld naar functioneel hergebruik en lekken uit de keten

	functioneel hergebruik	lekken uit de keten					tot. stort en emissies	soort materiaal hergebruik	afval
		verontreiniging herg. materiaal	bodem diffuus	stort	oppervlakte water	lucht			
zinkerts verwerkende industrie	30			82,3			82,3	Cu/Co koek	jarosiet
zinkketen		12	0,4		0,01		0,41	schroot	
basismetalaal industrie		0,3		2,9	0,04	1,8	4,74	slakken en assen	
ijzer- en staalketen		5,5					0	schroot	
pigment produktie en verwerking					0,16		0,16		
stabilisator produktie en verwerking							0		
cadmeren produktie				0,25			0,25		
overige (chemische) industrie							0		
electriciteits centrale		1,1				0,02	0,02	slakken en assen	
petrochemische industrie				0,7		0,7	1,4		
fosfaatertsverwerkende industrie				6,8	3,7		10,5		
plantaardige produktie			7,8				7,8		acc. agr.b.
verkeer			0,19	3,5		0,31	3,81		
							0,19		slijtage banden
bouw	11,2			4,8			4,8	stabilisatoren	
bier en frisdrankkratten	6						0	opslag kratten	
kunststofkratten				0,5			0,5		
waterleiding							0		
huishoudens						0,0034	0,0034		verbranden olie/kolen
huishoudelijke afvalverwerking	32			24,75			24,75	opwerking accu's, inzameling 100%	
	6						0	opslag batterijen bij inzamel van 40%	
afvalverbranding		4		7,2		1	8,2	bouw	
		4					0	wegenbouw	
compostverwerking		0,64					0	compost	
RWZI		0,39		0,58	0,87		1,45	bemesting met slib	
<b>SOM</b>	<b>85,2</b>	<b>27,93</b>	<b>8,39</b>	<b>134,28</b>	<b>4,78</b>	<b>3,8334</b>	<b>151,2834</b>		
<i>SOM exclusief opslag batterijen en kratten</i>	<b>73,2</b>								

afgeleid van de cadmiumbalans 1990

gelabelled naar bestemming van het afval; hergebruik (functioneel en niet-functioneel), storten/verbranden en emissies

## ketenbeheer indicator

## hergebruik (ton Cd)

1985

afval ingedeeld naar functioneel hergebruik en lekken uit de keten

	functioneel hergebruik	lekken uit de keten				tot. stort en emissies	soort materiaal hergebruik	afval	
		verontreiniging herg. materiaal	bodem diffuus	stort	oppervlakte lucht water				
zinkerts verwerkende industrie	50			108	0,025	0,115	108,14	Cu/Co koek	jarosiet
zinkketen		4,8	0,4		0,1		0,5	schroot	
basismetalaal industrie		0,98		2,42	0,05	0,55	3,02	slakken en assen	
ijzer- en staalketen		5,4		1,51	0,4	0,72	2,63	schroot	
pigment produktie en verwerking							0		
stabilisator produktie en verwerking				0,013	0,05	0,04	0,103		
cadmeren produktie							0		
overige (chemische) industrie					0,5	0,04	0,54		
electriciteits centrale		0,75				0,01	0,01	slakken en assen	
petrochemische industrie				0,5		0,84	1,34		
fosfaatertsverwerkende industrie		0,5		2	15,4	0,35	17,75	fosfoslakken	fosfogips
plantaardige produktie			16				16		acc. agr.b.
verkeer (incl. scheepvaart)			0,19	6,5		0,29	6,79	wrakken, banden, olieverbranding	
							0,19		slijtage
bouw	14			6			6	stabilisatoren	
bier en frisdrankkratten							0	opslag	
kunststofkratten							0		
waterleiding							0		
huishoudens					0,1	0,02	0,12	afvalwater, olieverbranding	
huishoudelijke afvalverwerking		0		13,2			13,2	geen afgedankte accu's	
		0					0	er zijn nog nauwelijks afgedankte batterijen	
afvalverbranding		2		4,5		1,7	6,2	bouw	
		2					0	wegenbouw	
compostverwerking		0,2		3			3	compost	
RWZI		0,7		0,3	1,4		1,7	bemesting met slib	
<b>SOM</b>	<b>64</b>	<b>17,33</b>	<b>16,59</b>	<b>147,943</b>	<b>18,025</b>	<b>4,675</b>	<b>187,233</b>		
<i>SOM exclusief opslag batterijen en kratten</i>	<b>64</b>								

afgeleid van de cadmiumbalans 1985 (basisdocument, CML-rapport)

gelabelled naar bestemming van het afval; hergebruik, storten/verbranden en emissies

## afwenteling

economische accumulatie (ton Cd) 1985

proces	accumulatie
--------	-------------

verkeer	0
huishoudens	149,36
opslag bier- en frisdr.kratten	
overige kratten	
bouw	2
wegenbouw	4,23
zinkketen	-4,65
ijzerketen	-7,99
waterleiding	
opslag batterijen	
<hr/>	
SOM	142,95

n.b.

afgeleid uit de cadmiumbalans van 1985 (Basisdocument, CML rapport)  
accumulatie is de toename van de voorraad cadmium in het studiejaar

**afwenteling****economische accumulatie (ton Cd) 1990**

<b>proces</b>	<b>accumulatie</b>
verkeer	0,39
huishoudens	70,62
opslag bier- en frisdr.krat	6
overige kratten	-0,5
bouw	4
wegenbouw	5,4
zinkketen	-11,2
ijzerketen	-0,64
waterleiding	-0,53
<u>opslag batterijen</u>	<u>6</u>
<b>SOM</b>	<b>79,54</b>

n.b.

afgeleid uit de cadmiumbalans van 1990  
accumulatie is de toename van de voorraad cadmium in het studiejaar

fase	proces	regionale instroom	regionale vervuiling tonnen	referentie instroom	self sufficiency %	footprint vervuiling tonnen
winning	zinkertsverwerking	756	108,14			
	P-erts verwerking	47	17,75			
	schrootverwerking	13,8	0,63			
	<b>SOM</b>	<b>816,8</b>	<b>126,52</b>	<b>265,39123</b>	<b>307,772038</b>	<b>41,108348</b>
productie	accu's	150	0			
	batterijen	55	0			
	pigmenten	71	0			
	stabilisatoren	108	0,103			
	cadmeren	3	0			
	legeringen	15	0			
	overige (chemische) p	5	0,54			
	kunstmest industrie					
	veevoer industrie					
	dierlijke productie	4,7	0			
	plantaardige productie	18,3	16			
	voedingsmiddelen ind.					
	electriciteitscentrale	0,77	0,02			
	petrochemische ind.	1,34	1,34			
ijzer- en staal industrie	4,05	5,65				
<b>SOM</b>	<b>436,16</b>	<b>23,653</b>	<b>224,28288</b>	<b>194,468697</b>	<b>12,162883</b>	
consumptie	verkeer	7,11	7			
	huishoudens	178,48	0,12			
	bier- en frisdr. kratten					
	overige kratten					
	bouw	22	6			
	wegenbouw	4,23	0			
	zinkketen	0,25	0,1			
	ijzerketen (incl. metaal	0,05	2,01			
	waterleiding	0	0			
	<b>SOM</b>	<b>212,12</b>	<b>15,23</b>	<b>212,12</b>	<b>100</b>	<b>15,23</b>
afval verwerking	RWZI	2,8	1,7			
	stortplaats	13,2	13,2			
	AVI	10,2	6,2			
	compostverwerking	3,2	3			
	opslag batterijen					
	export accu's					
	opslag kratten					
<b>SOM</b>	<b>29,4</b>	<b>24,1</b>	<b>29,4</b>	<b>100</b>	<b>24,1</b>	

**TOTAAL LEKKEN**

189,503

92,601231

**TOELICHTING**

regionale vervuiling is de vervuiling in Nederland tbv. de consumptie in Nederland en buitenland (ongespecificeerd)  
 footprint vervuiling is de vervuiling in Nederland en buitenland (ongespecificeerd) tbv. de consumptie in Nederland

**INDIKATOR** footprint vervuiling/regionale vervuiling \* 100%

48,865311 %

## afwenteling

## netto export van vervuiling

1990

fase	proces	regionale instroom tonnen	regionale vervuiling tonnen	referentie instroom	self sufficiency %	footprint vervuiling tonnen
winning	zinkerts verwerking	702,5	82,3			
	P-erts verwerking	22,5	10,5			
	schrootverwerking	17,5	0			
	SOM	742,5	92,8	231,77157	320,35853	28,967545
produktie	accu's	45	0			
	batterijen	130	0			
	pigmenten	43,5	0			
	stabilisatoren	0	0			
	cadmeren	1,6	0,25			
	legeringen	3	0			
	overige (chemische) producten					
	kunstmest industrie	11,4	0			
	veevoer industrie	2,3	0			
	dierlijke productie	4,2	0			
	plantaardige productie	11,3	7,83			
	voedingsmiddelen ind.	1,21	0			
	electriciteitscentrale	1,12	0,02			
	petrochemische ind.	7,1	1,4			
ijzer- en staal industrie	10,1	4,74				
SOM	271,83	14,24	202,80403	134,0358	10,624027	
consumptie	verkeer	4,5	4			
	huishoudens	150,23	0,0034			
	bier- en frisdr. kratten	6	0			
	overige kratten	0	0,5			
	bouw	20	4,8			
	wegenbouw	5,39	0			
	zinkketen	1,2	0,4			
	ijzerketen	4,86	0			
	waterleiding	0	0			
SOM	192,18	9,7034	192,18	100	9,7034	
afval- verwerking	RWZI	2,22	1,45	2,22		
	stortplaats	24,75	24,75	24,75		
	AVI	16,5	8,16	16,5		
	compostverwerking	0,64	0	0,64		
	opslag batterijen	6	0	6		
	export accu's	0	0	32		
	opslag kratten	6	0	6		
SOM	56,11	34,36	88,11	63,6817614	53,955794	
<b>TOTAAL LEKKEN</b>			151,1034			103,25077

## TOELICHTING

regionale vervuiling is de vervuiling in Nederland tbv. de consumptie in Nederland en buitenland (ongespecificeerd)  
 footprint vervuiling is de vervuiling in Nederland en buitenland (ongespecificeerd) tbv. de consumptie in Nederland

INDIKATOR footprint vervuiling/regionale vervuiling \* 100%

68,3312 %

## afwenteling

## dissipatie

1985

INSTROOM (tonnen Cd) PER GEBRUIKERSSECTOR, INGEDEELD NAAR POTENTIELE HERWINBAARHEID/ISOLEERBAARHEID

sector	produkt	METALLISCH CADMIUM		CADMIUMVERBINDINGEN		CADMIUM ALS VERONTREINIGING	
		inzamelbaar herwinbaar	moeilijk inzamelbaar	inzamelbaar isoleerbaar	moeilijk inzamelbaar	sec. gebruik (wegen)bouw	emissies
verkeer	olie						0,31
	lakken/kunststof				6,8		
huishoudens	accu's	81					
	batterijen	44					
	pigmenten			2	24		
	cadmeren		3				
	legeringen		15				
	div. produkten						
	overige (chem.) produkten				1		
	kolen/olie						1,44
	voedingsmiddelen						0,64
bier- en frisdr. kratten	kratten			6			
overige kratten							
bouw	stabilisatoren			20			
	slakken en assen					2	
wegenbouw	slakken en assen					4,23	
zinkketen	zink						0,25
ijzerketen	ijzer/staal						0
SOM		125	18	28	31,8	6,23	2,64

SOM 211,67

n.b.

afgeleid uit de cadmiumbalans van 1985 (Basisdocument, CML rapport)

De dissipatie van Cd in produkten zou idealiter moeten worden berekend met behulp van de voorraden aan produkten in de economie. Momenteel is hiervoor de instroom naar de verschillende eindgebruikerssectoren gebruikt, te weten verkeer, huishoudens, kratten, bouw ed.

## afwenteling

## dissipatie

1990

INSTROOM (tonnen Cd) PER GEBRUIKERSSECTOR, INGEDEELD NAAR POTENTIELE HERWINBAARHEID/ISOLEERBAARHEID

sector	produkt	METALLISCH CADMIUM		CADMIUMVERBINDINGEN		CADMIUM ALS VERONTREINIGING	
		inzamelbaar herwinbaar	moelijk inzamelbaar	inzamelbaar isoleerbaar	moelijk inzamelbaar	sec. gebruik (wegen)bouw	emissie
verkeer	olie						0,7
	lakken/kunststof					3,8	
huishoudens	accu's	32					
	batterijen	97					
	pigmenten				1	7,5	
	cadmeren		1,35				
	legeringen		3				
	div.produkten					7,5	
	overige (chem.) produkten						
	kolen/olie						0,24
	voedingsmiddelen						0,64
bier- en frisdr.kratten	kratten				6		
overige kratten							
bouw	stabilisatoren				16		
	slakken en assen					4	
wegenbouw	slakken en assen					5,4	
zinkketen	zink						1,2
ijzerketen	ijzer/staal						4,86
<b>SOM</b>		129	4,35	23	18,8	9,4	7,64

SOM 192,19

n.b.

afgeleid uit de cadmiumbalans van 1990

De dissipatie van Cd in produkten zou idealiter moeten worden berekend met behulp van de voorraden aan produkten in de economie. Momenteel is hiervoor de instroom naar de verschillende eindgebruikerssectoren gebruikt, te weten verkeer, huishoudens, kratten, bouw ed.



## afwenteling

## dissipatie

1985

INSTROOM (ton Cd) PER GEBRUIKERSSECTOR, NAAR TYPE AFVALVERWERKING DIE IN DE PRAKTIJK VAN DAT JAAR WORDT TOEGEPAST

gebruik sector	produkt/ afval	METALLISCH CADMIUM		CADMIUMVERBINDINGEN		CADMIUM ALS VERONTREINIGING	
		inzamelbaar herwinbaar	moeilijk inzamelbaar	inzamelbaar isoleerbaar	moeilijk inzamelbaar	sec. gebruik (wegen)bouw	emissie
verkeer	olie						0,31
	lakken/kunststof						6,8
huishoudens	accu's						81
	batterijen						44
	pigmenten						32
	cadmeren						3
	legeringen						15
	div. producten						
	overige (chemische) producten						1
	kolen/olie						1,44
	voedingsmiddelen						0,64
bier- en frisdr.kratten	kratten						
overige kratten							
bouw	stabilisatoren						20
	slakken en assen					2	
wegenbouw	slakken en assen					4,23	
zinkketen	zink						0,25
ijzerketen	ijzer/staal						0
SOM		0	0	0	0	6,23	205,44

SOM 211,67

n.b.

afgeleid uit de cadmiumbalans van 1985 (Basisdocument, CML rapport)

De dissipatie van Cd in producten zou idealiter moeten worden berekend met behulp van de voorraden aan producten in de economie. Momenteel is hiervoor de instroom naar de verschillende eindgebruikerssectoren gebruikt, te weten verkeer, huishoudens, kratten, bouw ed.

## afwenteling

## dissipatie

1990

INSTROOM (ton Cd) PER GEBRUIKERSSECTOR, NAAR TYPE AFVALVERWERKING DIE IN DE PRAKTIJK VAN DAT JAAR WORDT TOEGEPAST

gebruik sector	produkt/ afval	METALLISCH CADMIUM		CADMIUMVERBINDINGEN		CADMIUM ALS VERONTREINIGING	
		inzamelbaar herwinbaar	moelijk inzamelbaar	inzamelbaar isoleerbaar	moelijk inzamelbaar	sec. gebruik (wegen)bouw	emissie
verkeer	olie						0,7
	lakken/kunststof						3,8
huishoudens	accu's	32					
	batterijen	38,8					58,2
	pigmenten				1		7,5
	cadmeren						1,35
	legeringen						3
	div.produkten						7,5
	overige (chemische) produkten						
	kolen/olie						0,24
	voedingsmiddelen						0,64
bier- en frisdr.kratten	kratten				6		
overige kratten							
bouw	stabilisatoren				11		5
	slakken en assen					4	
wegenbouw	slakken en assen					5,4	
zinkketen	zink						1,2
ijzerketen	ijzer/staal						4,86
<b>SOM</b>		<b>70,8</b>	<b>0</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>9,4</b>	<b>93,99</b>

n.b. inzameling accu's 100% en batterijen 40%

SOM

192,19

afgeleid uit de cadmiumbalans van 1990

De dissipatie van Cd in produkten zou idealiter moeten worden berekend met behulp van de voorraden aan produkten in de economie. Momenteel is hiervoor de instroom naar de verschillende eindgebruiksectoren gebruikt, te weten verkeer, huishoudens, kratten, bouw ed.