



**Provinciale Waterstaat  
van Noord-Brabant**



**Provinciale Waterstaat  
in Limburg**

**DE ZWARE METALENVERONTREINIGING IN EEN  
GEDEELTE VAN NOORD-BRABANT EN VAN LIMBURG  
NADER ONDERZOEK FASE II**

**EVALUATIE VAN DE ONDERZOEKSRESULTATEN**



**HASKONING**  
Koninklijk Ingenieurs-  
en Architectenbureau

**OKTOBER 1985**

---

DE ZWARE METALENVERONTREINIGING IN EEN  
GEDEELTE VAN NOORD-BRABANT EN VAN LIMBURG  
NADER ONDERZOEK FASE II

EVALUATIE VAN DE ONDERZOEKSRESULTATEN

UITGEVOERD IN OPDRACHT VAN  
PROVINCIALE WATERSTATEN VAN NOORD-BRABANT EN LIMBURG

OKTOBER 1985

Lijst van figuren/tabellen

Lijst van bijlagen

Voorwoord

Samenvatting

1.	INLEIDING	1
1.1	Algemene inleiding	1
1.2	Doel van het onderzoek	2
2.	RESULTATEN NADER ONDERZOEK NAAR VERSPREIDING EN OMVANG	3
2.1	Resultaten deelproject I, bronbepaling ter beperking van de toename van cadmium	3
2.1.1	Conclusies deelproject I	4
2.2	Resultaten deelproject II, onderzoek naar de diffuse verontreiniging van bodem en grondwater	6
2.2.1	Conclusies van het bodemonderzoek	6
2.2.2	Conclusies van het grondwateronderzoek	7
2.3	Resultaten deelproject III, effecten ten aanzien van de assenwegen en -erven en een eerste inventarisatie hiervan	9
2.3.1	Conclusies assenwegenonderzoek	12
2.4	Resultaten deelproject IV, bepaling herkomst en verspreiding van de verontreinigingen in de waterlopen	15
2.4.1	Conclusies deelproject IV	15
2.4.2	Samenvattende conclusie deelproject IV	19
3.	CADMIUMBALANS	20
3.1	Algemeen	20
3.2	Historische cadmiumbalans (1893-heden)	20
3.2.1	Beperkingen	20
3.2.2	Aanvoer	21
3.2.3	Afvoer	21
3.2.4	Verdeling over het milieu dat direct beïnvloed is door KZM/Budelco (165 km <sup>2</sup> )	22
3.2.5	Conclusies (zie fig. 3.1) historische cadmiumbalans	24
3.3	Actuele (1983) cadmiumbalans in het totale onderzoeksgebied (350 km <sup>2</sup> )	26
3.3.1	Algemeen	26
3.3.2	Assenwegen, assenerven en asdepots	26
3.3.3	Waterlopen	27
3.3.4	Bodem en grondwater (diffuse verspreiding)	28
3.3.5	Enige conclusies naar aanleiding van de actuele balansen	29

<u>Lijst van figuren/tabellen</u>		<u>Blz</u>
Tabel 2.1	Overzicht gemiddelde cadmium- en zinkgehalten in bouwvoor nabij assenweg	13
Figuur 3.1	Historische cadmiumbalans van Budelco en directe omgeving (165 km <sup>2</sup> )	25
Tabel 4.1	Cd-gehalten in mg per kg vers gewicht van de onderzochte groenten bij een aantal cadmiumgehalten in de bouwvoor (mg/kg d.s.)	36
Tabel 4.2	Overzicht van dagelijkse opname van cadmium via voedsel en drinkwater (bij gemiddeld cadmiumgehalte) en van potentiële opname (bij niveau van de ontwerp-normen zoals aangeboden aan Adviescommissie Warenwet)	37
Tabel 4.3	Consumptiehoeveelheden van gecontamineerde groenten in gram per dag	39
Figuur 4.4	Wekelijkse cadmiumopname in relatie tot cadmiumgehalte in bodem	40

Lijst van bijlagen

II-1.	Cadmiumzoneringskaart
1.	Toetsingstabel Leidraad bodemsanering
II-2.	Zinkzoneringskaart
II-3.	Grondwaterverontreinigingskaart
III-1.	Assenwegen in onderzoeksgebied
IV-1.	Overzichtskaart onderzoeksresultaten waterlopen
2.	Berekeningen cadmiumbalans
3.	Relaties cadmium in de bodem - cadmium in de plant
4.	Wekelijkse cadmiumopname bij verschillende cadmiumconcentraties in de bodem
5.	Overzicht eigenschappen cadmium en zink

## Voorwoord

Dit rapport is het resultaat van een onderzoek dat heeft plaatsgevonden in opdracht van de Provinciale Waterstaat van Noord-Brabant en de Provinciale Waterstaat in Limburg. Het onderzoek werd uitgevoerd in het kader van de Interimwet Bodemsanering en vond plaats van april 1983 tot en met mei 1985. De volgende instellingen werkten aan het onderzoek mee:

- Provinciale Waterstaat van Noord-Brabant;
- Provinciale Waterstaat in Limburg;
- Consulentschap voor de Akkerbouw en de Tuinbouw in Noord-Brabant;
- Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant (in opdracht van het Waterschap De Dommel);
- Waterschap Zuiveringschap Limburg;
- Waterschap Midden-Limburg;
- Regionale Inspectie Milieuhygiëne Noord-Brabant;
- LISEC (Studiecentrum voor ecologie en bosbouw); werkgroep zware metalen in de Kempen, Genk, België.

en het Koninklijk Ingenieurs- en Architectenbureau Haskoning.

Het onderzoek is begeleid door een stuurgroep waarin zitting hadden:

- voorzitter: Ir. W.J.M. Konz, PWS Noord-Brabant;
- Ing. M.J. Biet, PWS Noord-Brabant;
- Ing. F.P.M. Schouten, PWS Noord-Brabant;
- Ir. D. Rootert, PWS Limburg;
- Dhr. W.M. Heinen, PWS Limburg;
- Drs. M.C. Rang, PWS Limburg;
- Dr. Ir. D. Brouwer, Inspectie Volksgezondheid voor de Milieuhygiëne in de Provincie Noord-Brabant;
- Ir. F.A.M. Swinkels, Inspectie Volksgezondheid voor de Milieuhygiëne in de Provincie Noord-Brabant;
- Ir. J.W. van Lidth de Jeude, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer;
- Drs. P.F.E. van Montfort, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer;
- Ir. T.W.M. Wouda, GTD Oost-Brabant;
- Ir. E.C.W.A. Geuze, GTD Oost-Brabant;
- Ir. P. van Velde, Directie Landbouw- en Voedselaangelegenheden in de Provincie Noord-Brabant;
- Ing. L. Korving, Haskoning;
- Ir. S.C.M. Hoogveld, Haskoning;
- Ir. A.Th. ten Houten, Haskoning;
- Drs. W. Ottevanger, Haskoning.

Het onderzoek heeft kunnen slagen dankzij de goede samenwerking tussen alle deelnemende instellingen en personen.

De stuurgroep stelt zich achter de inhoud van het rapport.

## Samenvatting

Door de langdurige emissies van zware metalen door enkele grote metallurgische industrieën in de Belgische en Nederlandse Kempen heeft er een accumulatie van zware metalen plaatsgevonden in het milieu tot in de wijde omgeving van deze industrieën. Deze accumulatie van met name cadmium en zink is het gevolg van de uitstoot via de atmosfeer, de afvoer van proceswater naar waterlopen en het gebruik van zinkassen als verharding voor wegen en erven.

Deze drie verspreidingsroutes hebben geleid tot een verhoogd cadmiumgehalte in de grond en in het grondwater, in het rivierslib en het oppervlaktewater. In een eerste onderzoek (nader onderzoek fase I) is een inventarisatie uitgevoerd van reeds bestaande gegevens. Hierover is in juni 1983 en maart 1984 gerapporteerd.

Op grond van dit inventarisatie-onderzoek bleek het niet mogelijk een exact beeld te geven van de aard en omvang van de verontreiniging. Tevens waren de mogelijke effecten van de verhoogde cadmiumconcentraties op de volksgezondheid niet duidelijk.

Naar aanleiding hiervan is het nader onderzoek fase II uitgevoerd.

Uit dit nader onderzoek fase II blijkt dat de omvang van het gebied waar verhoogde cadmiumgehalten in de bodems voorkomen in Nederland ongeveer 350 km<sup>2</sup> bedraagt. Een verontreiniging van de onderwaterbodems met cadmium en zink is met name aanwezig in de Dommel, de Tungelroysebeek en de Neerbeek. In het onderzoeksgebied is naar schatting minimaal 200 km (voormalige) assenweg aanwezig van waaruit naar weerszijden van de weg een verontreiniging met cadmium, zink en andere zware metalen plaatsvindt naar de oppervlakkige bodem en het grondwater.

Met medewerking van Budelco is een schatting gemaakt van de hoeveelheid cadmium die als gevolg van de Nederlandse emissies binnen het onderzoeksgebied is terechtgekomen. Dit blijkt 200 à 300 ton cadmium te zijn, waarvan na 1973 slechts 1 ton cadmium binnen het onderzoeksgebied terechtkwam. Ook in België hebben aanzienlijke emissies van cadmium plaatsgevonden. Hoeveel hiervan in het Nederlandse milieu is terechtgekomen, is niet bekend. Geschat wordt dat in de bodem als gevolg van de binnenlandse emissies over 165 km<sup>2</sup> ongeveer 50 ton cadmium in de bouwvoor aanwezig is en 15 ton cadmium in het grondwater. De cadmiumhoeveelheid die is afgevoerd via de lozingen op de Tungelroysebeek bedraagt naar schatting 80 ton. In de assenwegen is ongeveer 2 ton cadmium verwerkt en op en in de terreinen van Budelco/KZM bevindt zich nog naar schatting 35 ton cadmium in de daar aanwezige assen. Het grootste deel, bijna 200 ton, is dus nog in het Nederlandse milieu aanwezig.

De zinkassen op en in de terreinen van Budelco/KZM (500.000 ton) en in de assenwegen en assenerven (tenminste 40.000 ton) vormen een mogelijke bedreiging voor het milieu, in het bijzonder voor het grondwater dat in deze regio gebruikt wordt voor de bereiding van drinkwater.

Op dit moment vindt in het onderzoeksgebied ten opzichte van het gemiddelde in de rest van Nederland nog steeds een extra belasting van het milieu met cadmium en andere zware metalen plaats door emissies naar waterlopen en in mindere mate door atmosferische depositie. Door uitloging van assenwegen en -erven kan cadmium worden verplaatst naar de oppervlakkige bodem en het grondwater in de directe nabijheid van de assenweg. Aan de hand van het beeld van de totale omvang en verspreiding van de verontreiniging is een toxicologische evaluatie opgesteld ten aanzien van cadmium.

Hierin wordt de cadmiumopname door de mens als gevolg van de consumptie van verontreinigde groenten berekend. Indien gewassen worden geteeld op een bodem met een verhoogd cadmiumgehalte kan door de planten eveneens een verhoogde opname van cadmium plaatsvinden.

Door de consumptie van deze verontreinigde groenten kan de gemiddelde wekelijkse cadmiumopname worden verhoogd ten opzichte van het landelijke gemiddelde.

In de toxicologische evaluatie is nagegaan bij welk cadmiumgehalte in de bouwvoor consumptie van de daarop geteelde groenten moet worden ontraden in verband met het gevaar voor een overschrijding van de officiële WHO/FAO-norm van 400 µg per week voor cadmiumopname. Het hieruit ontstane beeld is gebruikt voor de analyse van het risico voor de volksgezondheid in het onderzoeksgebied. Naar aanleiding hiervan wordt geconcludeerd dat er op plaatsen waar een cadmiumgehalte van 2,5 mg/kg in de bouwvoor aanwezig is en de zuurgraad lager is dan 5,0, moet worden afgeraden groenten te telen voor consumptie, gezien de mogelijk te hoge cadmiumopname. De kans hierop bedraagt 10%. Deze cadmiumgehalten in de bouwvoor komen voor in 2,5 km<sup>2</sup> van het totale onderzoeksgebied, nabij assenwegen en in overstromingsgebieden van Tungelroysebeek en Dommel.

Binnen het kader van dit rapport is slechts in beperkte mate aandacht geschonken aan de aantasting van het milieu, gezien het uitermate gecompliceerde karakter van het onderzoek ten aanzien hiervan en het beperkt aanwezig zijn van de kennis omtrent dit onderwerp.

Als laatste is in dit rapport een aantal aanbevelingen gedaan, waaronder een nader onderzoek naar de kwaliteit van het ondiepe en diepere grondwater in de regio, evenals nabij assenwegen. Tevens is aanbevolen de terreinen van KZM/Budelco aan een onderzoek te onderwerpen, gezien de mogelijke uitloogbaarheid van de aanwezige assen en de cadmium- en zinkaanvoer via het grondwater naar de Tungelroysebeek. Een andere aanbeveling die uit dit onderzoek volgt, is om een inventarisatie te maken van volkstuinen en particuliere tuinen in het gebied waar het cadmiumgehalte in de bouwvoor als gevolg van de diffuus verspreide verontreiniging groter is dan 2,5 mg/kg. Er zal tevens een inventarisatie gemaakt kunnen worden van particuliere en volkstuinen nabij assenwegen en in overstromingsgebieden van Tungelroysebeek en Dommel.

In gebieden waar grote partijen bladgroenten worden verbouwd voor verkoop aan consument of veiling, wordt aangeraden in verband met de kwaliteitskeuring door de Keuringsdienst van Waren, een teeltadvies in te winnen indien het cadmiumgehalte van de bouwvoor groter is dan 1,0 mg/kg droge stof.

Ten slotte wordt, in verband met de grensoverschrijdende belasting van cadmiumverontreinigingen, aanbevolen om via internationaal overleg te pogen te bereiken dat deze emissies worden beperkt.

Met betrekking tot een aantal knelpunten zijn, weliswaar zeer summier, een aantal oplossingsrichtingen genoemd.

## 1. INLEIDING

### 1.1 Algemene inleiding

Al sinds een eeuw zijn in het grensgebied van de Belgische en Nederlandse Kempen een aantal grote metallurgische industrieën actief. Vooral in het verleden zijn door deze industrieën onder meer aanzienlijke hoeveelheden cadmium en zink geëmitteerd. Gedurende vele decennia heeft er een accumulatie van deze zware metalen plaatsgevonden in de wijde omgeving van de fabrieken.

Een drietal verspreidingswegen kunnen worden onderscheiden:

- uitstoot via de atmosfeer. Dit heeft geleid tot een diffuse verspreide immissie van stoffen. Te denken valt hierbij aan de uitstoot van verbrandingsgassen en stofvorming bij ertsoverslag;
- afvoer van proceswater. Door middel van emissie van het verontreinigde proceswater zijn waterlopen belast met verhoogde concentraties van zware metalen (met name cadmium en zink);
- hergebruik van zinkassen. Het gebruik van zinkassen als verhardingsmateriaal voor wegen en erven heeft tot gevolg gehad dat ook op grotere afstand van de industrieën (tot tientallen kilometers) verspreiding heeft plaatsgevonden.

Naast de door deze industrieën veroorzaakte belasting met zware metalen is er sprake van belasting veroorzaakt door landbouwactiviteiten (bemesting), allerlei verbrandingsprocessen en slijtage van bijvoorbeeld cadmiumhoudende materialen. Als gevolg van de landbouwactiviteiten in het onderzoeksgebied is er naast de belasting met zware metalen een belasting met onder andere nitraat en fosfaat. Dit onderzoek beperkt zich echter tot de belasting van het milieu door cadmium en zink. De belasting van het milieu met zware metalen door Philips Maarheeze (Kamers Venloop) is in een ander onderzoekskader belicht.

Gedurende de laatste 10 jaar is de cadmiumbelasting van het milieu in dit gedeelte van Noord-Brabant en Limburg onderzocht door vele instellingen in Nederland.

Gezien de omvang van het probleem en het grote aantal uitgevoerde onderzoeken in deze streek zijn de Colleges van Gedeputeerde Staten van Noord-Brabant en Limburg van mening dat eventuele saneringsmaatregelen pas genomen kunnen worden nadat een totaalbeeld van de huidige situatie is verkregen.

Om die reden verleende Provinciale Waterstaat van Noord-Brabant aan het Ingenieurs- en Architectenbureau Haskoning op 29 april 1983 opdracht tot het uitvoeren van de eerste fase van het nader onderzoek (inventarisatie) met betrekking tot de bodemverontreiniging in De Kempen.

Provinciale Waterstaat in Limburg verleende op 18 november 1983 aan Haskoning opdracht tot het verrichten van een aanvullend inventarisatie-onderzoek met betrekking tot de bodemverontreiniging in het aangrenzende Limburgse gedeelte.



Het inventarisatie-onderzoek (waarover in juni 1983 en maart 1984 is gerapporteerd) heeft geresulteerd in de volgende aanbevelingen:

- de toename van de cadmiumbelasting in De Kempen moet zo ver mogelijk worden teruggedrongen;
- de effecten van verhoogde cadmiumconcentraties in het milieu moeten worden aangegeven (bodem, waterlopen, assenwegen);
- het aangeven van gebieden waar een verhoogde cadmiumconcentratie aanwezig is die een gevaar kan opleveren voor de volksgezondheid of het milieu.

Op basis van de resultaten van het nader onderzoek fase I heeft Has-koning in opdracht van de Provinciale Waterstaten van Noord-Brabant en in Limburg het nader onderzoek fase II geformuleerd en met een aantal betrokken regionale instanties uitgevoerd.

Dit onderzoek bestaat uit 4 deelprojecten en een concluderende rapportage. De 4 deelprojecten zijn als volgt geformuleerd:

- Deelproject I : Bronbepaling ter beperking van de toename van cadmium.
- Deelproject II : Onderzoek naar de diffuse verontreiniging van de bodem en het grondwater met cadmium en zink.
- Deelproject III: Effecten ten aanzien van assenwegen en -erven en een eerste inventarisatie hiervan.
- Deelproject IV : Bepaling herkomst en verspreiding van de verontreinigingen in de waterlopen.

In het hierbij gepresenteerde rapport worden allereerst de resultaten van de vier deelprojecten samengevat. Hiermede is het onderzoek naar de omvang en verspreiding van de verontreiniging afgesloten. Vervolgens is een toxicologische evaluatie van alle beschikbare onderzoeksgegevens verricht, op basis waarvan een oordeel is gegeven over de risico's voor de volksgezondheid.

Of er daadwerkelijk effecten op de volksgezondheid in het onderzoeksgebied aanwezig zijn, zal moeten worden bevestigd door een geneeskundig onderzoek dat onder een gedeelte van de bevolking plaatsvond. In een ander kader heeft een veterinaire toxicologisch onderzoek plaatsgevonden.

## 1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is te omschrijven als:

- weergeven van de omvang en verspreiding van de zware metalenverontreiniging in een gedeelte van Noord-Brabant en van Limburg;
- analyseren van de onderzoeksresultaten door middel van een studie naar de effecten van cadmiumverontreiniging op de volksgezondheid in het onderzoeksgebied;
- beoordeling van de risico's voor de volksgezondheid;
- eerste aanzet voor saneringsmogelijkheid.

## 2. RESULTATEN NADER ONDERZOEK NAAR VERSPREIDING EN OMVANG

### 2.1 Resultaten deelproject I, bronbepaling ter beperking van de toename van cadmium

#### Inleiding

Deelproject I is uitgevoerd door de Provinciale Waterstaat in Limburg en Noord-Brabant. Het volledige rapport van deelproject I is samengesteld door Haskoning en tegelijk met het vóór u liggende rapport verschenen. Hier worden slechts de belangrijkste onderdelen uit het deelrapport en de conclusies vermeld.

Bij een afweging van mogelijkheden om een verontreiniging van de bodem te beheersen of te saneren, staat centraal dat de toename door emissies vanuit de bron minimaal plaatsvindt. Het is immers zinloos een bepaald gebied voor in het algemeen belangrijke kosten te saneren, wanneer binnen een afzienbare tijd het oorspronkelijke verontreinigingsniveau weer bereikt kan worden.

Een en ander betekent dat alvorens tot sanering van de bodem overgegaan kan worden de huidige emissies van het gebied bekend moeten zijn en eventueel gesaneerd moeten worden tot een laag niveau zodat ook op langere termijn concentraties niet zullen toenemen.

#### Doel

Het doel van deelproject I is te omschrijven als:

- omschrijven van de vermoedelijke verontreinigingsbronnen van zware metalen, met name cadmium;
- op basis van de resultaten van het onderzoek adviseren over besluitvorming van een sanering(sonderzoek) inzake de verontreinigingsbronnen (cadmiumemittenten) in De Kempen.

#### Algemene richtlijnen bij de uitvoering

Om het deelproject te concretiseren zijn de volgende beperkingen gesteld aan de bronnen waar dit deelproject betrekking op heeft:

1. een gebiedsbeperking. Alleen bronnen welke binnen de Noord-Brabantse Kempen en een aangrenzend deel van Limburg liggen worden meegenomen. Wel wordt de invloed van de buitenlandse bronnen (Belgische zinkfabrieken en grote asvlakten) bekeken met betrekking tot mogelijke grensoverschrijdende belasting;
2. een soortbeperking. Alleen primaire, specifiek Kempense bronnen worden meegenomen.

Als mogelijke primaire bronnen binnen De Kempen kunnen aangemerkt worden: Budelco te Budel Dorplein, Philips Maarheeze, verzinkerij Van Aert te Nederweert, de verzinkerij Weert en de Electrocoat Weert te Stramproy en de firma Glanzink te Weert.

### 2.1.1 Conclusies deelproject I

#### - Conclusies onderzoek in Brabant

Het bedrijf Philips Maarheeze heeft een verklaring afgegeven, waarin het volgende wordt genoemd: "met ingang van 1985 heeft ons bedrijf te Maarheeze de toepassing van cadmium in fluorescentiepoeders beëindigd. Dit betekent derhalve dat de (in de bedoelde bijlage sub 1.1. van de betreffende brief) vermelde emissies van cadmium in water en lucht in principe tot nihil zijn gereduceerd".

Door de Provinciale Waterstaat Noord-Brabant zijn alleen de emissies van Budelco onderzocht.

Uit het onderzoek naar de emissie van cadmium naar de lucht door de zinkfabriek Budelco blijkt op grond van een schatting door Budelco (waarin 3 isokinetische metingen zijn verwerkt) dat momenteel minder dan 85 kg cadmium per jaar vanuit de cadmiumfabriek van Budelco wordt geëmitteerd.

In verband met de geconstateerde verschillen tussen de meetresultaten van PWS Noord-Brabant en de daarna opnieuw geschatte emissies van Budelco (85 kg per jaar) laat dit bedrijf een meer gedetailleerd onderzoek uitvoeren naar de cadmiumemissies om later de emissies te kunnen beperken. De huidige emissies via luchtuitworp zijn, nadat in 1973 op een nieuw verwerkingsprocédé is overgegaan, drastisch beperkt. Uit gegevens van PWS Noord-Brabant blijkt dat de jaarlijkse uitworp is afgenomen van gemiddeld 2000 kg cadmium in de periode van 1953 tot 1973 (KZM) tot gemiddeld  $\pm$  50 kg cadmium per jaar in de periode van 1973 tot 1983 (Budelco) (vergelijk geschatte cadmiumemissie van minder dan 85 kg cadmium in 1983). De gemiddelden geven een orde van grootte weer.

De lozing van cadmium via de waterfase bedroeg gedurende de laatste vier jaar gemiddeld ongeveer 25 kg cadmium per jaar. Ongeveer 10 kg per jaar is afkomstig van Budelco's fabrieksinstallaties. De resterende 15 kg per jaar is aanwezig in het water dat vanuit de omgeving naar de klaarvijvers toestroomt. De cadmiumbelasting van dit water is waarschijnlijk het gevolg van uitloging van op het fabrieksterrein aanwezige kelderassen. Bij de duiker onder de Zuid-Willemsvaart wordt de Tungelroysebeek niet alleen gevoed door Budelco, maar ook door de "Verlegde Tungelroysebeek", die op zijn beurt gevoed wordt door kwelwater uit de omgeving, overloop van vennen in de grensstreek en koelwater van AKZO. Het water van deze Verlegde Tungelroysebeek vervoerd ongeveer 100 kg cadmium per jaar, hoogstwaarschijnlijk het gevolg van uitloging van kelderassen, die zich rondom deze Verlegde Tungelroysebeek bevinden.

Op de terreinen van Budelco en KZM zijn ongeveer 500.000 ton cadmiumhoudende kelderassen aanwezig. Deze assen vormen een secundaire bron voor verontreiniging. Het cadmiumgehalte in deze assen varieert van 50 tot 200 mg/kg d.s. en bedraagt gemiddeld 70 mg/kg), het zinkgehalte varieert van 10.000 tot 150.000 mg/kg d.s. Het is niet ondenkbaar dat er een verspreiding vanuit deze assen naar het grondwater plaatsvindt. Een transport via het grondwater naar de Tungelroysebeek is wellicht ook mogelijk. Een nader onderzoek hieromtrent wordt aanbevolen.

- Conclusies onderzoek in Limburg

Voor de bedrijven Verzinkerij Van Aert B.V. te Nederweert, Glanzink te Weert, B.V. Verzinkerij Weert en Electrocoat Weert wordt geconcludeerd dat op jaarbasis de verontreiniging, door emissies van o.a. cadmium, zeer gering is. Aangenomen wordt dat het merendeel van deze verontreiniging via de vaste afvalstromen wordt afgevoerd. De invloed op de cadmiumbelasting in De Kempen moet zeer gering worden geacht.

Op basis van de resultaten van het uitgevoerde onderzoek door de afdeling milieuhygiëne van de Provinciale Waterstaat in Limburg blijkt dat in het licht van de doelstellingen van deelproject I de onderzochte industrieën Verzinkerij van Aert B.V. te Nederweert Glanzink te Weert, B.V. verzinkerij Weert en Electrocoat Weert te Stramproy niet behoeven te worden meegenomen. Dit sluit overigens niet uit dat een goed en juist milieuhygiënisch toezicht op deze bedrijven gewaarborgd dient te blijven.

- Conclusies grensoverschrijdende belasting

Op dit moment vindt er door twee Belgische zinkproducerende industrieën te Neerpelt en te Balen nog steeds een uitworp plaats van zware metalen. Men is doende de opslag van erts en afvalprodukten te verbeteren door het aanbrengen van een overkapping, zodat van daaruit de emissies geminimaliseerd worden.

Op basis van het huidige onderzoek is het niet mogelijk de totale grensoverschrijdende belasting nauwkeurig te bepalen, met name niet voor wat betreft het transport via de lucht en via het bodemslib van de Dommel. Wel blijkt dat er op 1-1½ km ten zuiden van de Belgisch-Nederlandse grens van 1982 tot 1984 gemiddeld twee maal zoveel cadmium terecht kwam dan in een referentiegebied te Bokrijk. Het transport via de waterfase is in het inventarisatie-onderzoek geschat ongeveer 1.000-1.100 kg cadmium per jaar (schatting GTD Oost-Brabant).

Concluderend kan dus worden opgemerkt dat:

- Budelco de emissies de laatste 10 jaar drastisch heeft ingeperkt en momenteel een onderzoek instelt ter verdere beperking van de emissies;
- op de terreinen van Budelco en KZM een grote hoeveelheid cadmiumhoudende kelderassen aanwezig is die als secundaire bron een bedreiging voor de kwaliteit van het grondwater vormt;
- vanuit Limburgs grondgebied geen bijdrage aan de cadmiumbelasting van het milieu is te verwachten;
- nog steeds een grensoverschrijdende belasting plaatsvindt vanuit België via de Dommel en in beperkte mate via lucht. Het ligt voor de hand deze belastingen van water en lucht te blijven volgen mede aan de hand van het in België aanwezige meetnet.

## 2.2 Resultaten deelproject II, onderzoek naar de diffuse verontreiniging van bodem en grondwater

### Inleiding

De onderzoeken van deelproject II zijn uitgevoerd door het Consulent-schap voor de Akkerbouw en de Tuinbouw en het Koninklijk Ingenieurs- en Architectenbureau Haskoning.

Het volledige rapport is samengesteld door Haskoning en tegelijk met het vóór u liggende rapport verschenen. Hier worden slechts de belang-rijkste onderdelen uit het deelrapport en de conclusies vermeld.

Op grond van de gegevens van alle onderzoeken (zoals verwerkt in het nader onderzoek fase I) bleek het niet goed mogelijk om op een verant-woorde wijze de cadmiumverontreiniging te zoneren.

Om een enigszins gefundeerde zonering van cadmiumverontreinigingen aan te kunnen geven, is in deelproject II overgegaan tot een aanvullende bemonstering en analyse van bodem en grondwater. Het onderzoeksgebied omvatte globaal de gemeenten Weert, Nederweert, Stramproy, Budel, Maarheeze, Leende, Valkenswaard, Luyksgestel, Bergeyk, Westerhoven en een aangrenzend gedeelte van België.

Ter complementering van de verkregen onderzoeksresultaten is bovendien gebruik gemaakt van gegevens afkomstig uit België (LISEC).

### Doel

Het doel van deelproject II is te omschrijven als:

- het vaststellen van aanvullende bemonsteringsgebieden met als gebruiksfuncties woon-, agrarisch, drinkwaterwin- en natuurgebied;
- het verwerken van gegevens over de cadmium- en zinkconcentraties in de bodem en het grondwater zodat overgegaan kan worden tot zonering van de diffuse cadmium- en zinkverontreiniging.

### Monsternamen bodem en grondwater

Aan de hand van de door Haskoning uitgevoerde inventarisatie in nader onderzoek fase I zijn plaatsen geselecteerd waar door het Consulent-schap voor de Akkerbouw en Tuinbouw (nog) niet bemonsterd is.

In dit aanvullende bemonsteringsprogramma zijn de grondmengmonsters samengesteld uit 10 à 15 grondmonsters, welke genomen zijn tot een diepte van 25 à 30 cm beneden het maaiveld en rondom verspreid over een locatie van 10 x 10 m. Op deze wijze is het grondmonster represen-tatief voor de bewortelingszone van een perceel van ongeveer 100 m<sup>2</sup>.

De watermonsters zijn genomen met behulp van een peilbuis, waarvan het filter minstens 2 meter onder de grondwaterspiegel werd geplaatst.

#### 2.2.1 Conclusies van het bodemonderzoek

Het bodemonderzoek heeft geresulteerd in een overzicht van de cadmium- en zinkverontreiniging, weergegeven op twee kaarten. In bijlage II-1 is de cadmiumzoneringskaart gepresenteerd. Het verontreinigde gebied (waar cadmiumconcentraties in de bouwvoor groter zijn dan 1,0 mg/kg) heeft een oppervlak in Nederland van 350 km<sup>2</sup>. In een gebied ten zuiden van Luyksgestel en rond Budel Dorplein (tezamen 2,5 km<sup>2</sup>) bevat de bouwvoor een cadmiumconcentratie groter dan 2,5 mg/kg. Ook in België

komen verhoogde cadmiumgehalten in de bodem voor als gevolg van de diffuus verspreide verontreiniging. Er worden cadmiumgehalten gemeten groter dan 10 mg/kg. De zinkzoneringskaart is besproken in het rapport van deelproject II. In bijlage II-2 is de zinkzoneringskaart gepresenteerd. In bijlage 1 is de toetsingstabel uit de Leidraad bodemsanering gepresenteerd, waarin de A-, B- en C-richtwaarden zijn vermeld.

Deze cadmiumzoneringskaart bevat de volgende informatie:

1. het cadmiumgehalte dat als gevolg van de diffuse verspreiding vanuit de verontreinigende bronnen aanwezig is in de bouwvoor tot op een diepte van 25-30 cm (dus exclusief het cadmiumgehalte dat als gevolg van de nabijheid van een assenweg of rivierloop aanwezig is in de bouwvoor);
2. de cadmiumconcentraties, ingedeeld naar 5 zones (kleiner dan 1,0 mg/kg, van 1,0 tot 2,5 mg/kg, van 2,5 tot 5 mg/kg, van 5 tot 10 mg/kg en groter dan 10 mg/kg). De cadmiumconcentraties zijn als volgt over de verschillende zones verdeeld;
  - zone 1 (kleiner dan 1,0 mg/kg):  
Het totaal aantal waarnemingen bedraagt 254.  
93% van de waarnemingen is kleiner dan 1,0 mg/kg.  
7% van de waarnemingen ligt tussen 1,0 en 2,2 mg/kg.
  - zone 2 (van 1,0 mg/kg tot 2,5 mg/kg):  
Het totaal aantal waarnemingen bedraagt 382.  
30% van de waarnemingen is kleiner dan 1,0 mg/kg.  
64% ligt tussen 1,0 en 2,5 mg/kg.  
6% ligt tussen 2,5 en 4,0 mg/kg.
  - zone 3 (van 2,5 mg/kg tot 5 mg/kg):  
Het totaal aantal waarnemingen bedraagt 105.  
29% van de waarnemingen is kleiner dan 2,5 mg/kg.  
57% van de waarnemingen ligt tussen 2,5 en 5,0 mg/kg.  
14% ligt boven 5,0 mg/kg.
  - zone 4 (van 5 mg/kg tot 10 mg/kg):  
Het totaal aantal waarnemingen bedraagt 33.  
36% van de waarnemingen is kleiner dan 5,0 mg/kg.  
48% van de waarnemingen ligt tussen 5,0 en 10,0 mg/kg.  
15% van de waarnemingen is groter dan 10,0 mg/kg.
  - zone 5 (groter dan 10 mg/kg):  
Er bevindt zich 1 waarneming in deze zone (met een cadmiumconcentratie van 15,5 mg/kg).
3. de verschillende gebruiksfuncties van de bodem in het gebied, op basis van het streekplan Midden- en Oost-Brabant (waarin aangegeven huidige gebruiksfuncties en functies die op korte termijn zijn te verwachten) (1978), het ontwerp Gewestplan Neerpelt-Bree (1975) en het streekplan Noord- en Midden-Limburg.

#### 2.2.2 Conclusies van het grondwateronderzoek

Ten behoeve van het grondwateronderzoek zijn 43 peilbuizen geplaatst. Aan dit onderzoek werden 5 waarnemingen toegevoegd afkomstig van de Inspectie Milieuhygiëne Noord-Brabant. In bijlage II-3 zijn de plaatsen van deze peilbuizen inclusief de analyseresultaten weergegeven.

Er is getracht het cadmiumgehalte in de bodem te correleren met het cadmiumgehalte in grondwater. Zelfs wanneer de data worden gescheiden op grond van pH of organische stofgehalte is geen direct rekenkundig verband aan te wijzen tussen de concentraties van cadmium in de bovengrond en in het aanwezige ondiepe grondwater als gevolg van de diffuse verontreiniging. Tevens blijken op korte afstand van elkaar grote verschillen in de cadmiumconcentraties van het grondwater voor te komen. Er is dan ook niet overgegaan tot een zonering in het onderzoeksgebied, welke de mate van grondwaterverontreiniging aangeeft.

### 2.3 Resultaten deelproject III, effecten ten aanzien van de assenwegen en -erven en een eerste inventarisatie hiervan

Deelproject III is uitgevoerd door het Koninklijk Ingenieurs- en Architectenbureau Haskoning.

Het volledige rapport is samengesteld door Haskoning en tegelijk met het vóór u liggende rapport verschenen. Hier worden slechts de belangrijkste onderdelen uit het deelrapport en de conclusies vermeld.

#### Inleiding

In De Kempen zijn in het verleden veelvuldig zinkassen gebruikt als weg- en erfverharding. Nu nog is een gedeelte van deze assenwegen in oorspronkelijke staat aanwezig. De meeste wegen zijn inmiddels bestraat of geasfalteerd. Onder deze afdeklaag bevinden zich vaak nog zinkassen.

In het nader onderzoek fase I is een eerste inventarisatie uitgevoerd van (voormalige) assenwegen in het gebied. Deze inventarisatie is in het kader van het huidige onderzoek verder aangevuld (zie bijlage III-1).

Onderzoeken aan assenwegen zijn eerder al verricht door de Landbouwhogeschool (Beltman, 1985), Vrije Universiteit (Endedijk, 1984), Chemiewinkel Eindhoven (december 1984) en het Provinciaal Consultantschap voor de Akker- en Tuinbouw te Tilburg (1984). Deze onderzoeken wijzen alle op een extra belasting van de directe omgeving van assenwegen met zware metalen.

In aanvulling op deze reeds verrichte onderzoeken is door Haskoning een onderzoek verricht naar de effecten van assenwegen en -erven op grond en grondwater. Voor iedere weg en erf werd bovendien getracht het beeld vast te leggen van de historische ontwikkeling.

#### Doel

Het doel van deelproject III is te omschrijven als:

- het verkrijgen van inzicht in de mogelijke verspreiding van cadmium, zink en andere zware metalen uit assenwegen.

#### Opzet

Bij de keuze van de te onderzoeken assenwegen hebben de volgende overwegingen een belangrijke rol gespeeld:

- gespreide ligging van de assenwegen over het gebied;
- de verschillende omstandigheden waarin assenwegen locaties worden aangetroffen, t.w.:
  - I open assenwegen;
  - II wegen, waar assen vervangen zijn;
  - III assenwegen, afgedekt met een andersoortige verharding;
  - IV assenerven.

De ligging van de geselecteerde onderzoekslocaties en de onderzoekslocaties uit de literatuur zijn eveneens aangegeven op bijlage III-1.



De onderzoekslocaties zijn de volgende:

Locatie 1: Ruilverkavelingsweg te Budel  
Locatie 2: Ant. Stevensstraat Budel-Dorplein  
Locatie 3: Aadijk, Broeksestraat Luyksgestel  
Locatie 4: Schatersdijk Luyksgestel  
Locatie 5: Maassenweg te Weert  
Locatie 6: Barbaraweg te Budel-Dorplein  
Locatie 7: Erf voormalige smidse aan de Tungelerdorpsstraat te  
Tungelroy  
Locatie 8: Erf Hogerijt Luyksgestel

Bij alle locaties is het volgende onderzoek uitgevoerd:

- doorgraving van één weghelft of erfgedeelte tot op de natuurlijke grondslag;
- profielbeschrijving van die weghelft;
- bemonstering van het profiel;
- bemonstering van bodem en grondwater tot op 30 m afstand van de weg in de vermoedelijke stromingsrichting van het grondwater. Bemonstering in het wegprofiel geschiedde in die lagen waarin assen werden aangetroffen of vermoedelijk aanwezig waren en in de lagen daaronder.

Naar aanleiding van de resultaten van het onderzoek wordt het volgende opgemerkt.

#### Samenstelling van de assen

Door Budelco zijn in januari 1985 analyses verricht van het assenmateriaal dat aanwezig is op en in het fabrieksterrein. Het cadmiumgehalte varieert van 50 tot 200 mg/kg d.s., het zinkgehalte varieert van 10.000 tot 150.000 mg/kg d.s. Het gemiddelde cadmiumgehalte bedraagt 70 mg/kg d.s. Uit onderzoek door Budelco verricht aan assenwegen blijkt dat het cadmiumgehalte in de assen varieert van 10 tot 40 mg/kg d.s.

Een verklaring voor het verschil wordt gegeven door het feit dat er nabij de fabriek door depositie veel cadmium op het terrein is terechtgekomen. Tevens kan door verwaaiing van cadmiumhoudende produkten uit de vroegere opslag de cadmiumconcentratie op het terrein zijn toegenomen.

Het cadmiumgehalte in de assen van assenwegen die door Haskoning zijn onderzocht varieert van 1,7 tot 37 mg/kg d.s. en ligt dus in dezelfde orde van grootte als de concentraties die door Budelco werden opgegeven.

Op basis van alle verrichte onderzoeken bedraagt het gemiddelde gehalte aan cadmium in een fijngemalen assenmonster afkomstig van de wegen ongeveer 12 mg/kg d.s. Het gemiddelde zinkgehalte varieert van 25.000 tot 30.000 mg/kg d.s. Naarmate een sterkere destructiemethode wordt gebruikt, wordt het totale gehalte aan cadmium en zink hoger. Er kunnen tevens verschillen ontstaan in de totaalgehalten veroorzaakt door de verschillen in de oorspronkelijke samenstelling en de ouderdom van de assen.

Openliggende assenwegen (wegtype I)

Uit eerder verricht onderzoek aan openliggende assenwegen (LH, VU) blijkt dat verhoogde concentraties waarneembaar zijn tot op een afstand van ongeveer 1,5 tot 4 meter van de wegzijden. Uit het door Haskoning verrichte onderzoek blijkt de verspreiding van metalen in de bovengrond op 6 meter van de twee onderzochte openliggende assenwegen gering te zijn (cadmium maximaal 0,4 en zink maximaal 64,0 mg/kg d.s.).

Door de Provinciale Directie Landbouw en Voedselvoorziening (Tilburg) werd een waarneembare invloed van verhoogde zinkgehalten en cadmiumgehalten aangetoond tot op 50 meter afstand van de weg. Het zinkgehalte is hier met 80% afgenomen ten opzichte van het zinkgehalte nabij de assenweg. Nabij de assenweg (1,5 m) was het zinkgehalte duidelijk verhoogd (gemiddeld 317 mg/kg). Het cadmiumgehalte is met 25% afgenomen ten opzichte van de aangetroffen waarde nabij de weg. Nabij de assenweg (1,5 m) bleek een licht verhoogd cadmiumgehalte aanwezig te zijn (gemiddeld 0,72 mg/kg).

Uit informatie van omwonenden blijkt dat vaak in een strook van 1,5 à 2 m vanaf de wegzijde een zodanige verontreiniging aanwezig is dat er sprake is van een afname in de opbrengst van gewassen.

Het grondwater nabij de twee openliggende assenwegen die zijn onderzocht bevat tot op 6 meter afstand een sterk verhoogd gehalte aan zink (max. 13.000 ug/l) en cadmium (max. 57 ug/l). De andere elementen die in verhoogde concentraties aanwezig zijn in de assen worden in het grondwater niet aangetoond.

Voormalige assenweg (wegtype II)

Voor wat betreft dit wegtype is alleen door Haskoning onderzoek verricht. Op twee plaatsen waar eens een assenweg aanwezig was zijn geen verhoogde gehalten cadmium en zink in de grond waargenomen.

In de omgeving ervan zijn nog wel sporen te vinden van de eens aanwezige weg. De cadmium- en zinkconcentraties in het grondwater zijn sterk verhoogd (tot boven de C-waarden, respectievelijk 26,0 en 3.300 ug/l) tot een afstand van 30 meter van de eens aanwezige weg.

Het gehalte aan beide metalen in de grond is nagenoeg niet verhoogd.

Assenweg, afgedekt met andersoortige verharding (wegtype III)

Ook bij dit wegtype is alleen door Haskoning onderzoek verricht. De assen die nu nog aanwezig zijn onder de bouwvoor bevatten sterk verhoogde gehalten aan cadmium (tot 37,0 mg), zink en andere elementen als koper, tin, lood en arseen.

Op beide onderzochte locaties bevat de bouwvoor op 6 meter afstand een cadmiumgehalte dat ligt boven de B-waarde (5 mg/kg) uit de Leidraad bodemsanering (maximaal 17,0 mg Cd/kg d.s.).

Het meest opvallende kenmerk van beide locaties is de aanwezige verontreiniging van het grondwater op 6 en 30 meter afstand van de wegzijde (op 6 meter is de cadmiumconcentratie maximaal 61,0 ug/l en de zinkconcentratie maximaal 31.000 ug/l).

Dit zou een aanwijzing kunnen zijn voor een nu nog optredende verspreiding van cadmium en zink via het grondwater als mogelijk gevolg van uitspoeling onder invloed van het neerslagoverschot.

Assenerf (wegtype IV)

Ook hier geldt dat voor wat betreft dit wegtype alleen door Haskoning onderzoek is verricht.

Op beide onderzoekslocaties is een sterk verhoogd cadmium- en zinkgehalte aangetoond zowel in de assen (cadmium 16,0 en zink 61.000 mg/kg d.s) als in het grondwater in de nabijheid van het erf (cadmium 10,0 en zink 61.000 ug/l). De verspreiding naar de omliggende grond is minder omvangrijk.

### 2.3.1 Conclusies assenwegenonderzoek

In dit onderzoek is getracht aan te geven wat de effecten van assenwegen zijn op de directe omgeving van de assenwegen. Uit het nader onderzoek fase 1 bleek dat er in het onderzoeksgebied naar schatting 200 km assenweg aanwezig is. De ligging van de wegen is weergegeven in bijlage III-1.

In dit onderzoek zijn de voornamelijk uit zinkassen bestaande terreinen van KZM en Budelco buiten beschouwing gelaten.

#### - Conclusies met betrekking tot assen

Allereerst kan geconstateerd worden dat de nu nog aanwezige zinkassen veelal hoge gehalten aan zink, cadmium, arseen en andere zware metalen bevatten. Met name de concentratie van arseen overschrijdt veelvuldig de 50 mg/kg. Daarnaast kunnen koper, lood en antimoon in hoge concentraties in de assen voorkomen.

Het gehalte aan cadmium varieert van 1,7 mg tot 37 mg, (concentraties uit onderzoek Haskoning). Het gemiddelde cadmiumgehalte van een fijngemalen assenmonster bedraagt 12,3 mg. Het gemiddelde zinkgehalte van een fijngemalen assenmonster bedraagt ongeveer 25.000-30.000 mg/kg. Gegevens van PWS Noord-Brabant laten zien dat het cadmiumgehalte van de zinkassen op de terreinen van Budelco en KZM varieert van 50-200 mg/kg d.s., het gemiddelde cadmiumgehalte bedraagt 70 mg/kg d.s. Deze verhoging van de cadmiumconcentratie is mogelijk het gevolg van een depositie van cadmium nabij de fabriek. Het zinkgehalte loopt uiteen van 10.000 tot 150.000 mg/kg d.s.

Uit een experiment verricht door Waterschap Zuiveringschap Limburg blijkt dat de assen uitloogbaar zijn. Bij gedemineraliseerd water (ongeveer pH = 7) ontstaat een verhoging van het cadmiumgehalte in het water van 6 ug/l tot 33 ug/l en van het zinkgehalte van 12.100 ug/l tot 47.800 ug/l. Het oorspronkelijke cadmiumgehalte in de assen bedroeg 5 mg/kg d.s., de zinkconcentratie was 50.700 mg/kg d.s.

#### - Conclusies met betrekking tot grond

Er kunnen afwijkingen ontstaan in de totaalgehalten veroorzaakt door de verschillen in de oorspronkelijke samenstellingen en de ouderdom van de assen (met variabele uitloging).

Omtrent de verspreiding naar de omliggende bouwvoor wordt geconcludeerd dat de verhoging van het cadmiumgehalte in de bouwvoor relatief gering is. Uit het aanvullende onderzoek van Haskoning blijkt dat er slechts op 2 van de 8 onderzoekslocaties een hogere cadmiumconcentratie wordt aangetroffen dan op grond van de diffuse verspreiding kan worden verwacht (zie deelproject II).

In tabel 2.1 op de volgende bladzijde is de verdere verspreiding weergegeven van cadmium en zink in de omliggende bouwvoor op verschillende afstanden vanaf de wegzijde.

De waarden zijn gemiddelden van de bovenste 10-30 cm van de bouwvoor en geven vanwege de grote spreiding in de gemeten waarden slechts een indicatie van de orde van grootte weer.

Tabel 2.1 Overzicht gemiddelde cadmium- en zinkgehalten in bouwvoor nabij assenweg

Afstand vanaf wegzijde	Cadmium mg/kg d.s.	Zink mg/kg d.s.	Onderzoeksinstellingen
1- 1½ m	0,96	445	VU, LH, Akkerbouw
5- 6 m	0,64	70	VU, LH, Haskoning
± 10 m	0,43	55	LH, Akkerbouw
± 25 m	0,69	56	LH, Akkerbouw, Haskoning
± 50 m	0,57	35	LH, Akkerbouw
Achtergrondwaarde	0,74	62	Edelman, Leidraad bodemsanering

Op sommige onderzoekspunten is het cadmium- en zinkgehalte juist onder de bovenste laag van de bouwvoor het hoogste.

Uit tabel 2.1 blijkt dat met name het gemiddelde zinkgehalte in de bouwvoor tot op 1½ meter afstand van de wegzijde is verhoogd en bijna de B-waarde (500 mg) bereikt.

Deze constatering is in overeenstemming met de mondelinge mededelingen van omwonenden dat er in een zone van ± 1,5 meter aan weerszijden van de weg een verminderde groeiopbrengst van de gewassen plaatsvindt. Het element zink heeft een fytoxische werking op de planten. Uit onderzoek verricht door de VU Amsterdam (zie lit. 1) bleek dat het aantal plantensoorten aangetroffen in bermen langs assenwegen anderhalf tot tweemaal minder was dan in bermen langs zandwegen.

Voor wat betreft de andere metalen wordt in een aantal gevallen een verhoogde lood- en koperconcentratie in de bouwvoor nabij de assenweg aangetroffen (overschrijding B-waarde).

- Conclusies met betrekking tot grondwater

Met betrekking tot het grondwater in de nabijheid van de assenwegen wordt uit het totaalonderzoek geconcludeerd dat er vrijwel altijd een ernstige verontreiniging met cadmium en zink aanwezig is, plaatselijk tot op een afstand van 30 meter vanaf de wegzijde. Ook uit eerder verricht onderzoek door TAUW (zie lit. 10) blijkt dat als gevolg van de aanwezigheid van assenwegen er een verontreiniging van het grondwater plaatsvindt. De cadmium- en zinkgehalten overschrijden op sommige plaatsen veelvuldig de C-waarde uit de Leidraad bodemsanering, zelfs wanneer de assen al zijn afgedekt met een andersoortige verharding. Dit bevestigt het vermoeden dat er een zekere mate van uitloging van de assen door het grondwater plaatsvindt. Deze uitloging lijkt sterker te zijn naarmate een lagere zuurgraad in het grondwater wordt aangetroffen.

Het is tevens opvallend dat op een plaats waar eens een assenweg aanwezig was, nog een verontreiniging door zware metalen van het grondwater werd aangetroffen. Een verder onderzoek naar de grondwatersituatie nabij assenwegen is gewenst. Dit onderzoek dient tevens het aspect verspreiding te belichten.

## 2.4 Resultaten deelproject IV, bepaling herkomst en verspreiding van de verontreinigingen in de waterlopen

De onderzoeken van deelproject IV zijn uitgevoerd door het Waterschap Zuiveringschap Limburg, het Waterschap Midden-Limburg de Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant (namens het Waterschap De Dommel), Rijkswaterstaat en het Koninklijk Ingenieurs- en Architectenbureau Haskoning.

Het volledige rapport is samengesteld door Haskoning en tegelijk met het vóór u liggende rapport verschenen. Hier worden slechts de belangrijkste onderdelen uit het deelrapport en de conclusies vermeld.

### Inleiding

Het inventarisatierapport geeft aan dat minstens enkele waterlopen in de Noord-Brabantse Kempen en een aangrenzend deel van de Provincie Limburg zijn verontreinigd met cadmium. Na deze inventarisatie was er echter onvoldoende inzicht in de totale omvang van deze verontreiniging en evenmin in de bronnen van deze verontreiniging.

### Doel

Het doel van deelproject IV is te omschrijven als:

- het inschatten van de herkomst en omvang van de verontreiniging in de waterlopen en van de hierdoor veroorzaakte verontreiniging van bodem en grond-/oppervlaktewater in de nabijheid van deze lopen.

### Opzet

Door de omvang van het gebied waar de waterlopen doorheen stromen en het grote verschil in oorsprong van de diverse waterlopen is het niet doenlijk om alles tot in details te beschrijven en/of te onderzoeken. Daarom is gekozen voor een beperking waarbij in eerste instantie alle grotere waterlopen op enkele plaatsen zijn onderzocht. Per plaats is de concentratie cadmium en zink in het water en in het slib geïnventariseerd. Eén op de vijf monsters is tevens onderzocht op lood, koper, arseen en kwik. Op deze manier is vastgesteld welke waterlopen of delen van waterlopen verontreinigd zijn. Dit is ondergebracht in fase 1 van dit deelproject.

In tweede instantie (fase 2) zijn de meest verontreinigde waterlopen nader onderzocht.

### 2.4.1 Conclusies deelproject IV

- Conclusies met betrekking tot het slib

Met behulp van de computer zijn alle waarnemingen betreffende cadmium- en zinkgehalte van het waterlopenonderzoek van deelproject IV weergegeven op één overzichtskaart (bijlage IV-1). Overige zware metalen zijn niet of in geringe mate verhoogd.

Op deze kaart zijn de volgende gegevens verwerkt:

- resultaten waterlopenonderzoek Waterschap De Dommel fase 1 + fase 2;
- resultaten waterlopenonderzoek Waterschap Zuiveringschap Limburg fase 1 + fase 2;

- resultaten waterlopenonderzoek RWS Limburg en Haskoning (fase 2);
- gegevens waterlopenonderzoek RWS Noord-Brabant.

Aan de hand van de overzichtskaart kunnen de volgende conclusies worden getrokken, waarbij met verhoogde gehalten bedoeld wordt groter dan de B-waarde en met sterk verhoogde gehalten groter dan de C-waarde, volgens de toetsingswaarden uit de Leidraad bodemsanering (zie bijlage 1):

In Brabant:

Weergraaf, Aa of Goorloop, Fortjeloop, Keunisloop, Beekloop, Keersop, Run, Tongelreep, Strijper Aa, Buulder Aa, Groote Aa, Sterkselsch kanaal, Aa en Kievitsloop in Brabant.  
Geen verhoogde gehalten voor cadmium en zink.

Boschloop

Verhoogde cadmium- en zinkconcentraties en sterk verhoogde cadmiumgehalten in de gehele waterloop.

Dommel (ondiepere monsters) en Dieze

Verhoogde cadmium-, zink-, koper-, arseenconcentraties en sterk verhoogde cadmiumgehalten in de gehele waterloop van grens tot Maas. Op meerdere plaatsen overschrijding van de WCA-norm.

Dommel (dieptemonsters)

Op vijf plaatsen in het Dommeltraject zijn dieptemonsters genomen tot circa 150 cm diepte. Afhankelijk van het organische stofgehalte komen sterk verhoogde cadmium- en verhoogde cadmium- en zinkgehalten voor bij vier van de vijf monsters.

Op meerdere plaatsen wordt de 50 mg/kg (norm Wet Chemisch Afval, zgn. WCA-norm) overschreden voor cadmium. Het niet verontreinigde monster ligt in een Dommelgedeelte dat omstreeks 1971/1972 is gegraven. Op één locatie in Bostel zijn 4 dieptebemonsteringen uitgevoerd tot circa 250 cm in de bodemsliblaag. Voor 3 punten werden verhoogde zink- en sterk verhoogde cadmiumgehalten aangetoond. Voor cadmium zijn de gehalten in alle 3 gevallen hoger dan de WCA-norm.

Zuid-Willemsvaart

Geen verhoogde cadmiumgehalten nabij de grens, wel plaatselijk verhoogde cadmiumgehalten nabij Weert.

Beatrixkanaal

Verhoogd zinkgehalte en sterk verhoogd cadmiumgehalte in het begin van de waterloop.

Wilhelminakanaal

Bij de samenvloeiing met Beatrixkanaal verhoogd cadmiumgehalte.

Drongelens kanaal

Verhoogd cadmiumgehalte op eerste meetpunt. Overigens geen verhoogde gehalten, evenmin voor de Bossche Sloot en Loonsche Vaart.

In Limburg:

Dijker Peel, Vliet, Langven, Uffelse beek, Itterbeek, Witbeek, Panheelder beek, Rijdt, Haelensebeek, Neerpeelbeek, Visschensteert, Bevelandse beek, Roggelse beek.  
Geen verhoogde gehalten voor cadmium en zink.

Tungelroysebeek en Neerbeek

In de onderwaterbodems van de Tungelroysebeek en de Neerbeek worden over de gehele lengte sterk verhoogde concentraties cadmium gemeten.

Leukerbeek en Afwateringskanaal

De resultaten van het onderzoek in fase 2 in de Leukerbeek en het Afwateringskanaal bevestigen de resultaten van fase 1 niet. De verontreiniging van de onderwaterbodems in deze beken is slechts zeer plaatselijk en blijft beperkt tot die gedeelten van de beken waar zich gemakkelijk slib kan afzetten (voor een duiker of een stuw). De gehalten van de metalen cadmium en zink zijn een enkele maal verhoogd.

- Conclusies met betrekking tot de waterkwaliteit

In Brabant:

Aan de in fase 1 onderzochte waterlopen bevat de Boschloop een hoog gehalte aan cadmium (25 ug/l) en zink (7.900 ug/l). De overige waterlopen bevatten minder dan 5 ug/l cadmium en minder dan 1.200 ug/l zink. In de reeds eerder onderzochte Dommel bleek plaatselijk tot 100 ug/l cadmium in de waterfase aanwezig. De gemiddelde cadmiumvracht die via de waterfase van de Dommel ons land binnenkomt, bedraagt ongeveer 3 kg per dag.

In Limburg:

Van de in fase 1 onderzochte waterlopen bevatten de Tungelroyse beek en de Neerbeek de hoogste gehalten aan cadmium en zink (maximaal 12 ug/l cadmium en maximaal 3.080 ug/l zink in de periode van 11 tot 12 oktober 1984). De overige waterlopen bevatten minder dan 1,9 ug/l cadmium en minder dan 310 ug/l zink.

- Conclusies met betrekking tot de overstromingsgebieden

Overstromingsgebieden Dommel

In de percelen nabij de Dommel die regelmatig door deze waterloop worden overstroomd is in 5 van de 10 gevallen een gehalte aan cadmium boven de B-waarde in de bovengrond gemeten, waarvan 2 gehalten boven de C-waarde uitkomen. Op enige afstand van de waterloop in het lager gelegen deel is drie maal een concentratie cadmium aangetroffen groter dan de B-waarde. De B-waarde voor zink werd niet overschreden.

Het grondwater bevat gehalten lager dan A-waarde.

Overstromingsgebieden Tungelroysebeek

In de percelen nabij de Tungelroysebeek is een verhoogd cadmiumgehalte (groter dan B-waarde) in de bovengrond waargenomen in 3 van de 7 gevallen. Op alle andere bemonsteringsplaatsen is een cadmiumgehalte aangetroffen dat boven de A-waarde ligt.



Op enige afstand van de Tungelroysebeek is op twee plaatsen in de bouwvoor een concentratie cadmium aanwezig groter dan de C-waarde. Nabij de zandvang in de Neerbeek is slib uit de rivier opgebracht op de omliggende bodem en dus niet door een natuurlijke overstroming op het perceel terechtgekomen.

Voor wat betreft zink wordt slechts een enkele maal in de Tungelroysebeek de B-waarde overschreden (nabij zandvang).

De grondwatermonsters op enige afstand van de Tungelroysebeek bevatten slechts verhoogde gehalten aan cadmium en zink op twee plaatsen, nabij de zandvang en ten zuiden van Heythuysen.

- Conclusies met betrekking tot de infiltratie van verontreinigingen vanuit de waterlopen

Naar aanleiding van een geohydrologisch onderzoek van het afwateringspatroon van het grondwater in de nabijheid van de waterlopen de Dommel en de Tungelroysebeek wordt geconcludeerd dat er geen infiltratie vanuit de waterlopen plaatsvindt (zie bijlage IV-2). Deze constatering wordt ondersteund door de analyses van grondwatermonsters die zijn genomen in de overstromingsgebieden van beide waterlopen. Daarin werd geen verontreiniging met cadmium en zink aangetoond.

- Conclusies met betrekking tot de slibhoeveelheden

Door het Waterschap Midden-Limburg en Waterschap De Dommel zijn de volgende schattingen gemaakt voor de totale slibhoeveelheden in de Dommel, Tungelroysebeek en de Neerbeek:

Tungelroysebeek	41.000 m <sup>3</sup>
Neerbeek	11.000 m <sup>3</sup>
Leukerbeek	6.000 m <sup>3</sup>
Afwateringskanaal	2.000 m <sup>3</sup>
	<hr/>
	60.000 m <sup>3</sup>
Boschloop	3.000 m <sup>3</sup>
Beatrixkanaal (inclusief afwateringskanaal Eindhoven)	17.000 m <sup>3</sup>
Dommel (grens-Maas)	500.000 m <sup>3</sup>
Drongelens kanaal (4 km vanaf Den Bosch)	10.000 m <sup>3</sup>
Totaal	<hr/>
	530.000 m <sup>3</sup>

Deze slibhoeveelheden zijn niet meer dan een orde van grootte en kunnen sterk variëren van plaats tot plaats en in de tijd.

Door Rijkswaterstaat Directie Noord-Brabant werden onder andere de volgende slibhoeveelheden geschat:

Zuid-Willemsvaart	53.000 m <sup>3</sup>
Oude Maasje	46.000 m <sup>3</sup>
Zuidergat	3.000 m <sup>3</sup>
Beneden Donge	12.500 m <sup>3</sup>
Markkanaal (Wilhelminakanaal-Terheide)	150 m <sup>3</sup>
Wilhelminakanaal (Z-Willemsvaart tot Best)	20.000 m <sup>3</sup>
Wilhelminakanaal (Best-Tilburg)	24.000 m <sup>3</sup>
Totaal	<hr/>
	158.650 m <sup>3</sup>
	=====
Totaal in onderzoeksgebied	748.650 m <sup>3</sup>

2.4.2 Samenvattende conclusie deelproject IV

Voor zowel de waterkwaliteit als de slibkwaliteit van de Dommel, de Boschloop, de Tungelroysebeek en de Neerbeek, geldt dat er een verontreiniging met cadmium, zink en sporadisch met andere metalen aanwezig is. Het slib bevat op sommige plaatsen cadmiumconcentraties hoger dan 50 mg/kg. In overstromingsgebieden van de Dommel en de Tungelroysebeek is tevens een verontreiniging van de grond met cadmium aangetoond. Het grondwater nabij deze waterlopen is, mogelijk als gevolg van optredende kwel, schoon van cadmium en zink. Er vindt geen infiltratie van oppervlaktewater plaats vanuit de waterlopen naar de omgeving.

In het gehele onderzoeksgebied zijn ook kanalen aanwezig, waar plaatselijk een verhoogd cadmiumgehalte in het aanwezige slib is waargenomen.

In totaal bevindt er zich ongeveer 750.000 m<sup>3</sup> met cadmium verontreinigd slib in alle onderzochte waterlopen in het onderzoeksgebied.

Er komt naar schatting ongeveer 3 kg cadmium per dag via de waterfase van de Dommel ons land binnen.

### 3. CADMIUMBALANS

#### 3.1 Algemeen

Aangenomen kan worden dat in het kader van dit onderzoek cadmium vanuit de mens gezien de meest bedreigende verontreiniging in het onderzoeksgebied blijkt te zijn. Daarom is de aandacht in kwantitatieve zin vooral op dat element gericht.

Hieronder wordt nader ingegaan op de aan- en afvoer van cadmium in een deel van het totale onderzoeksgebied, de zogenaamde cadmiumbalans. Een goed inzicht in deze cadmiumbalans van het onderzoeksgebied is onmisbaar bij de behandeling van het verontreinigingsprobleem. Naast de statische momentopname van de mate en omvang van de cadmium verontreiniging is de beweeglijkheid van cadmium in het gebied door aan- en afvoer van belang.

Bij het berekenen van een cadmium balans over een lange periode dient voorop gesteld te worden dat er een grote fout kan ontstaan in de uiteindelijke uitkomst wanneer kleine waarden (b.v. concentraties) met zeer grote waarden (b.v. verbruikscijfers) worden vermenigvuldigd. De uiteindelijke balans is dus zeer betrekkelijk en alle gevonden waarden geven slechts een orde van grootte weer.

Omdat de jaarlijkse aanvoer naar het milieu vóór 1973 zodanig groot was in vergelijking met de huidige jaarlijkse aanvoer is besloten twee balansen op te stellen. De eerste balans heeft betrekking op een tijdspanne van 90 jaar, van 1893 tot heden en betreft met name de KZM (Kempensche Zink Maatschappij). Deze zogenaamde historische balans belicht de aan- en afvoer van cadmium zoals die plaatsvond in een gedeelte van het totale onderzoeksgebied. De tweede balans betreft de huidige situatie (1983) en is gebaseerd op de reeds in onderzoeksfase 1 gepresenteerde balans, waarin aanpassingen zijn aangebracht. Deze zogenaamde actuele cadmiumbalans belicht de aan- en afvoer van cadmium met betrekking tot de drie verontreinigingscompartimenten.

#### 3.2 Historische cadmiumbalans (1893-heden)

##### 3.2.1 Beperkingen

De aanvoer van cadmium in het gebied werd eind vorige eeuw gestart door een aantal zinkproducerende bedrijven in de Belgische en Nederlandse Kempen. Hier wordt om pragmatische redenen alleen ingegaan op het produktiebedrijf van de Kempensche Zink Maatschappij (KZM) en Budelco te Budel Dorplein en niet op de Belgische bedrijven. KZM produceerde zink van 1893-1973 en Budelco van 1974-heden. De oude thermische zinkfabrieken van KZM werden in 1973 afgebroken. Alleen een aantal zinkverwerkingsbedrijven (Walserij, Legeringsafdeling, Zinkstofbereiding) bleef bestaan en produceert nog steeds onder de naam KZM (eigendom van Billiton sinds 1969). Budelco (50% eigendom van KZM en 50% eigendom van Australian Overseas Melting) bouwde in 1973 een volledig nieuwe electrolytische zinkfabriek.

De fabrieksterreinen in Budel, oorspronkelijk eigendom van KZM, werden in 1973 gedeeltelijk overgenomen door Budelco. Mogelijk kunnen de cadmiumbalansen van beide bedrijven in het kader van het Belgische cadmiumonderzoek te zijner tijd worden geïntegreerd.

Een tweede beperking in de historische cadmiumbalans betreft het verwaarlozen van andere cadmiumbronnen in de balans zoals het gebruik van cadmiumhoudende fosfaatmeststoffen en andere cadmiumhoudende producten.

### 3.2.2 Aanvoer

De totale aanvoer van cadmium via zinkertsen is grotendeels bekend via informatie van Budelco en provinciale controle-ambtenaren.

Voor de zinkbereiding werden door Budelco en KZM van verschillende produktieprocessen gebruik gemaakt. Grofweg zijn er 3 perioden te onderscheiden van:

1893-1952: waarin een thermisch procédé werd toegepast en waarin geen cadmiummetaal werd geproduceerd (KZM).

1953-1973: waarin een thermisch procédé werd toegepast en wel cadmium metaal werd geproduceerd (KZM).

1974-heden: waarin een electrolytisch procédé werd toegepast en tevens cadmiummetaal werd geproduceerd (Budelco).

Grondstoffen waren: geroost zinkerts (het erts werd voor 1925 door derden geroost voordat het door KZM werd verwerkt) vervolgens overgeroost erts, calamines, zinkassen en oxyden (restprodukten van galvanische industrieën).

De totale cadmiumaanvoer wordt berekend door het totale verbruik van de verschillende ertsen te vermenigvuldigen met de respectievelijke cadmiumgehalten in de ertsen (bron: Budelco B.V.):

Erts	: 0,174% cadmium
Geroost erts	: 0,1% cadmium
Calamines	: 0,05% cadmium
Zinkassen/oxyden:	0,08% cadmium

(Alle berekeningen zijn vermeld in bijlage 2.1)

Voor de periode van 1893 tot 1952:	1.880 ton cadmium;
voor de periode van 1953 tot 1973:	2.380 ton cadmium;
voor de periode van 1974 tot en met 1984:	5.960 ton cadmium.

Vanaf 1893 werd in totaal dus 10.220 ton cadmium aangevoerd.

### 3.2.3 Afvoer

De volgende afvoermogelijkheden voor cadmium worden onderscheiden:

- afvoer via het zinkprodukt;
- afvoer via het cadmiumprodukt;
- afvoer naar opslag (klaarvijvers, jarosietvelden e.d.);
- afvoer via residuen;
- afvoer naar het milieu via lucht, water, assen.

Een kwantificering wordt echter bemoeilijkt door het vrijwel ontbreken van gegevens met name voor wat betreft het thermisch procédé. Het is daarom noodzakelijk (algemene) literatuurgegevens te gebruiken.

Uit een literatuuroverzicht blijkt dat bij een thermisch proces zonder terugwinning van cadmium (voor 1953) circa 45% van het cadmium in het ruwzink wordt afgevoerd. Na 1953, wanneer het thermisch procédé in werking is, wordt nog 35% van de cadmium met het zink afgevoerd. Tevens vond produktie van cadmiummetaal plaats. Met behulp van deze gegevens kan voor de drie onderscheiden perioden de afvoer als volgt worden gekwantificeerd:

1893-1952 afvoer via zink: 0,45 x 1.880	=	846	ton
1953-1973 afvoer via zink: 0,35 x 2.380	=	833	ton
afvoer via cadmiummetaal:	=	1.259	ton
1974-1984 afvoer via zink (minder dan 1 g Cd/ton zink):	=	1,5	ton
afvoer via cadmiummetaal:	=	4.650	ton

De totale afvoer bedraagt 7.589 ton. Het totale tekort aan cadmium zou dus bedragen:

10.220 - 7.590 = 2.630 ton cadmium.

#### Cadmiumafvoer naar opslag

Van de 2.630 ton cadmium werd in de laatste periode van 1973 tot 1983 in totaal 840 ton cadmium afgevoerd naar de jarosietopslag (schatting Budelco B.V.).

#### Cadmiumafvoer naar klaarvijvers

Budelco heeft berekend dat er in de klaarvijvers een totale hoeveelheid van 10.000-16.000 ton slib aanwezig is met een gemiddeld cadmiumgehalte van 0,18%. Hieruit volgt een totale cadmiuminhoud van de klaarvijvers van 20 à 30 ton.

#### Residuen

Tijdens de thermische zinkproductie (KZM) ontstonden een aantal residuen die werden verkocht aan verwerkers van andere metalen. Uit de metalenbalans van KZM wordt geschat dat in totaal ca. 1.000 ton cadmium op deze manier verkocht, dan wel in een andere vorm gedeponerd is (Budelco B.V.).

Bij de zinkelectrolyse door Budelco ontstaan 2 metaalresiduen die cadmium bevatten. Een koperresidu en een cobaltresidu dat in totaal ongeveer 470 ton cadmium bevatte (Budelco B.V.).

#### 3.2.4 Verdeling over het milieu dat direct beïnvloed is door KZM/ Budelco (165 km<sup>2</sup>)

Om inzicht te krijgen hoe het restant cadmium van 300 ton zich heeft verspreid wordt mede aan de hand van de meetresultaten uit hoofdstuk 2 de verdeling gekwantificeerd over de volgende sectoren:

- bodem en grondwater (emissies naar lucht);
- Tungelroysebeek (emissies via afvoerwater);
- assen (thermisch procédé) wegen e.d.

#### Cadmium in bodem en grondwater

Via emissies naar de lucht is de wijde omgeving belast met cadmium. In deelrapport 2 wordt geconcludeerd dat het cadmiumgehalte in de bodem duidelijk is verhoogd ten opzichte van de achtergrondswaarde in het gebied. De verhoging varieert van 0,5 tot meer dan 2,0 mg cadmium per kg grond.

De hoeveelheid cadmium welke nu nog in de bodem aanwezig is wordt geschat op circa 50 ton (voor berekening zie bijlage 2.2), in dat gedeelte van het onderzoeksgebied dat direct beïnvloed is door de KZM/Budelco (circa 165 km<sup>2</sup>). Geschat wordt dat door KZM tussen de 60 en 180 ton cadmium via de lucht is geëmitteerd. Hogere waarden (boven-

grens) van de cadmiumuitworp zijn volgens Budelco meer waarschijnlijk dan lagere waarden (ondergrens). Door Budelco wordt ongeveer 100 kg cadmium per jaar geëmitteerd. Over een periode van 10 jaar is dit ongeveer 1 ton.

In deelrapport II is geconcludeerd dat het bovenste grondwater gemiddeld 3 ug cadmium per liter bevat. In het kader van de balansberekening wordt verondersteld dat dit cadmium onder invloed van neerslagoverschot is uitgelooft uit de bodem.

De hoeveelheid cadmium welke in het grondwater aanwezig is, wordt geschat op circa 15 ton (voor berekening zie bijlage 2.3). Door TA UW is in 1983 een onderzoek uitgevoerd naar de kwaliteit van het grondwater tussen het terrein "Weerterbergen" en Budelco in de grondwaterstromen van Boshover- en Loozerheide (Lit. 10). De cadmiumconcentratie van het grondwater nabij het fabrieksterrein bedraagt 110 ug/l, de zinkconcentratie bedraagt 9.700 ug/l. Tussen Weerterbergen en Budelco zijn de cadmium- en zinkconcentraties respectievelijk 5 en 275 ug/l. Hieruit blijkt dat met name rond de terreinen van Budelco en KZM mogelijk door uitloging van assen het grondwater plaatselijk een grotere cadmiumconcentratie bevat dan 3 ug/l.

#### Cadmium in het afvoerwater

Uit meetgegevens van de oppervlaktewaterkwaliteit uit de zestiger en zeventiger jaren blijkt dat een gemiddeld cadmiumgehalte in het water van de Tungelroysebeek aanwezig is van 0,5 mg/liter (bron: Budelco B.V.). Het debiet van de Tungelroysebeek bedroeg (geschat) 400 m<sup>3</sup>/uur (de duiker heeft een capaciteit van 1.500 m<sup>3</sup>/uur). Hieruit volgt dat er in de periode van 1952-1973 jaarlijks 1.750 kg cadmium in de Tungelroysebeek werd geloosd, dit is in totaal 40 ton. Voor de periode van 1892 tot 1952 werd door Budelco geschat dat eveneens 40 ton cadmium zou zijn geloosd op de Tungelroysebeek. De totale emissie naar de waterfase bedraagt dus naar schatting 80 ton.

#### Cadmiumafvoer via assen

De samenstelling van de assen onder assenwegen varieert van 10 tot 40 mg/kg d.s., zoals blijkt uit het onderzoek dat werd uitgevoerd door Haskoning en uit informatie van Budelco. Aangezien er in totaal 40.000 ton zinkassen in de wegen is verwerkt, is de totale cadmiumafvoer 1,6 ton (ongeveer 2 ton). Door Budelco wordt verwacht dat de totale hoeveelheid assen die de fabriekspoort hebben verlaten in werkelijkheid veel groter is dan 40.000 ton, namelijk 250.000 ton. Op het terrein van Budelco en KZM en in het dijklichaam naar de Zuid-Willemsvaart is naar schatting 500.000 ton zinkassen verwerkt. De totale produktie van assen bedraagt derhalve 750.000 ton. Indien er een cadmiumgehalte van 70 mg/kg d.s. wordt aangehouden, betreft dit een totale hoeveelheid van ongeveer 35 ton cadmium (zie bijlage 2.4). De afvoer via de assen inclusief de nabije depositie gedurende de gehele produktieperiode bedraagt in totaal ongeveer 52 ton cadmium. Het is mogelijk dat er een uitspoeling plaatsvindt naar het grondwater.

Het is bij het opstellen van een balans meestal niet mogelijk om de balans precies sluitend te krijgen, gezien de brede marges waarin de werkelijke waarden zich bevinden.

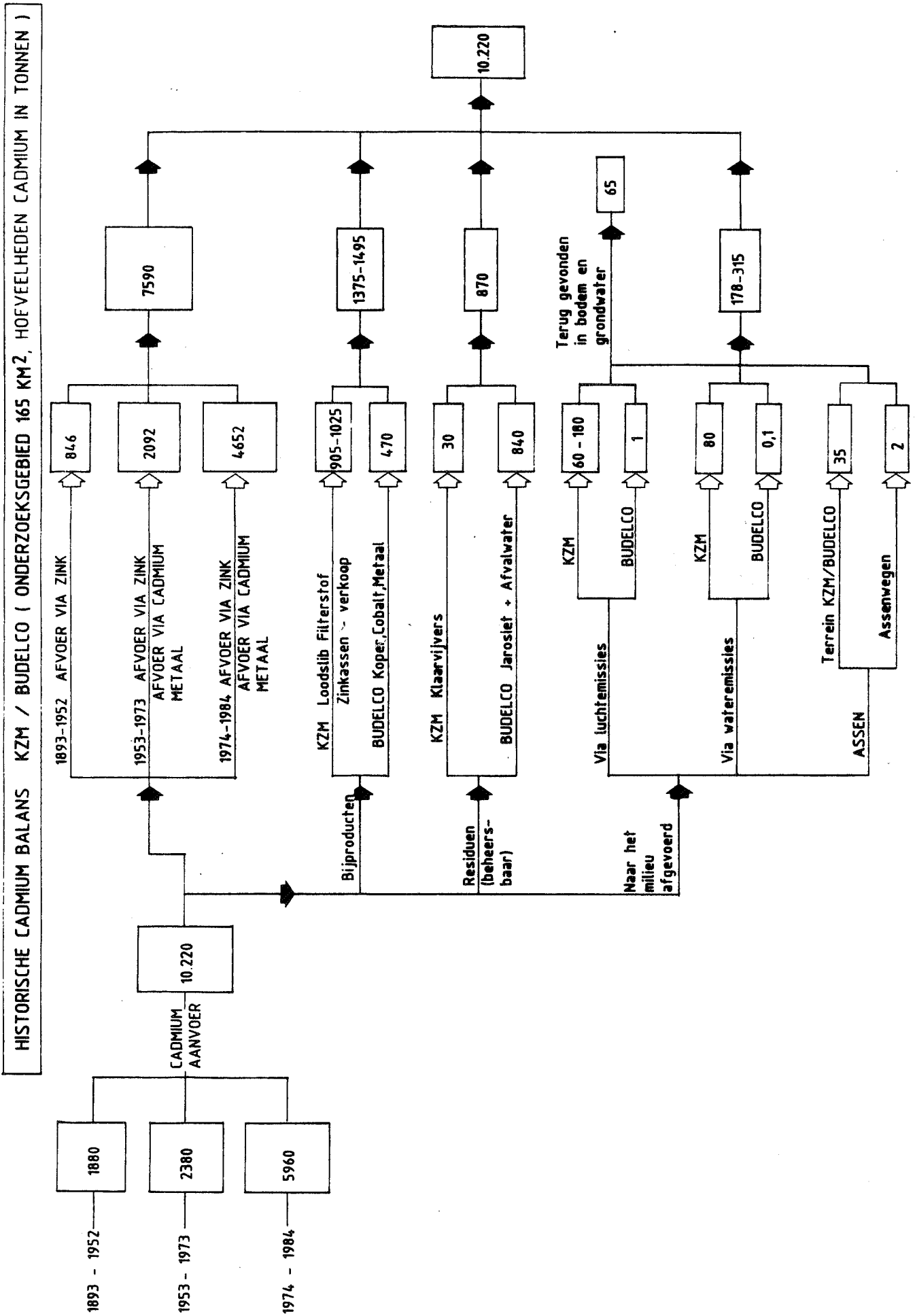
### 3.2.5 Conclusies (zie fig. 3.1) historische cadmiumbalans

Met behulp van een aantal aannamen is in samenwerking met Budelco een historische cadmiumbalans opgesteld voor de bedrijven KZM en Budelco. Uit deze balans blijkt dat er (10.220 - 7.590 =) 2.630 ton cadmium meer is aangevoerd dan afgevoerd werd via het zink- en het cadmiummetaal. Er blijkt ongeveer 1.375 - 1.495 ton cadmium via andere wegen uit het productieproces te zijn afgevoerd (afvang door filterzakken, export loodsulfaat restprodukten naar België).

Er werd ongeveer 870 ton cadmium afgevoerd naar jarosietvelden, klaarvijvers en afvalwater. In totaal is er ongeveer 178-315 ton als gevolg van de binnenlandse emissies in het milieu terechtgekomen. Van deze hoeveelheid wordt er op dit moment  $\pm$  200 ton cadmium in het onderzoeksgebied dat beïnvloed werd door KZM/Budelco (165 km<sup>2</sup>) teruggevonden.

Het blijkt dat de industrieën in België een vermoedelijk veel grotere cadmiumuitworp hebben gehad als gevolg van roosting en de behandeling van sterk cadmiumhoudende restprodukten. Hoeveel hiervan in het Nederlandse milieu is terechtgekomen, is niet bekend.

Fig. 3.1





### 3.3 Actuele (1983) cadmiumbalans in het totale onderzoeksgebied (350 km<sup>2</sup>)

#### 3.3.1 Algemeen

Nu de accumulatie van cadmium in het Kempensche milieu in beeld is gebracht rijst de vraag of dit een permanente situatie is, of er een geleidelijke opschoning van het milieu plaatsvindt of dat er een cadmiumaccumulatie in het milieu plaatsvindt. Het is bekend dat de cadmiumaanvoer tegenwoordig aanzienlijk lager ligt dan in het verleden. Hier wordt dus ingegaan op de vraag hoe de huidige aanvoer van cadmium naar het milieu zich verhoudt tot de afvoer van cadmium uit het milieu. De in het inventarisatierapport verschenen balans wordt hier onder de loupe genomen. Hierbij is getracht zoveel mogelijk waarnemingen uit 1 jaar (1983) te betrekken in de afzonderlijke balansen. Om een zo overzichtelijk mogelijk beeld te schetsen van de actuele cadmiumbalans zal per verontreinigingscategorie (assenwegen, waterlopen en diffuse verspreiding van verontreiniging in bodem en grondwater) een balans worden opgesteld. Hier wordt dus afgeweken van de werkwijze in het onderzoeksrapport fase 1, waar één totaalbalans is opgesteld. Met deze methode ontstaat inzicht in de huidige effecten van de aange- toonde verontreinigingen. Voor alle berekeningen wordt verwezen naar bijlage 2.5 t/m 2.11.

#### 3.3.2 Assenwegen, assenerven en asdepots

Aangenomen mag worden dat tegenwoordig geen nieuwe assenwegen meer worden aangelegd. Dit betekent dat voor onderstaande beschouwing alleen uitgegaan kan worden van de bestaande situatie.

De assenwegen, erven en depots kunnen worden beschouwd als (secundaire) bronnen van verontreiniging. Door deze bronnen van verontreiniging wordt cadmium aangevoerd naar het milieu. De omvang van deze aanvoer kan worden ingeschat aan de hand van de resultaten van deelproject III. Hier worden slechts de resultaten van de berekeningen vermeld. Voor de berekeningen wordt verwezen naar bijlage 2.5 en 2.6.

Door wegwerkzaamheden kunnen wegrestanten in de directe omgeving terecht komen. Berekend is dat gemiddeld per jaar circa 90 mg cadmium per strekkende meter op deze wijze het bodemmilieu belast tot op een afstand van 6 meter. Omdat aangenomen wordt dat 200 km weg aanwezig is betreft het hier dus een hoeveelheid van 18 kg cadmium per jaar.

Doordat er een neerslagoverschot aanwezig is, kan cadmium uitlogen uit de assenwegen. Tevens kan uitloging door het grondwater plaatsvinden. Zoals eerder werd vermeld bedraagt het cadmiumgehalte van de oorspronkelijke assen vermoedelijk tussen de 10 en 40 mg/kg. De uitloogbaarheid wordt waarschijnlijk beïnvloed door de korrelgrootteverdeling van de assen (als gevolg van mechanische belasting worden de assen verpulverd). Ook laat het zich aanzien dat de uitloogbaarheid wordt beïnvloed door de zuurgraad van het grondwater. Een schatting van de uitgelogde hoeveelheid cadmium is onmogelijk, omdat van geen enkel assenmonster het oorspronkelijke cadmiumgehalte bekend is. Wel kan worden gesteld dat er een uitloging optreedt, hetgeen blijkt uit een experiment van het Waterschap Zuiveringschap Limburg.

Door afspoeling en/of verwaaiing treedt verplaatsing op van het materiaal van de assenweg. In totaal worden de zones van 1,5 m aan weerszijden van de assenwegen belast met ongeveer 1,5 kg cadmium per jaar.

Ook uit de aanwezige assendepots van KZM en Budelco en de assen op en in de terreinen van KZM/Budelco zal cadmium uitloggen. Door het ontbreken van exacte informatie over het uitlooggedrag bij deze objecten is het echter niet mogelijk een berekening uit te voeren. Door Budelco is geschat dat ongeveer 100 kg cadmium wordt afgevoerd door de Verlegde Tungelroysebeek die zich op het terrein bevindt. Dit is het gevolg van de uitloging van assen die zich rondom deze beek bevinden. Gezien de vermoedelijk geringe totale oppervlakte van de lokale assenerven in het onderzoeksgebied worden de effecten hiervan buiten beschouwing gelaten.

#### Afvoer

Normaal gesproken vindt een geringe afvoer via het gezonde gewas plaats. Langs assenwegen is vaak sprake van een slechte gewasgroei. Hierdoor is de cadmiumafvoer via het gewas dat nabij assenwegen groeit zeer gering. Een belangrijke hoeveelheid kan uit de bouwvoor mogelijk via het grondwater worden afgevoerd. Wanneer de helft van de verontreiniging op deze wijze wordt afgevoerd, betreft het een hoeveelheid van  $18 : 2 = 9$  kg cadmium per jaar.

Uit het bovenstaande blijkt dat door assenwegen het milieu waarschijnlijk met méér dan ongeveer 18 kg cadmium per jaar wordt belast.

Door uitloging van assenwegen en assendepôts kunnen daar nog tientallen kilogrammen bij worden opgeteld.

#### 3.3.3 Waterlopen

De waterlopen vormen een (secundaire) bron van eventuele cadmiumverontreiniging. Het verontreinigde rivierslib kan de bodem nabij de waterlopen belasten door natuurlijke oorzaken (overstromingen) en niet natuurlijke oorzaken (baggerwerkzaamheden). Factoren die de waterkwaliteit beïnvloeden zijn de lozingen door industriële en waterzuiveringsinstallaties, de nalevering van cadmium uit het verontreinigde slib, en de totale afvoer uit het stroomgebied. In het onderstaande wordt getracht een en ander te kwantificeren voor de twee waterlopen waar grote concentraties cadmium en zink in het slib en het oppervlaktewater (zie deelproject IV) voorkomen. Hiermee wordt een balans opgesteld voor de verontreinigingscategorie "waterlopen".

#### Dommel

De aanvoer van cadmium in de Dommel vanuit België bedraagt naar schatting 1.100 kg per jaar (schatting GTD Oost-Brabant, zie bijlage 2.7). De aanvoer via het effluent van de RWZI (Eindhoven) bedraagt ± 125 kg per jaar. In totaal wordt dus ongeveer 1.225 kg cadmium per jaar in de Dommel aangevoerd. De waterdoorvoer (het debiet) van de Dieze bedroeg in 1983 gemiddeld 21 m<sup>3</sup> per seconde. De concentraties cadmium waren kleiner dan de meetgrens (detectielimiet) van 0,2 µg/l. Dit betekent dat er in 1983 minder dan 132 kg cadmium door de Dommel werd afgevoerd. Het milieu in de omgeving van de waterlopen wordt belast met cadmium door overstromingen. Geschat wordt dat op deze wijze enkele tientallen kilogrammen cadmium op de oevers van de Dommel terecht komen (voor berekening zie bijlage 2.8).

De totaalbalans wijst dus uit dat er in 1983 in de Dommel ± 1.100 kg cadmium meer is aangevoerd dan afgevoerd.

Zowel voor de Dommel als voor de Tungelroysebeek geldt dat er geen infiltratie van rivierwater naar het omliggende grondwater plaatsvindt (zie deelrapport IV). Op sommige plaatsen vindt beregening plaats voor de landbouw met water uit de Dommel. Een reële schatting van de hoeveelheid cadmium die hierbij is betrokken is vooralsnog niet mogelijk. Een ontlasting van het milieu aan weerszijden van de waterlopen vindt plaats door drainage van het grondwater naar de beek.

#### Tungelroysebeek

De aanvoer van cadmium via de lozingen van Budelco bedraagt momenteel gemiddeld 25 kg per jaar. De exacte hoeveelheid cadmium die via de uitloging van in het fabrieksterrein via het grondwater in de Tungelroysebeek terechtkomt is onbekend. Door uitloging van kelderassen komt naar schatting 100 kg via de Verlegde Tungelroysebeek in de waterfase van de Tungelroysebeek terecht. De afvoer uit de Tungelroysebeek naar de Maas via de waterfase wordt geschat op 200 kg per jaar (zie bijlage 2.9). Via overstromingen is naar schatting zo'n 50 kg in de loop der tijd op de oevers terecht gekomen. Gezien de grote onzekerheid in deze schatting wordt gesteld dat dit in de orde van grootte van enkele kilogrammen cadmium per jaar ligt.

De totaalbalans van de Tungelroysebeek wijst dus uit dat er in 1983 75 kg cadmium meer werd afgevoerd dan er geloosd werd op de Tungelroysebeek. Een verklaring hiervoor is de aanwezigheid van andere aanvoerbronnen.

In de Dommel bestaat een factor 9 tussen aan- en afvoer van cadmium. Indien deze factor ook met betrekking tot de Tungelroysebeek zou bestaan, betekent dit dat er een hoeveelheid cadmium in eenzelfde orde van grootte als in de Dommel ook in de Tungelroysebeek terecht zou komen.

#### 3.3.4 Bodem en grondwater (diffuse verspreiding)

De verontreiniging van de bodem en het grondwater via de diffuus verspreide verontreiniging is aangetoond. In onderstaande wordt berekend of er op dit moment nog sprake is van een aanvoer of afvoer met betrekking tot het bovenste deel van de bodem, waar gewassen worden verbouwd.

##### Aanvoer

Om de totale atmosferische depositie van cadmium in het onderzoeksgebied te kunnen kwantificeren is gebruik gemaakt van gegevens van het KNMI/RIVM landelijk meetnet betreffende de chemische samenstelling van de neerslag in Nederland (zie lit. 11).

Voorts werd gebruik gemaakt van metingen van LISEC betreffende de totale uitval zoals die is bepaald in 1983 met behulp van neerslagkruiden (zie lit. 12).

Onder een aantal aannamen is de totale depositie in het complete Nederlandse onderzoeksgebied (350 km<sup>2</sup>) berekend op 151 kg in 1983 (zie bijlage 2.10).

Tevens is geschat dat in 1983 in Nederland gemiddeld, in een gebied van gelijke grootte, ± 83 kg is terechtgekomen. Dit betekent dat er in 1983 ongeveer 70 kg cadmium extra ten opzichte van de rest van Nederland via de diffuus verspreide verontreiniging in het Nederlandse onderzoeksgebied is terechtgekomen.

De aanvoer van cadmium naar de bodem in het onderzoeksgebied vindt plaats door bemesting en door atmosferische depositie. De afvoer uit de bodem vindt plaats via de gewassen. Door uitspoeling wordt een gedeelte van het in de bodem aanwezige cadmium verplaatst naar het grondwater. Uiteindelijk kan een gedeelte daarvan in het oppervlaktewater terecht komen.

De huidige aan- en afvoer van cadmium in de bouwvoor kan gezien worden in absolute hoeveelheden aan- en afvoer of ten opzichte van de gemiddelde situatie in de rest van Nederland.

De absolute hoeveelheid die in het onderzoeksgebied wordt aangevoerd via kunstmest bedraagt 72 kg en via dierlijke mest 184 kg (zie inventarisatierapport), in totaal dus 256 kg cadmium.

De aanvoer via atmosferische depositie bedraagt 151 kg cadmium en is dus minder dan de aanvoer via kunstmest en dierlijke mest tezamen.

De afvoer via het gewas bedraagt 14 kg (zie inventarisatierapport). De afvoer naar het grondwater bedraagt gemiddeld in Nederland 1,2 gram/ha./jaar (lit. 19). Dit is een benadering voor de situatie in het onderzoeksgebied. Een absolute hoeveelheid cadmium die wordt afgevoerd is niet eenvoudig aan te geven.

De afvoer naar het grondwater is in werkelijkheid wellicht groter. De hoeveelheid neerslag in het gebied is daarentegen minder dan de gemiddelde hoeveelheid neerslag in Nederland.

Op een gebied van 350 km<sup>2</sup> betekent dit een afvoer van 42 kg per jaar. De totale balans wijst uit dat de bouwvoor in het totale onderzoeksgebied wordt belast met ongeveer 350 kg cadmium.

Dit betekent gemiddeld 1 kg per km<sup>2</sup>. Voor een bouwvoordiepte van 25 cm en een soortelijk gewicht van de bodem van 1.200 kg komt dit neer op een jaarlijkse cadmiumconcentratieverhoging van  $0,30 \cdot 10^{-2}$  mg/kg (zie bijlage 2.11).

Ten opzichte van het gemiddelde in de rest van Nederland is de huidige situatie als volgt aan te geven:

Uit de atmosferische depositiecijfers blijkt dat in De Kempen jaarlijks ongeveer 70 kg cadmium meer wordt gedeponeerd dan gemiddeld in Nederland (zie bijlage 2.10). Deze 70 kg kan gezien worden als de enige specifiek Kempense belasting en dus als extra belasting ten opzichte van Nederland.

Voor 350 km<sup>2</sup> betekent dit een jaarlijkse cadmiumconcentratieverhoging in de bouwvoor van  $0,06 \cdot 10^{-2}$  mg/kg per jaar (zie bijlage 2.11).

Volgens Henkens (lit. 18) wordt de rest van Nederland jaarlijks belast met gemiddeld  $0,24 \cdot 10^{-2}$  mg/kg in de bouwvoor (inclusief uitspoeling en afvoer van het gewas).

De totale belasting via deze berekening wordt dus eveneens  $0,30 \cdot 10^{-2}$  mg/kg per jaar (dit is dus over een periode van 100 jaar 0,3 mg/kg).

Geconcludeerd wordt dat in het onderzoeksgebied de cadmiumbelasting van de bodem hoger is dan gemiddeld in de rest van Nederland. Deze verhoging wordt in het geheel veroorzaakt door atmosferische depositie.

### 3.3.5 Enige conclusies naar aanleiding van de actuele balansen

In dit hoofdstuk is getracht een balans op te stellen voor de drie verontreinigingscategorieën assenwegen, waterlopen, bodem en grondwater. Deze drie balansen geven enig inzicht in de huidige effecten van de aanwezige cadmiumverontreinigingen.

Benadrukt dient te worden dat vanwege de onvolledigheid van de waarnemingen er op sommige plaatsen in de berekeningen aannamen zijn gedaan die ervoor zorgen dat de getallen slechts als een orde van grootte mogen worden geïnterpreteerd.

- Conclusies met betrekking tot assenwegen

Er vindt op dit moment verspreiding van cadmium plaats vanuit de assenwegen. De verspreiding vanuit deze secundaire bron is het gevolg van uitloging van de assen, verwaaiing of verspoeling of als gevolg van werkzaamheden aan de assenwegen.

Volgens een balans betreft het een hoeveelheid van meer dan 18 kg per jaar voor 200 km assenwegen. Door uitloging van assen door grondwater en neerslagoverschot kunnen daar nog tientallen kilogrammen cadmium bijkomen. Door uitloging kan het grondwater plaatselijk cadmiumconcentraties tot boven de C-waarde bereiken.

- Conclusies met betrekking tot de waterlopen

In 1983 werd De Dommel belast met ongeveer 1.000-1.500 kg cadmium. Uit concentratiemetingen en debietmetingen blijkt tevens dat er geen natuurlijke opschoning van het verontreinigde slib in de Dommel plaatsvindt. Er moet derhalve rekening mee worden gehouden dat in de toekomst steeds verontreinigd slib in de Dommel aanwezig zal blijven, ook na eventuele opschoning met behulp van baggertechnieken.

Wanneer de Dommel buiten zijn oevers treedt, kan verontreinigd slib op het omliggende land worden gedeponeed.

In 1983 werd uit de Tungelroysebeek ongeveer 75 kg cadmium meer afgevoerd naar de Maas dan er werd aangevoerd. Indien met een factor 9 rekening wordt gehouden tussen de aan- en afvoer van cadmium in de Tungelroysebeek, betekent dit een cadmiumhoeveelheid in dezelfde orde van grootte als in de Dommel wordt aangevoerd.

Een mogelijke verklaring hiervoor wordt gegeven door andere aanvoerbronnen van cadmium naar de Tungelroysebeek. Deze aanvoerbronnen zijn wellicht de terreinen van Budelco en KZM die aan een uitloging onderhevig zijn.

Door Budelco is aangetoond dat er al 100 kg via de Verlegde Tungelroysebeek in de Tungelroysebeek terechtkomt, vermoedelijk als gevolg van uitspoeling van in de omgeving van de Verlegde Tungelroysebeek aanwezige assen. De lozing van cadmium door Budelco bedraagt ongeveer 25 kg per jaar.

Wanneer de Tungelroysebeek buiten zijn oevers treedt, kan verontreinigd slib op het omliggende land worden gedeponeed.

- Conclusies met betrekking tot de bouwvoor

Er is getracht een cadmiumbalans op te stellen voor het bovenste gedeelte van de bodem, waar gewassen op worden verbouwd. De berekening is uitgevoerd met de beste op dit moment ter beschikking staande gegevens. Hieruit blijkt dat er op dit moment jaarlijks meer cadmium via kunstmest en dierlijke mest wordt aangevoerd dan via de atmosferische depositie.

Als gevolg van de totale aanvoer minus de totale afvoer van cadmium (= 350 kg) wordt het cadmiumgehalte in de bouwvoor jaarlijks verhoogd met  $0,30 \cdot 10^{-2}$  mg/kg. Hierbij is een uitloging verondersteld die even groot is als de gemiddelde uitloging in Nederland. In werkelijkheid is wellicht de uitloging uit de bouwvoor groter als gevolg van het hogere cadmiumgehalte in de bouwvoor.

Daarentegen is de neerslag in dit gebied lager dan het gemiddelde van Nederland.

Als gevolg van de extra depositie in De Kempen vanuit de lucht ten opzichte van de rest van Nederland ( $\pm 68$  kg) wordt het cadmiumgehalte in de bouwvoor verhoogd met  $0,06 \cdot 10^{-2}$  mg/kg. De gemiddelde toename in de rest van Nederland bedraagt  $0,24 \cdot 10^{-2}$  mg/kg (lit. 18). In het onderzoeksgebied accumuleert jaarlijks dus meer cadmium dan gemiddeld in de rest van Nederland. De extra accumulatie wordt in het geheel veroorzaakt door de huidige atmosferische depositie.

#### 4. TOXICOLOGISCHE EVALUATIE MET BETREKKING TOT DE VOLKSGEZONDHEID

##### 4.1 Inleiding

In dit stadium van onderzoek is grotendeels bekend in welke mate door de emissies van enkele metallurgische industrieën er een zware metalenverontreiniging (van met name cadmium en zink) heeft plaatsgevonden. Hiermede is zo goed als mogelijk voldaan aan de eerste doelstelling van het onderzoek. In dit hoofdstuk zal getracht worden te voldoen aan de tweede doelstelling waarin staat dat de effecten van de cadmiumverontreiniging op de volksgezondheid in het onderzoeksgebied worden geanalyseerd. Om alle effecten van het met cadmium verontreinigde milieu op de volksgezondheid in een gebied aan te geven is een zeer complexe en moeilijke zaak, die met de huidige onderzoeksresultaten niet is te verwezenlijken. Daarom wordt deze analyse beperkt tot een studie die is opgesplitst in twee delen:

- ten eerste een studie omtrent de opname van cadmium door verschillende groenten uit een met cadmium verontreinigde bouwvoor. Deze studie is uitgevoerd door Haskoning in samenwerking met het Belgische bureau LISEC en is gebaseerd op Belgische analysesresultaten;
- ten tweede is een berekening, mede naar aanleiding van de consumptie van deze gecontamineerde groenten door de bevolking, van de wekelijkse cadmiumopname in het onderzoeksgebied uitgevoerd. Hierin zijn gegevens verwerkt uit de notitie "Cadmium in het milieu", 1984 (zie lit. 13).

Met deze modelmatige cadmiumopnameberekening worden niet de eventuele momenteel bestaande effecten van de cadmiumverontreiniging, die al lange tijd aanwezig is, op de gezondheid van de bevolking in het onderzoeksgebied belicht.

Hierover zal het geneeskundig onderzoek dat plaatsvond onder een gedeelte van de bevolking in het onderzoeksgebied en een bevolkingsgroep buiten het onderzoeksgebied uitsluitend moeten geven.

Met de hier gepresenteerde cadmiumopnameberekening wordt beoogd een veilige normering op te stellen die het mogelijk maakt die plaatsen aan te geven, waar als gevolg van een bepaald teelt- en consumptiegedrag een te hoge cadmiumopname zou kunnen plaatsvinden.

De uitkomsten van de cadmiumopnameberekening worden vergeleken met de maximaal toelaatbare opnamehoeveelheden van cadmium die door FAO/WHO zijn opgesteld.

De schadelijke effecten van het element cadmium zijn bij de mens in een eerder stadium merkbaar dan bij de plantengroei of bij verschillende bodemprocessen. Vooropgesteld dient te worden dat het element cadmium geen acuut toxische effecten heeft.

Eventuele schadelijke effecten op organen manifesteren zich, indien lange tijd een verhoogde cadmiumopname heeft plaatsgevonden. Dit is de belangrijkste reden waarom de effecten van cadmium op het milieu niet zijn toegelicht. De voor planten schadelijke (fytotoxische) werking van het element zink is wel eerder ter sprake gekomen (paragraaf 2.3.1).

#### 4.2 Reeds bestaande uitgangspunten

Om het gevaar voor de volksgezondheid en het milieu te kunnen beoordelen zijn, door het Ministerie van VROM een aantal toetsingswaarden opgegeven die gehanteerd worden bij de beoordeling van de ernst van een verontreiniging. De aangegeven waarden zijn echter niet eenduidig en kennen een ruime spreiding. De toetsingswaarden dienen dan ook in dit licht te worden gezien. Er worden drie concentratieniveaus onderscheiden: A, B en C. A is referentiewaarde, B is de toetsingswaarde ten behoeve van (nader) onderzoek en C de toetsingswaarde ten behoeve van sanering (sonderzoek). Een toetsing van de onderzoeksresultaten aan de genoemde concentratieniveaus van de verschillende verontreinigingen is mogelijk.

Met betrekking tot het cadmiumgehalte van de gewassen die geteeld worden op gecontamineerde grond in het onderzoeksgebied waren voorheen al uitgebreide inzichten voorhanden. Op grond van deze inzichten is reeds een teeltkundige advisering en kwaliteitscontrole verricht met betrekking tot de voedselgewassen die in het gecontamineerde gebied worden verbouwd.

De door beroepstuinders geteelde produkten worden aan een strenge kwaliteitskeuring door de Keuringsdienst van Waren te Den Bosch onderworpen. Op deze wijze worden er geen grote partijen produkten op de markt gebracht die de officieel erkende normen hebben overschreden. Indien produkten niet aan de normen kunnen voldoen worden ze vernietigd en wordt getracht maatregelen ter voorkoming van normoverschrijdingen te introduceren (bijvoorbeeld bekalking).

In februari 1985 is er door het consulentenschap voor de Akkerbouw en Tuinbouw te Tilburg een schrijven geweest aan alle telers van groentegewassen, evenals voorlichting voor particuliere tuinders. Uit een begeleidende matrix blijkt dat vanaf een cadmiumgehalte in de bouwvoor van 1,0 mg/kg al overschrijdingen van de norm kunnen plaatsvinden en dat er een grotere kans op normoverschrijding van de cadmiumconcentraties van afzonderlijke bladgewassen bestaat bij een cadmiumgehalte van de bodem van 1,5 mg/kg. Er wordt door het Consulentenschap een advies gegeven om door bekalking de zuurgraad (pH) van de bodem op te voeren tot 6,0. Wanneer het cadmiumgehalte van de bouwvoor boven de 2,0 mg/kg ligt wordt geadviseerd geen consumptiegewassen te telen. Deze normeringen hebben betrekking op partijen bladgroenten die voor de verkoop aan consumenten of de veiling worden verbouwd.

Naar aanleiding van het bovenstaande is besloten de relatie cadmiumgehalte in de bodem-cadmiumgehalte in de plant nader te bestuderen en daarna de opname van cadmium als gevolg van de consumptie van het groentenpakket te bestuderen waarmee naast bovenstaande 2 optieken een aanvullende specifiek Kempensche visie kan worden gecreëerd op de cadmiumverontreiniging in de bouwvoor en de potentiële gevaren voor de volksgezondheid.

Hierbij wordt niet ingegaan op de individuele normoverschrijdingen van de verschillende groenten. Het is immers niet reëel te veronderstellen dat er een cadmiumopname plaatsvindt door de consumptie van één groentesoort die mogelijk een te hoog cadmiumgehalte bezit. Bij de opnameberekeningen (paragraaf 4.4) wordt ervan uitgegaan dat de extra opname van cadmium, ten gevolge van bodemverontreiniging door cadmium, hoofd-



zakelijk via de consumptie van plantaardige gewassen plaatsvindt. In vleesprodukten en drinkwater zijn in het onderzoeksgebied vooralsnog geen verhoogde cadmiumgehalten aangetroffen. Er vindt geen cadmiumopname via de huid plaats. Er is bij de berekening geen rekening gehouden met een eventuele opname van cadmium via direct contact met de verontreinigde grond. Er is vanuit gegaan dat de eventuele toxische effecten als gevolg van een te hoge cadmiumopname door de spelende kinderen, die grond in de mond steken, verwaarloosbaar is. Het is bekend dat kinderen sporadisch grond in de mond steken. Omdat dit geen opname van cadmium over een langere periode van jaren betekent, is het eventuele toxische effect hiervan verwaarloosbaar.

De eventuele cadmiumopname via consumptie van verontreinigd drinkwater komt zijdelings ter sprake.

Het huidige cadmiumgehalte in de lucht is in dit onderzoek niet gemeenten. Verwacht wordt dat een cadmiumopname via ademhaling met de huidige gemiddelde luchtconcentraties verwaarloosbaar is.

Daarom is in de berekening ook met de cadmiumopname via ademhaling geen rekening gehouden.

Tevens is, met betrekking tot de cadmiumopname, het roken van sigaretten e.d. buiten beschouwing gelaten. Bekend is dat het roken een aanzienlijke bijdrage kan leveren aan de hoeveelheid opgenomen cadmium.

#### 4.3 De relatie tussen het cadmiumgehalte in de bouwvoor en het cadmiumgehalte in de daarop aanwezige groenten

##### 4.3.1 Inleiding

De opname van zware metalen uit de bouwvoor door planten wordt sterk beïnvloed door een aantal bodemkundige factoren, bijvoorbeeld zuurgraad, organische stofgehalte en de aanwezigheid van chelaten in de bodem (zie lit. 14 en 15).

Eén van de belangrijkste regulerende factoren is de zuurgraad van de bodem.

Dit is een belangrijke reden om een onderscheid te maken in twee pH-klassen bij de bestudering van de relatie cadmium in de bodem - cadmium in de plant.

De eerste groep bodemmonsters bestaat uit bodemmonsters waarvan de pH (KCl) kleiner is dan 5,0; dit is het natuurlijk voorkomende pH-traject in het onderzoeksgebied.

De tweede bestudeerde groep bodemmonsters bestaat uit bodemmonsters waarvan de pH (KCl) groter is dan 5,5; deze zuurgraad van de bodem kan met bekalking worden bereikt.

Alle groentemonsters werden eerst gewassen en ontdaan van niet eetbare bestanddelen, alvorens het cadmiumgehalte werd bepaald. Het cadmiumgehalte van de bodemmonsters werd bepaald met behulp van atomaire absorptie. Alle bodemmonsters en gewasmonsters zijn afkomstig van Belgisch grondgebied en zijn door het LISEC genomen, geanalyseerd en statistisch verwerkt. Uit een steekproef van geringe omvang (10 stuks) van de Nederlandse situatie blijkt een overeenkomstig beeld aanwezig te zijn voor wat betreft de relaties tussen het cadmiumgehalte in de bouwvoor en de plant.

Door de vergelijkbaarheid van het bodemtype en de verontreinigingsproblematiek van de bodem zijn alle resultaten extrapoleerbaar naar het Nederlandse onderzoeksgebied.

#### 4.3.2 Relaties cadmium in bouwvoor - cadmium in de plant

Bijlage 3 bevat alle figuren die de berekende relatie tussen het cadmiumgehalte in de plant en het cadmiumgehalte in de bouwvoor weergeven.

Voor de volgende groenten zijn de relaties onderzocht: prei, wortelen, aardappelen, selderij (bleekselderij en groene selderij tezamen), boerenkool (krulkool) en sla.

Van elke relatie zijn twee figuren weergegeven met een onderscheid in 2 pH-klassen (aangegeven met  $\Delta$ ). Bij een lage pH ( $<5,0$ ) van de bodem werd maximaal 4,4 mg/kg cadmium in de bodem aangetroffen. Bij een hoge pH ( $>5,5$ ) werden cadmiumgehalten in de bodem aangetroffen tot 16 mg/kg.

Uit deze figuren is onderstaande tabel 4.1 afgeleid. In deze tabel zijn die cadmiumgehalten van de groenten weergegeven, waarbij nog slechts 10% kans bestaat dat het gemiddelde cadmiumgehalte van de groente (bij één Cd-gehalte van de bodem) groter is dan de in de tabel genoemde waarde. De waarden zijn afgelezen van de lijn B-1, zie bijlage 3. Waarom 10% overschrijdingskans is gekozen, komt in paragraaf 4.4.2 aan de orde.

Tabel 4.1 Gemiddelde Cd-gehalten in mg per kg vers gewicht van de onderzochte groenten bij een aantal cadmiumgehalten in de bouwvoor (mg/kg d.s.) (afgeleid uit bijlage 3)

Cd-geh. i/d bodem	Prei		Wortelen		Aard-appe- len pH 1-8	Selderij		Boerenkool		Sla	
	pH <5	pH >5,5	pH >5	pH >5,5		pH <5,0	pH >5,5	pH <5,0	pH >5,5	pH <5,0	pH >5,5
0,4	0,06	0,06	0,095	0,04	0,054	0,27	0,10	0,10*	0,05	0,05	0,08
0,6	0,12	0,065	0,105	0,045	0,055	0,28	0,11	0,13*	0,06	0,13*	0,095
0,8	0,17*	0,07	0,115	0,05	0,055	0,30	0,13	0,17	0,065	0,22*	0,11
1,0	0,22*	0,08	0,125	0,06	0,056	0,32	0,15	0,21	0,08	0,31	0,12
1,2	0,27	0,085	0,135	0,065	0,057	0,33	0,16	0,25	0,09	0,43	0,13
1,4	0,34	0,09	0,145	0,07	0,0575	0,35	0,17	0,295	0,10*	0,56	0,14
1,6	0,39	0,095	0,16	0,075	0,058	0,38	0,18	0,34	0,11*	0,70	0,15
1,8	0,46	0,105	0,17	0,08	0,059	0,41	0,20	0,395	0,115	0,83	0,165
2,0	0,505	0,11	0,18	0,09	0,06	0,44	0,21	0,44	0,13	0,95	0,18
2,2	0,58	0,115	0,19	0,095	0,061	0,47	0,22	0,495	0,14	1,10	0,195*
2,4	0,64	0,120	0,205*	0,10	0,062	0,50	0,23	0,55	0,145	1,25	0,21
2,6	0,72	0,125	0,21	0,105	0,062	0,52	0,25	0,60	0,15	1,40	0,22
2,8	0,78	0,135	0,225	0,11	0,0625	0,56	0,27	0,65	0,17	1,55	0,24
3,0	0,85	0,14	0,24	0,115	0,063	0,5950,29	0,71	0,18	1,70	0,25	
3,2	0,91	0,15	0,25	0,125	0,064	0,61	0,30	0,19	0,26		
3,4	0,97	0,155	0,26	0,13	0,065	0,65	0,31	0,20	0,28		
3,6	1,04	0,16	0,275	0,14	0,067	0,67	0,33	0,21	0,30		
3,8	1,09	0,165	0,285	0,145	0,0675	0,70	0,34	0,22	0,31		
4,0	1,16	0,175	0,30	0,15	0,068	0,73	0,35	0,23	0,33		
4,2	1,22	0,18	0,32	0,155	0,0685	0,77	0,37	0,24	0,34		
4,4	1,30	0,19	0,16	0,07	0,80	0,38	0,25	0,35			
4,6	0,195	0,165	0,071	0,84	0,40	0,26	0,37				
4,8	0,20*	0,175	0,073	0,88	0,41	0,27	0,385				
5,0	0,21*	0,18*	0,074	0,90	0,42	0,28	0,40				
6,0	0,24	0,21	0,078	1,06	0,50	0,34	0,48				
7,0	0,275	0,245	0,084	1,20	0,59	0,40	0,55				
8,0	0,31	0,28	0,090	1,36	0,65	0,45	0,63				
9,0	0,35	0,315	0,095*	0,74	0,505	0,72					
10,0	0,375	0,345	0,102*	0,83	0,56	0,79					
11,0	0,41	0,375	0,107	0,90	0,62	0,88					
12,0	0,45	0,42	0,114	0,98	0,68	0,95					
13,0	0,49	0,46	0,120	1,05	0,74	1,04					
14,0	0,52	0,48	0,126	1,13	0,80	1,10					

\* overschrijding norm afzonderlijke gewassen.  
 De normen voor cadmium van de afzonderlijke gewassen zijn: prei: 0,2; wortelen: 0,2; aardappelen: 0,1; selderij: onbekend; boerenkool: 0,1; sla: 0,2.

Uit deze tabel blijkt:

- dat bij een hogere pH van de bouwvoor alle groenten minder cadmium opnemen dan wanneer de pH een natuurlijke waarde bezit van kleiner dan 5,0;
- dat bij een lage pH (<5,0) sla het meeste cadmium opneemt en vervolgens prei, boerenkool, selderij, wortelen en aardappelen;
- dat bij een hoge pH (>5,5) selderij het meeste cadmium opneemt en vervolgens sla, boerenkool, prei, wortelen en aardappelen.

#### 4.4 Cadmiumopname door consumptie van gecontamineerde groenten als extra bijdrage aan de gemiddelde cadmiumbelasting

##### 4.4.1 Inleiding

In de hierna volgende berekening wordt uitgegaan van de "cadmiumnotitie" (lit. 13), zoals die in 1984 is opgesteld door het Ministerie van VROM.

In onderstaande tabel 4.2 (lit. 13) is een overzicht gegeven van de dagelijkse opname van cadmium via voedsel en drinkwater (bij gemiddelde cadmiumgehalte) en van potentiële opname (bij niveau van de ontwerpnormen zoals aangeboden aan Adviescommissie Warenwet).

Tabel 4.2. Overzicht van dagelijkse opname van cadmium via voedsel en drinkwater (bij gemiddeld cadmiumgehalte) en van potentiële opname (bij niveau van de ontwerp-normen zoals aangeboden aan Adviescommissie Warenwet)

Levensmiddelen plantaardig	Dagelijkse consump- tie <sup>1</sup>	Gemiddeld cadmium- gehalte	Gemiddelde dagelijkse cadmium- opname	Voorge- stelde grens- waarde	Potentiële opname
	g	mg/kg	µg	mg/kg	µg
Bruinbrood	63	0,035	2,2		
Witbrood en bloem	84	0,025	2,1		
Overige graanprod. (o.a. rijst)	14	0,030	0,4	0,15 <sup>3</sup>	
	161				24
Aardappelen	165	0,030	5,0	0,1	16
Groenten (incl. peul- vruchten, champignons)	157	0,015	2,4	0,1 <sup>3</sup>	17
Vruchten	160	0,005	0,8	0,03	5
Noten	10	0,025	0,2		
Koffie	15	0,005	0,1		
Thee	1	0,015	p.m.		
Cacao	8	0,1 <sup>2</sup>	0,8 <sup>2</sup>		
Suiker	100	0,005 <sup>2</sup>	0,5 <sup>2</sup>	p.m.	
Zichtbare plantaardige vetten	56	0,010 <sup>2</sup>	0,6 <sup>2</sup>	p.m.	
Bier	220	0,001	0,2	p.m.	
Wijn, gedest.	41	0,003	0,1		
Totaal			15,4		62
Levensmiddelen dierlijk					
Rundvlees	47	0,04 <sup>6</sup>	1,9	0,05	2
Varkensvlees	73	0,03 <sup>6</sup>	2,2	0,05	4
Pluimveevlees	19	0,01 <sup>6</sup>	0,2	0,05	1
Runderlever	2	0,2 <sup>6</sup>	0,4	1,0	2
Rundernier	0,5	0,7 <sup>6</sup>	0,4	3,0	2
Varkenslever	2	0,1 <sup>6</sup>	0,2	1,0	2
Varkensnier	0,5	1,0 <sup>6</sup>	0,5	3,0	2
Kippelever	0,5	0,3 <sup>6</sup>	0,2	1,0	1
Overig vlees	5,5	0,1	0,5		
	150		6,5		16
Melk, melkprodukten	420	0,002 <sup>6</sup>	0,8	0,005	2
Kaas	24	0,03	0,7	0,05	1
Vis	14	0,015	0,2	0,05	1
Schaaldieren	1	0,02	—	0,3	—
Scheipdieren	1	0,25 <sup>3</sup>	0,3 <sup>3</sup>	1,0	1
Eieren	29	0,002	0,1	0,001	—
Totaal			8,6		21
Tot. voedselpakket			24,0		83
Drinkwater	2 liter	0,0005	1,0	0,001 <sup>4</sup>	2
Totaal voedsel en drinkwater			25,0		85

<sup>1</sup> Gebaseerd op cijfers van het ministerie van Landbouw en Visserij over de consumptie van voedingsmiddelen, 1970-1977.

<sup>2</sup> Geschat.

<sup>3</sup> 0,2 voor sla, andijvie, spinazie, prei, wortel; 0,03 voor komkommer, augurk.

<sup>4</sup> 0,01 voor mineraalwater en bronwater.

<sup>5</sup> Voor het produkt, ontdaan van de oneetbare delen.

<sup>6</sup> Uit recente evaluatie van alle gegevens (CCR-X-rapport) blijkt dat de mediane cadmiumgehalten in dierlijke produkten lager zijn: rundvlees 0,004; varkensvlees 0,003, pluimveevlees 0,002, runderlever 0,09, rundernier 0,34, varkenslever 0,08, varkensnier 0,33, kippelever 0,03 en melk 0,0007.

In deze tabel is voor aardappelen (165 gram) en voor de groenten (157) voor zover mogelijk een aanpassing verricht voor wat betreft de gemiddelde dagelijkse cadmiumopname.

Deze aanpassing is gebaseerd op de resultaten van de relatie cadmiumgehalte in de bouwvoor - cadmiumgehalten in de groenten (zie tabel 4.1) en de consumptiehoeveelheden van de afzonderlijke groenten.

Hiermee wordt getracht:

- een berekening te geven van de opname van cadmium door de mensen die een deel van hun dagelijks groentepakket uit eigen (met cadmium belaste) tuin betrekken. Vanwege een aantal gestelde veiligheidsmarges is de berekening niet volledig representatief voor de werkelijke blootstelling van de Kempense bevolking;
- gebieden aan te geven die door een te hoog cadmiumgehalte in de bouwvoor op grond van de potentiële cadmiumopname bij een bepaald consumptiepatroon als aandachtspunt kunnen worden gezien;
- gebieden aan te geven die door een te hoog cadmiumgehalte in de bouwvoor op grond van de potentiële cadmiumopname bij een bepaald consumptiepatroon als knelpunt kunnen worden beschouwd.

#### 4.4.2 Uitgangspunten

- De gevonden cadmiumopnamen per week worden getoetst aan de door het JECFA van FAO/WHO opgestelde normering. De "provisional tolerable weekly intake" bedraagt 400-500 ug cadmium per persoon. Deze richtlijn is gebaseerd op een kritisch gehalte van 200mg cadmium per kg niercortex, waarboven nierschade kan optreden. Vanwege duidelijke verschillen in gevoeligheid binnen de totale bevolking heeft men later dat kritisch belastingsniveau ingeschat op 100 mg/kg niercortex en het zogenaamde "no adverse effect" niveau op 50 mg/kg. Daarbij werd gesteld dat het onwaarschijnlijk geacht mag worden dat bij een maximale opname van 1 ug cadmium/kg lichaamsgewicht per dag dit "no adverse effect" niveau wordt overschreden.

Deze aanname ligt ten grondslag aan de FAO/WHO-richtlijn van 400-500 ug per week.

Als een "extra veiligheid" wordt gesteld dat het bereiken van een niveau van 400 ug per week de maximaal toelaatbare grens is.

- Er wordt een "veiligheidspercentage" van 90% in de berekeningen ingebouwd. Dat wil zeggen dat de opname wordt berekend, waarbij een kans van 10% wordt geaccepteerd dat het gemiddelde cadmiumgehalte in de groente hoger is dan aangegeven. Dit betekent dat er ook een gemiddelde cadmiumopname per week wordt aangegeven, waarbij er nog maar een kans van 10% bestaat dat de gemiddelde cadmiumopname hoger is dan berekend.
- De berekening vindt plaats met behulp van de gemiddelde waargenomen concentratie cadmium in de groenten. Immers, het is niet reëel te veronderstellen dat het cadmiumgehalte in de groenten altijd hoog is (zie ook figuren bijlage 3) bij één bepaald cadmiumgehalte in de bouwvoor.

#### 4.4.3 Berekening van de cadmiumopname

De gemiddelde cadmiumopname per week is met de in tabel 4.3 genoemde hoeveelheden te consumeren groenten berekend. Deze hoeveelheden zijn bepaald in overleg met Ministerie van WVC.

Tabel 4.3 Consumptiehoeveelheden van onderzochte groenten in gram per dag

Aardappelen	165
-----	
Wortelen	14
Sla	8
Selderij (blad + bleek)	2
Prei	4
Boerenkool (krulkool)	5
Spinazie	6
Andijvie	8
Totaal	47 gram groenten

In tabel 4.2 staat vermeld 157 gram groenten. De resterende groenten omvatten dus 110 gram.

De concentraties van cadmium in aardappelen, wortelen, sla, selderij, prei en boerenkool staan, afhankelijk van het cadmiumgehalte van de bouwvoor, vermeld in tabel 4.1.

Het cadmiumgehalte van spinazie wordt gesteld op de norm voor spinazie van 0,2 mg/kg, onafhankelijk van het cadmiumgehalte in de bouwvoor, omdat spinazie in het onderzoeksgebied niet of nauwelijks wordt verbouwd. Omdat in het onderzoeksgebied wel andijvie wordt verbouwd, is deze wel, in afhankelijkheid van het cadmiumgehalte in de bodem meegenomen. Hierbij werd een opnamepatroon van cadmium uit de bouwvoor verondersteld dat te vergelijken is met het opnamepatroon van prei.

Voor alle andere groenten (110 g) werd het gemiddelde cadmiumgehalte van 0,015 mg per kg uit tabel 4.2 verondersteld.

De bijlage 4 bevat 2 tabellen, waarin de cadmiumopname ( $\mu\text{g}$ ) in relatie tot het cadmiumgehalte in de bouwvoor (mg/kg) bij twee pH-klassen is weergegeven.

Beide tabellen resulteren in de volgende geconstrueerde figuur 4.4.

In deze figuur is de cadmiumopname per week weergegeven in afhankelijkheid van het cadmiumgehalte in de bodem. Dit is gedaan voor twee pH-klassen met behulp van twee verschillende lijnen.

Er bestaat slechts een kans van 10% dat de gemiddelde wekelijkse cadmiumopname bij een bepaald cadmiumgehalte in de bodem hoger is dan door de lijn wordt aangegeven.

Deze kans van 10% is gerechtvaardigd, gezien de andere veiligheidsmarges in deze opnameberekening.

Deze kans is precies 10%, indien verondersteld wordt dat de fout van 10% met betrekking tot de afzonderlijke gewassen door dezelfde factoren wordt bepaald (bijvoorbeeld organische stofgehalte van de bodem). In werkelijkheid is dit niet het geval en is dientengevolge de werkelijke kans nog kleiner dan 10%. Vooralsnog wordt van 10% uitgegaan.

Uit bijlage 3 blijkt dat er op bepaalde plaatsen bij een laag cadmiumgehalte in de bodem toch een hoog cadmiumgehalte in het gewas kan voorkomen.

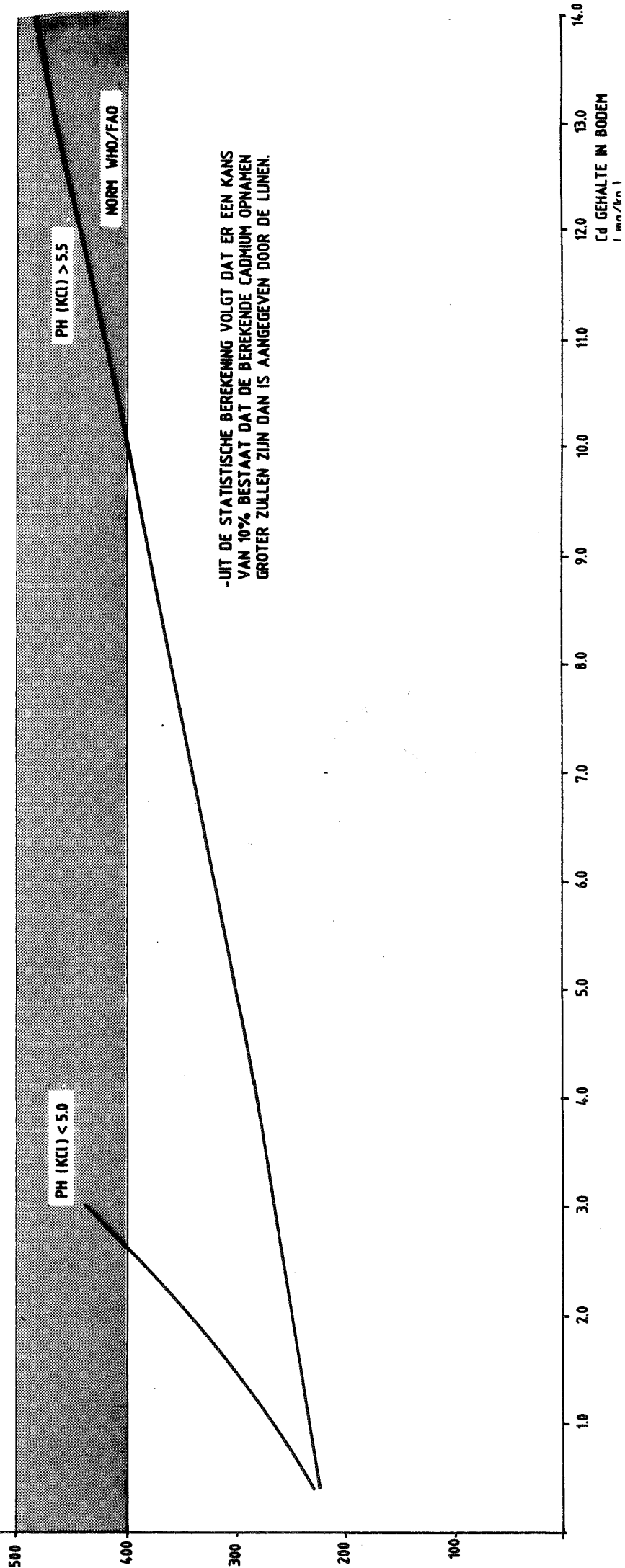
Deze punten vertegenwoordigen dus tuinen waar andere bodemfactoren dan de pH een zo grote invloed hebben op het opnamepatroon van één bepaalde plant dat het cadmiumgehalte in die plant boven de berekende lijn valt. De kans hierop bedraagt 10% voor alle berekende cadmiumgehalten in de bouwvoor.

Cd OPNAME PER WEEK  
(µg)

FIGUUR 4.4

WEKELIJKSE CADMIUM OPNAME IN RELATIE TOT  
CADMIUMGEHALTE IN BODEM.

ALS GEVOLG VAN DE CONSUMPTIE VAN EEN AANTAL GROENTEN  
DIE EEN VERHOOGD CADMIUM GEHALTE BEZITTEN,  
ER IS ONDERSCHIED GEMAAKT IN TWEE pH- KLASSEN VAN DE BODEM



-UIT DE STATISTISCHE BEREKENING VOLGT DAT ER EEN KANS  
VAN 10% BESTAAT DAT DE BEREKENDE CADMIUM OPNAMEN  
GROTER ZULLEN ZIJN DAN IS AANGEGEVEN DOOR DE LIJNEN.

14.0  
13.0  
12.0  
11.0  
10.0  
9.0  
8.0  
7.0  
6.0  
5.0  
4.0  
3.0  
2.0  
1.0  
Cd GEHALTE IN BODEM  
( mg/kg )

Samenvattend kan het volgende worden opgemerkt:

- wanneer de pH van de bouwvoor kleiner is dan 5,0, is de kans 10% dat bij een cadmiumgehalte in de bouwvoor van 2,5 mg/kg de WHO/FAO-norm van een opname van 400 ug cadmium per week wordt overschreden. De kans dat dit gebeurt bij een hoger cadmiumgehalte in de bouwvoor is groter dan 10%. Hierbij wordt verondersteld dat de geconsumeerde groenten en aardappelen voor een groot deel uit eigen (gecontamineerde) tuin afkomstig zijn;
- wanneer de pH van de bouwvoor groter is dan 5,5 (bijvoorbeeld als gevolg van bekalking), is de kans 10% dat bij een cadmiumgehalte in de bouwvoor van 10 mg/kg de WHO/FAO-norm van een opname van 400 ug cadmium per week wordt overschreden. De kans dat dit gebeurt bij een hoger cadmiumgehalte in de bouwvoor is groter dan 10%. Hierbij wordt verondersteld dat de geconsumeerde groenten en aardappelen voor een groot deel uit eigen (gecontamineerde) tuin afkomstig zijn;
- de achtergrondopname in het onderzoeksgebied (met een cadmiumgehalte in de bodem van 0,4 mg/kg) is berekend op 231 ug per week wanneer de pH van de bodem kleiner is dan 5,0 en op 223 ug per week wanneer de pH van de bodem groter is dan 5,5. Deze achtergrondopname komt overeen met de 225 ug per week die uit het onderzoek van De Voogt en Van Hattum (zie lit. 6) naar voren kwam.

#### 4.5 Conclusies toxicologische evaluatie

In dit hoofdstuk zijn de onderzoeksresultaten beoordeeld, waardoor een beeld is ontstaan van de mogelijke effecten van de aangetroffen verontreinigingen op de volksgezondheid.

Naast de toetsing van de onderzoeksresultaten aan concentratieniveaus uit de Leidraad bodemsanering en een in de praktijk gevormde visie op normoverschrijdingen van afzonderlijke groentegewassen is een derde optiek gepresenteerd van waaruit de onderzoeksresultaten kunnen worden gezien. In alle drie de optieken wordt het concentratieniveau van cadmium in de bouwvoor centraal gesteld.

De eerstgenoemde toetsing is eenvoudig en behoeft geen nadere uitleg. Uit praktijkwaarnemingen, verricht door het Consulentenschap voor Akkerbouw en Tuinbouw, blijkt dat de mogelijkheid aanwezig is dat er normoverschrijdingen van concentraties van afzonderlijke bladgewassen plaatsvinden bij een cadmiumgehalte vanaf 1,0 mg/kg in de bodem. Wanneer dit cadmiumgehalte boven 2,0 mg/kg ligt, wordt aan de telers geadviseerd geen consumptiegewassen te telen (onafhankelijk van pH van bouwvoor) (Consulentenschap Akkerbouw en Tuinbouw te Tilburg). Deze advisering heeft betrekking op de teelt van grote partijen gewassen.

In de laatstgenoemde visie, de cadmiumopnameberekening uit de consumptie van het groentepakket, is allereerst de relatie van het cadmiumgehalte in de gewassen met het cadmiumgehalte in de bouwvoor onderzocht. Hieruit bleek dat wanneer de pH (KCl) van de bodem groter is dan 5,5, er veel minder cadmium wordt opgenomen door de plant dan wanneer de pH kleiner is dan 5,0.

De groep met het grootste risico wordt gevormd door diegenen die een groot deel van het groentepakket uit eigen (gecontamineerde) tuin betrekken.



Voor deze groep is de gemiddelde wekelijkse opname van cadmium bestudeerd in afhankelijkheid van het cadmiumgehalte in de bouwvoor door de gevonden concentraties in de plant te vermenigvuldigen met de consumptiehoeveelheden van de verschillende groenten. Bij deze cadmiumopnamehoeveelheid is de achtergrondswaarde van cadmiumopname opgeteld. Deze opname is vergeleken met de WHO/FAO-norm van 400 ug cadmium per week.

Hieruit blijkt het volgende:

- wanneer de pH van de bouwvoor kleiner is dan 5,0, bestaat er een kans van 10% dat bij een cadmiumgehalte in de bouwvoor van 2,5 mg/kg een overschrijding plaatsvindt van de door FAO/WHO toegestane wekelijkse cadmiumopname (voor diegenen die het groentepakket voor een groot deel uit eigen tuin betrekken);
- wanneer de pH van de bouwvoor groter is dan 5,5, bestaat er een kans van 10% dat bij een cadmiumgehalte in de bouwvoor van 10 mg/kg dezelfde normoverschrijding plaatsvindt.

Uit deze evaluatie blijkt dus dat naast de toetsingswaarden uit de Leidraad bodemsanering van 1,0, 5,0 en 20,0 mg/kg en de toetsingswaarden uit de praktijk van 1,5 en 2,0 mg/kg voor afzonderlijke normoverschrijdingen ook 2,5 en 10,0 mg/kg gebruikt kunnen worden om de onderzoeksresultaten te bezien in het licht van mogelijk te nemen maatregelen.

Het element cadmium heeft een subchronische toxiciteit, hetgeen betekent dat in het onderzoeksgebied de niveau's van blootstelling laag zijn, maar dat door de langere blootstellingsduur er toxische effecten kunnen optreden.

De berekende waarde van 2,5 mg cadmium in de bodem is gebaseerd op deze langere blootstellingsduur, doordat deze waarde is gekoppeld aan de WHO/FAO-norm van cadmiumopname van 400 ug per week, waarbij schade aan organen kan optreden na lange blootstellingsduur.

Dit is de reden waarom de onderzoeksresultaten veiligheidshalve getoetst zijn aan de waarde van 2,5 mg cadmium per kg/d.s. en niet aan de B-waarde uit de Leidraad bodemsanering van 5,0 mg.

De toetsingswaarden uit de praktijk hebben betrekking op individuele normoverschrijdingen van cadmiumconcentraties in bladgroenten en zijn als zodanig niet bruikbaar voor de toetsing van de wekelijkse cadmiumopname aan de FAO/WHO-norm van 400 ug cadmium per week.

Het is immers niet acceptabel te veronderstellen dat de groentenconsumptie wordt beperkt tot één groentesoort, die wellicht een te hoog cadmiumgehalte zou bezitten.

5. RISICO-INSCHATTING MET BETREKKING TOT DE VOLKSGEZONDHEID

5.1 Inleiding

Met behulp van de 4 deelonderzoeken is, in het kader van de Interimwet bodemsanering, de aard en omvang van de verontreiniging vastgesteld. Naast enkele andere zware metalen is met name het element cadmium in het milieu aanwezig. Het cadmium komt voor in de bouwvoor alsmede in en nabij assenwegen en waterlopen. Ook op de fabrieksterreinen van Budelco en KZM is een grote hoeveelheid zinkassen aanwezig.

Het element cadmium kan bij een verhoogde opname door de mens een toxisch effect hebben op het menselijk lichaam (zie bijlage 5). Rekening moet worden gehouden met het feit dat er op dit moment een diffuse belasting door cadmium aanwezig is, waardoor er geen acute risico's voor de volksgezondheid aanwezig zijn. De hier bedoelde evaluatie heeft betrekking op de lange termijneffecten op de volksgezondheid.

In principe kan een opname van cadmium plaatsvinden op drie manieren: via voedsel, via drinkwater, via ademhaling. Opname van cadmium via de huid treedt niet op. Op een eventuele opname van cadmium door dieren (veedrenking) of cadmiumopname door planten via het mogelijk verontreinigde sproeiwater is in dit rapport niet ingegaan. Een veterinaire toxicologisch onderzoek heeft in een ander kader reeds plaatsgevonden. Nu kan worden nagegaan waar gezien de totale omvang van de verontreiniging een zodanig verhoogde opname van cadmium op deze drie manieren kan plaatsvinden, dat er momenteel een daadwerkelijk risico voor de volksgezondheid aanwezig is. Tevens kan worden aangegeven waar onder invloed van de huidige fysische en chemische processen in de toekomst een risico voor de volksgezondheid kan ontstaan.

5.2 Cadmiumopname als gevolg van de diffuus verspreide verontreiniging

- Via het voedsel

Onder andere als gevolg van de cadmiumdepositie vanuit de lucht is het cadmiumgehalte in de bouwvoor verhoogd. Omdat groenten cadmium uit de bouwvoor opnemen, kan consumptie van gecontamineerde gewassen een verhoogde cadmiumopname tot gevolg hebben. Onder bepaalde condities kan deze verhoogde cadmiumopname een gevaar voor de volksgezondheid betekenen. Dit risico treedt op indien er consumptie plaatsvindt van gewassen, die worden geteeld op een bouwvoor met een cadmiumgehalte van meer dan 2,5 mg/kg en een pH kleiner dan 5,0, een cadmiumgehalte tussen 2,5 en 10,0 mg/kg en een pH kleiner dan 5,5 of wanneer de pH groter is dan 5,5 bij een cadmiumgehalte groter dan 10,0 mg/kg.

Op Nederlands grondgebied is een klein oppervlak nabij Budel Dorplein en nabij Luyksgestel (totaal ca. 2,5 km<sup>2</sup>) waar het cadmiumgehalte in de bodem groter is dan 2,5 mg/kg. Hier is dus bij een lage pH onder bepaalde condities een daadwerkelijk gevaar voor de volksgezondheid momenteel aanwezig. Op een langere termijn van 100 jaar zal het cadmiumgehalte met 0,3 mg/kg verhoogd zijn.

Een groep met een gering risico zijn kinderen die spelenderwijs verontreinigde grond via de mond innemen. Hierdoor zou wellicht een (geringe) cadmiumopname kunnen plaatsvinden. Deze groep loopt een verwaarloosbaar risico, gezien de korte leeftijdsperiode waarin dit mogelijkterwijs plaatsvindt.

100 mg ds/dag

bij 2,5 mg/kg

0,25 µg/dag

WHO norm halveren → 200 µg

ADI = 57-71 µg/pp/d

voor persoon 60 kg

- Via het drinkwater

Als gevolg van de cadmiumdepositie via het regenwater en uitspoeling uit de bouwvoor is tevens het cadmiumgehalte in het ondiepe grondwater verhoogd.

Wanneer het verontreinigde ondiepe grondwater voor consumptie zou worden gebruikt, zou dit wellicht een gevaar voor de volksgezondheid kunnen opleveren. In het onderzoeksgebied vindt op 6 locaties een particuliere drinkwaterwinning van het ondiepe grondwater plaats.

Het cadmiumgehalte van het grondwater op deze locaties is lager dan de EEG-norm voor drinkwater van 5 ug/l (MTC-waarde) .

In het grondwater, dat wordt genomen voor de drinkwatervoorziening, zijn vooralsnog geen verhoogde cadmiumconcentraties aanwezig, zodat als gevolg van diffuus verspreide verontreiniging geen direct gevaar voor de volksgezondheid aanwezig is door consumptie van verontreinigd drinkwater.

- Via de ademhaling

In dit onderzoek zijn geen concentraties van cadmium in de lucht gemeten. Verondersteld wordt dat de huidige cadmiumconcentraties in de lucht dermate gering zijn dat er nergens in het onderzoeksgebied een gevaar voor de volksgezondheid aanwezig is als gevolg van de cadmiumopname via ademhaling\*\*. De norm bedraagt 0,00004 mg cadmium per m<sup>3</sup> lucht (MIC-waarde) . De cadmiumopname via het roken van sigaretten e.d. is hierbij volledig buiten beschouwing gelaten, alhoewel hierdoor een aanzienlijke cadmiumopname kan plaatsvinden.

5.3 Cadmiumopname als gevolg van de aanwezigheid van assenwegen en assenerven

- Via het voedsel

Een verhoogde cadmiumopname als gevolg van de aanwezigheid van assenwegen kan plaatsvinden, indien groenten worden geconsumeerd die afkomstig zijn van een zone van ongeveer 1,5 meter aan weerszijden van die wegen. Er worden in deze zone plaatselijk een cadmiumconcentratie aangetroffen van 17,0 mg/kg. Het gemiddelde cadmiumgehalte bedraagt echter 0,96 mg/kg.

Voor een verhoogde cadmiumopname moet het cadmiumgehalte van de bodem dan liggen op of boven de in 5.2 eerder genoemde concentratieniveau's. Er gelden dezelfde restricties met betrekking tot de zuurgraad van de bodem.

Omdat vanuit de assen tevens andere zware metalen in de omliggende bouwvoor terecht kunnen komen, kan wellicht via groentenconsumptie ook een verhoogde opname van andere elementen plaatsvinden. In dit onderzoek is hier geen aandacht aan geschonken.

- Via het drinkwater

Als gevolg van de aanwezigheid van assenwegen is het grondwater in de nabijheid plaatselijk sterk verontreinigd met meerdere zware metalen. Het cadmiumgehalte in het grondwater nabij assenwegen is op 6 van de 12 meetplaatsen hoger dan de MTC-waarde van

\* MTC = maximaal toelaatbare concentratie drinkwater

\*\* MIC = maximale immissieconcentratie (West-Duitsland)

5 ug/l. Vooralsnog vindt (voor zover bekend) geen consumptie plaats van door assenwegen verontreinigd grondwater. Het eventueel gebruik van particuliere drinkwaterputten nabij assenwegen kan wellicht gevaren voor de volksgezondheid met zich meebrengen. Het diepere grondwater, dat in deze regio een grondstof is voor de bereiding van drinkwater, kan wellicht door uitloging van assen en aanwezig cadmium op lange termijn worden bedreigd door een verontreinigd met cadmium.

- Via de ademhaling

Via de verwaaiing van de fijne assen vanaf een assenweg kan een verhoogde opname van cadmiumhoudend stof plaatsvinden. Verwacht wordt dat dit een zeer geringe bijdrage levert aan de totale cadmiumopname.

5.4 Cadmiumopname als gevolg van het verontreinigde slib en water in de waterlopen

- Via het voedsel

Een verhoogd cadmiumgehalte in de bouwvoor is waargenomen in sommige overstromingsgebieden van de Dommel en de Tungelroysebeek.

Een verhoogde cadmiumopname als gevolg van met cadmium verontreinigd slib is mogelijk, indien groenten worden geconsumeerd die zijn verbouwd op plaatsen waar door overstromingen of baggerwerkzaamheden gecontamineerd slib op de bouwvoor is terechtgekomen. Het slib bevat op 12 van de 17 bemonsterde plaatsen een cadmiumgehalte groter dan 2,5 mg/kg. Op 5 plaatsen overschrijdt het cadmiumgehalte de 10 mg/kg. Het slib is verschillend van de zandig-lemige bodem in het onderzoeksgebied. Hierdoor is het opnamepatroon van cadmium door gewassen en de cadmiumopname door consumptie van groenten niet direct vergelijkbaar met het eerder genoemde opnamepatroon. Vooralsnog worden dezelfde restricties gehanteerd als in paragraaf 5.2 genoemd zijn in verband met de cadmiumopname door gewassen op op een zandig-lemige bodem.

De aanwezigheid van verontreinigd slib in de waterlopen levert geen direct gevaar op voor de volksgezondheid. Wel zal steeds verontreinigd slib in de waterlopen worden aangevoerd. Hierdoor zullen op termijn oplossingen nodig zijn, indien om waterhuishoudkundige redenen dit cadmiumhoudende slib verwijderd moet worden.

- Via het drinkwater

Het met cadmium belaste oppervlaktewater infiltreert niet naar de omgeving van de waterlopen. Er vindt volgens de huidige informatie geen gebruik van het oppervlaktewater als drinkwater plaats.

- Via de ademhaling

Er is geen verhoogde cadmiumopname via ademhaling mogelijk als gevolg van de aanwezigheid van verontreinigd slib of water.

## 6. TOTAAL-EVALUATIE VAN HET ONDERZOEK

### 6.1 Met betrekking tot grond en grondwater

**Aard en omvang** Als gevolg van de uitwerp van cadmium door metallurgische industrieën (primaire bronnen) is het cadmiumgehalte in de bouwvoor en plaatselijk in het oppervlakkig grondwater in een gebied van 350 km<sup>2</sup> verhoogd ten opzichte van een achtergrondswaarde van 0,5 mg/kg d.s. (zie bijlage II-1 en II-3). In het gebied, ten noordoosten van Budelco (165 km<sup>2</sup>), is naar schatting 50 ton cadmium geaccumuleerd in de grond en circa 15 ton in het grondwater. Het grootste deel van het oppervlak van het gebied (350 km<sup>2</sup>) bezit een cadmiumgehalte in de bouwvoor tussen 1 en 2,5 mg/kg. In een relatief klein gebied van 2,5 km<sup>2</sup> is een cadmiumgehalte in de bouwvoor aanwezig tussen 2,5 en 5,0 mg/kg. Tevens is in het grootste deel van het onderzoeksgebied het zinkgehalte van de bouwvoor verhoogd.

**Actuele situatie** In 1983 vond er in het gehele onderzoeksgebied nog een depositie van cadmium voornamelijk via het regenwater plaats die ongeveer 70 kg groter is dan gemiddeld in de rest van Nederland over eenzelfde oppervlak. Deze verhoogde atmosferische depositie als gevolg van de aanwezigheid van metallurgische industrieën betekent dat er een jaarlijkse verhoging van het cadmiumgehalte van de bouwvoor met  $0,06 \cdot 10^{-2}$  mg/kg plaatsvindt ten opzichte van de rest van Nederland (deze bedraagt 0,24 mg/kg als gevolg van bemesting e.d.). De belasting in het onderzoeksgebied is dus hoger dan gemiddeld in de rest van Nederland en wordt volledig veroorzaakt door atmosferische depositie. Overigens komt er momenteel door bemesting meer cadmium op het land terecht dan als gevolg van depositie, het verschil bedraagt ongeveer 100 kg cadmium voor het totale onderzoeksgebied. De emissies van Budelco zijn voor wat betreft cadmium in de lucht teruggebracht tot minder dan 85 kg per jaar. Budelco stelt een onderzoek in ter verdere beperking van de luchtuitwerp.

De mate waarin het grondwater als gevolg van de diffuse verspreiding van cadmium is verontreinigd en momenteel wordt belast, behoeft nader onderzoek.

De grond en het grondwater worden momenteel nog belast vanuit secundaire cadmiumbronnen die in het onderzoeksgebied aanwezig zijn, te weten de assenwegen en -erven en het slib in de waterlopen.

**Risico's volksgezondheid** Een mogelijke cadmiumopname als gevolg van de aangetroffen verontreiniging vindt hoofdzakelijk plaats via de consumptie van gecontamineerde groenten. De toxische effecten van cadmium zijn op lange termijn zichtbaar na een continue te hoge cadmiumopname. Deze eventuele effecten kunnen blijken uit het medisch onderzoek dat onder een gedeelte van de bevolking plaatsvond. Een incidenteel licht verhoogde cadmiumopname kan derhalve geen toxische effecten met zich meebrengen.

Uit het eerste deel van de verrichte cadmiumopnameberekening blijkt dat de opname van cadmium door groenten wordt beïnvloed door de zuurgraad (pH). Naar aanleiding hiervan is berekend dat diegenen die het grootste deel van hun voedselpakket uit eigen tuin betrekken, 10% kans hebben dat bij een pH kleiner dan 5,0 en een cadmiumgehalte in de bodem van 2,5 mg/kg d.s. de cadmiumopname hoger is dan 400 ug per week (= de ondergrens van de officiële FAO/WHO-norm voor 400-500 ug/week).

Tevens werd voor dezelfde risicogroep berekend dat een kans van 10% bestaat dat bij een pH van meer dan 5,5 en een cadmiumgehalte in de bodem van 10 mg/kg d.s. de cadmiumopname hoger is dan 400 ug per week.

Volgens de landbouwvoorlichtingsdienst vinden er al voor sommige bladgroenten overschrijdingen van de norm plaats vanaf een cadmiumgehalte in de bodem van 1,0 mg en bestaat er al een grote kans op individuele normoverschrijdingen van toegestane gehalten van enkele bladgroenten bij een cadmiumgehalte in de bodem groter dan 1,5 mg/kg d.s. Wanneer de pH van de bodem wordt opgevoerd tot 6,0, wordt dit probleem grotendeels ondervangen. Wanneer het cadmiumgehalte van de bouwvoor boven de 2 mg/kg ligt, wordt door het Consulentenschap van Akkerbouw en Tuinbouw geadviseerd geen consumptiegewassen te telen in verband met mogelijke individuele normoverschrijdingen.

Deze cadmiumconcentraties in de bouwvoor worden gehanteerd in verband met de controle door de Keuringsdienst van Waren van grote partijen groenten. De normering is niet gebruikt voor de cadmiumopnameberekening. Het is immers niet reëel te veronderstellen dat gedurende lange tijd consumptie plaatsvindt van één mogelijk verontreinigd gewas.

## 6.2 Met betrekking tot assenwegen

**Aard en omvang** Als gevolg van het gebruik van assen voor wegverharding is in het onderzoeksgebied naar schatting 200 km assenwegen aanwezig (zie bijlage III-1). Verwacht wordt dat nog niet alle assenwegen bekend zijn. In deze assenwegen is circa 1,5-2,0 ton cadmium verwerkt. De grootste hoeveelheid assen (500.000 ton) is aanwezig op de terreinen van Budelco en KZM en onder de verbindingsweg naar de Zuid-Willemsvaart. Volgens Budelco heeft 250.000 ton assen de fabriekspoort verlaten, waarvan momenteel 40.000 ton assen in de wegen is teruggevonden. In totaal is naar schatting 52 ton cadmium in het milieu aanwezig (in 750.000 ton assen). Op de terreinen van Budelco en KZM bevinden zich naar schatting 35 ton cadmium. De assen bevatten naast 10-40 mg/kg cadmium nog andere zware metalen als bijvoorbeeld zink en arseen. Het cadmiumgehalte van de assen op de terreinen van Budelco en KZM is verhoogd als gevolg van de grote depositiehoeveelheden nabij de fabriek en is gemiddeld 70 mg/kg. Als gevolg van de aanwezigheid van de assenwegen is de oppervlakkige grond tot 1,5 meter aan weerszijden van de weg belast met cadmium (gemiddeld 0,96 mg/kg) en zink (gemiddeld 445 mg/kg). Het grondwater bevat plaatselijk tot 30 meter afstand van de weg nog verhoogde gehalten aan cadmium en zink (tot 61,0 ug/l cadmium en 61.000 ug/l zink).

Actuele situatie Op dit moment wordt vanuit deze secundaire bronnen de grond en het grondwater nog belast met cadmium, zink en sporadisch met andere zware metalen. Deze belasting vindt plaats onder invloed van uitspoeling, verwaaiing, afspoeling of werkzaamheden aan de weg en betreft meer dan 18 kg per jaar. De belasting die mogelijk plaatsvindt vanuit de assen van de fabrieksterreinen van Budelco en KZM is in dit onderzoek niet belicht, alhoewel het vermoeden bestaat dat er een aanzienlijke uitloging plaatsvindt. Momenteel wordt er door de zogenaamde Verlegde Tungelroysebeek ongeveer 100 kg cadmium per jaar afgevoerd, vermoedelijk als gevolg van de uitloging van assen in de nabijheid van deze beek.

Risico's voor wat betreft de risico's voor de volksgezondheid als gevolg van de aangetroffen verontreiniging nabij assenwegen, kan worden gewezen op de mogelijk verhoogde cadmiumopname door de consumptie van verontreinigde gewassen, afkomstig van gecontamineerde grond (zie 6.2). Verhoogde opnames van andere zware metalen zijn eveneens mogelijk. Op sommige plaatsen is, gezien de momenteel bepaalde concentraties die groter zijn dan de EEG-drinkwaternorm van 5 ug/l, er een potentieel risico voor de volksgezondheid aanwezig wanneer dit ondiepe grondwater als drinkwater wordt gebruikt.

### 6.3 Met betrekking tot de waterlopen

Aard en omvang Als gevolg van de lozingen van cadmium door metallurgische industrieën is het slib en het water in met name de Dommel, de Tungelroysebeek, de Neerbeek en de Boschloop verontreinigd met cadmium, zink en sporadisch andere zware metalen (zie bijlage IV-1). Het slib heeft op sommige plaatsen een cadmiumgehalte van meer dan 50 mg/kg d.s. Dieper in het bodemslib kunnen zich hogere concentraties zware metalen bevinden dan in het bovenste gedeelte van de onderwaterbodem. Ook komt er een omgekeerde situatie voor, waarbij de concentraties cadmium dieper in het slib juist afnemen. De totale hoeveelheid met cadmium verontreinigd slib in alle waterlopen in het onderzoeksgebied bedraagt naar schatting 750.000 m<sup>3</sup>. In overstromingsgebieden is tevens een verhoogd cadmiumgehalte van de grond aangetroffen. Door Budelco en KZM is in totaal naar schatting 80 ton cadmium geloosd via de waterfase.

Actuele situatie In 1983 werd er door Budelco nog 25 kg cadmium op de Tungelroysebeek via de waterfase geloosd. De totale cadmiumaanvoer naar de Tungelroysebeek is, indien eenzelfde hydrologisch karakter voor wat betreft de verhouding van cadmiumaan- en afvoer tussen Dommel en Tungelroysebeek wordt verondersteld in eenzelfde orde van grootte als de aanvoer in de Dommel. Door de Tungelroysebeek werd in totaal naar schatting 200 kilogram cadmium afgevoerd naar de Maas.

De Dommel wordt momenteel vanuit België nog belast met ongeveer 1.100 kg cadmium per jaar. Door de RWZI Eindhoven wordt ongeveer 125 kg cadmium op de Dommel geloosd via het effluent.

Naar schatting wordt minder dan 130 kg cadmium (ongeveer 10% van de input) via de Dommel geloosd op de Maas.

Het slib in de beide waterlopen zal in de nabije toekomst voortdurend met cadmium worden belast.

Op dit moment vindt er een belasting van de grond plaats als gevolg van overstromingen, waarbij verontreinigd slib op het land wordt gebracht. Indien baggerwerkzaamheden plaatsvinden, wordt allereerst een controle uitgevoerd op het cadmiumgehalte van het slib, voordat dit op het land wordt gedeponeerd of wordt verplaatst naar elders. Er vindt geen infiltratie plaats van verontreinigd water naar de omgeving. Waarschijnlijk treedt nabij de waterlopen kwel op vanuit het eerste watervoerende pakket, waardoor een verdunning kan ontstaan van het eventueel verontreinigde oppervlakkige grondwater.

Risico's Voor wat betreft de mogelijke risico's voor de volksgezondheid als gevolg van de aangetroffen verontreiniging in of nabij de waterlopen wordt gewezen op de mogelijk verhoogde cadmiumopnamen als gevolg van de consumptie van verontreinigde gewassen afkomstig van gecontamineerde grond.

Indien baggerwerkzaamheden noodzakelijk zijn, zijn er problemen met betrekking tot de berging van het verontreinigde slib.



## 7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 7.1 Algemeen

Naar aanleiding van de onderzoeksresultaten die de aard en omvang van de verontreiniging weergeven, de opgestelde balansen en de toxicologische evaluatie zijn de conclusies geformuleerd.

Een aantal conclusies geven aan waar momenteel met de huidige toekomstverwachtingen als gevolg van de aanwezige verontreinigingen daadwerkelijke risico's voor de volksgezondheid aanwezig zijn.

Op basis van de conclusies zijn een aantal aanbevelingen gedaan.

### 7.2 Conclusies

Uit de vier deelprojecten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. in vergelijking met de vroegere emissies door KZM zijn de emissies van cadmium vanaf 1973 veel lager. Gedurende de laatste 10 jaar heeft Budelco B.V. de emissies bij voortdurende vermindering verlaagd en stelt ook nu nog een onderzoek in ter verdere beperking van deze emissies. Vanuit Limburgs grondgebied is geen bijdrage aan de cadmiumbelasting van het milieu te verwachten. Het bedrijf Philips Maarheeze heeft de emissies van cadmiumhoudende fluorescentiepoeders tot nihil gereduceerd. Vanuit België vindt nog steeds een belasting van het Nederlandse milieu met cadmium plaats via de Dommel en in beperkte mate via de lucht;
2. in het onderzoeksgebied in Nederland is als gevolg van de diffuus verspreide verontreiniging het cadmiumgehalte in de bouwvoor verhoogd ten opzichte van de achtergrondswaarde over een oppervlak van ongeveer 350 km<sup>2</sup> (zie bijlage II-1). Het cadmiumgehalte van de bouwvoor in dit gebied is groter dan 1,0 mg/kg droge stof. In een gebied van 2,5 km<sup>2</sup> is het cadmiumgehalte in de bouwvoor groter dan 2,5 mg/kg droge stof. De B-waarde uit de Leidraad bodemsanering van 5,0 mg/kg wordt als gevolg van de diffuus verspreide cadmiumverontreiniging in het onderzoeksgebied niet overschreden. Zinkgehalten groter dan 500 mg/kg d.s. in de bouwvoor komen voor in een gebied van 2 km<sup>2</sup>. Andere zware metalen als lood en koper komen zeer sporadisch in verhoogde concentraties in de bodem voor.  
In het onderzoeksgebied is als gevolg van de diffuus verspreide verontreiniging ook op een aantal plaatsen een verontreiniging van het ondiepe grondwater door cadmium en zink aanwezig. Er is geen directe relatie aangetoond met het cadmiumgehalte van het ondiepe grondwater en het ter plaatse aanwezige cadmiumgehalte in de bouwvoor;
3. in het gehele onderzoeksgebied is naar schatting minimaal 200 km (voormalige) assenweg aanwezig, van waaruit naar weerszijden van de weg een verontreiniging met cadmium, zink en andere zware metalen plaatsvindt naar de oppervlakkige bodem. Het grondwater en oppervlaktewater (zie bijlage III-1). De assen bevatten naast cadmium en zink andere zware metalen als arseen, koper, lood en antimoon;

4. voor zowel de waterkwaliteit als de slibkwaliteit van de Dommel, de Boschloop, de Tungelroysebeek en de Neerbeek geldt dat er een verontreiniging met cadmium, zink en andere zware metalen aanwezig is, waaronder lood, koper, arseen en in de Dommel in mindere mate kwik en nikkel. Het slib bevat op sommige plaatsen cadmiumconcentraties hoger dan 50 mg/kg d.s.  
In overstromingsgebieden van de Dommel en de Tungelroysebeek is tevens een verontreiniging van de grond met cadmium aangetoond. In het gehele onderzoeksgebied is naar schatting 750.000 m<sup>3</sup> met cadmium verontreinigd slib in de waterlopen aanwezig (zie bijlage IV-1).  
Er vindt geen infiltratie plaats van verontreinigingen naar het grondwater in de nabijheid van beide waterlopen;

Op grond van de resultaten van de deelprojecten met betrekking tot andere zware metalen dan cadmium, zoals die werden aangetroffen in bodem, grondwater en slib, is besloten deze andere zware metalen voor wat betreft de verdere evaluaties buiten beschouwing te laten.

Naar aanleiding van de evaluatie van de onderzoeksresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

5. binnen het kader van dit onderzoek is slechts in beperkte mate aandacht geschonken aan de aantasting van het milieu, gezien het uitermate gecompliceerde karakter van het onderzoek ten aanzien hiervan en het beperkt aanwezig zijn van de kennis omtrent dit onderwerp.  
In het kader van dit nader onderzoek heeft geen veterinair toxicologisch onderzoek plaatsgevonden;
6. een schatting van de Nederlandse emissies binnen het onderzoeksgebied geeft aan dat ongeveer 200 à 300 ton cadmium naar het milieu is afgevoerd. Hiervan wordt ongeveer 50 ton teruggevonden in de bouwvoor en 15 ton in het grondwater. Via lozingen op de Tungelroysebeek is ongeveer 80 ton afgevoerd. In de nu geïnventariseerde assenwegen is naar schatting 2 ton cadmium verwerkt, op en in de terreinen van Budelco/KZM en in het dijklichaam naar de Zuid-Willemsvaart is ongeveer 500.000 ton zinkassen aanwezig, waarin zich ongeveer 35 ton cadmium bevindt. Van de totale assenproductie van 750.000 ton bevindt zich vermoedelijk nog 210.000 ton assen elders. Het grootste deel, ongeveer 200 ton cadmium, is dus nog in het Nederlandse milieu aanwezig.  
Ook in België hebben er aanzienlijke emissies van cadmium plaatsgevonden. Hoeveel hiervan in het Nederlandse milieu is terechtgekomen, is niet bekend;
7. de huidige cadmiumbelasting van de bodem in het onderzoeksgebied is het gevolg van bemesting en atmosferische depositie. De jaarlijkse cadmiumbelasting als gevolg van bemesting bedraagt ongeveer 250 kg, die via atmosferische depositie ongeveer 150 kg. De afvoer van cadmium via het gewas en de verplaatsing naar het grondwater bedraagt tezamen ongeveer 50 kilogram.  
Als gevolg van de atmosferische depositie is de cadmiumbelasting van de bodem in het onderzoeksgebied ongeveer 70 kilogram hoger dan gemiddeld in de rest van Nederland.  
Op dit moment worden vanuit de geïnventariseerde assenwegen jaarlijks nog enkele tientallen kilogrammen cadmium naar het grondwater en de nabije bouwvoor verspreid. Volgens informatie van Budelco zijn er in het onderzoeksgebied nog meer assenwegen aanwezig dan de momenteel geïnventariseerde 200 km.

De huidige cadmiumbelasting van de Dommel bedraagt ongeveer 1.000 kg per jaar. Verwacht wordt dat het slib in de Dommel ook in de nabije toekomst zal worden belast met cadmium. Momenteel wordt er door de Dommel meer cadmium aangevoerd dan er wordt afgevoerd via de Dieze. Op basis van deze tendens kan worden aangenomen dat een hoeveelheid cadmium in dezelfde orde van grootte als in de Dommel ook in de Tungelroysebeek terechtkomt. De lozing door Budelco naar het oppervlaktewater bedraagt gemiddeld 25 kg per jaar. Ongeveer 100 kg cadmium komt in de Tungelroysebeek terecht door uitloging van een gedeelte van de op het terrein aanwezige assen. Er zou derhalve nog een andere aanvoerbron van cadmium kunnen zijn;

8. de zinkassen op en in de terreinen van Budelco/KZM (500.000 ton), in de assenwegen en assenerven (tenminste 40.000 ton) vormen mogelijk een bedreiging voor het milieu en in het bijzonder voor het grondwater dat in deze regio gebruikt wordt voor de bereiding van het drinkwater.

Nabij assenwegen en elders in het onderzoeksgebied is op een aantal locaties een cadmiumconcentratie in het grondwater aangetroffen boven de MTC-waarde voor drinkwater (EEG) van 5 ug/l;

Om tot een inschatting te komen van de risico's voor de volksgezondheid in het gebied, is een modelberekening gemaakt van de cadmiumopname die kan ontstaan als gevolg van consumptie van verschillende groenten die worden verbouwd op een met cadmium verontreinigde bouwvoor. In de opnameberekening is zink buiten beschouwing gelaten, gezien de geringe toxische effecten van zink op de mens bij de aangetroffen concentraties.

Hieruit blijkt het volgende:

9. op plaatsen waar een cadmiumgehalte in de bouwvoor aanwezig is groter dan 2,5 mg/kg en een zuurgraad lager dan 5,0, kan een overschrijding plaatsvinden van de FAO/WHO-norm van een wekelijkse cadmiuminname van 400 ug voor diegenen die het groentepakket voor een groot deel van deze gecontamineerde bouwvoor betrekken. De kans hierop bedraagt 10%. Wanneer de zuurgraad van de bouwvoor groter is dan 5,5, treedt eenzelfde kans op een overschrijding op bij een cadmiumgehalte van 10 mg/kg in de bouwvoor. In een gedeelte van 2,5 km<sup>2</sup> van het totale onderzoeksgebied (350 km<sup>2</sup>) komt een cadmiumgehalte groter dan 2,5 mg/kg in de bodem voor als gevolg van de diffuse verspreiding. Een gebied met een cadmiumgehalte in de bouwvoor van meer dan 10 mg/kg als gevolg van de diffuus verspreide verontreiniging komt in Nederland niet voor. In overstromingsgebieden en nabij assenwegen kan tevens een cadmiumgehalte in de bouwvoor voorkomen, dat groter is dan 2,5 mg/kg.

Bij de opnameberekening van cadmium is de opname door spelende kinderen, die grond in de mond steken, niet meegenomen. Het element cadmium heeft geen acuut toxische effecten, maar kan bij langdurige blootstelling negatieve effecten hebben op met name de nieren bij een te hoge belasting. De genoemde opname via de mond vindt slechts plaats gedurende de eerste levensjaren en is tevens seizoensgebonden. Eventuele toxische effecten als gevolg hiervan kunnen daarom worden verwaarloosbaar geacht worden;

Door het Consulentenschap voor Akkerbouw en Tuinbouw te Tilburg worden adviezen gegeven met betrekking tot de teelt van gewassen. Dit wordt gedaan met het oog op de kwaliteitscontrole die door de Keuringsdienst van Waren wordt verricht op grote partijen gewassen die door beroepstellers worden aangeboden.

Uit deze praktijk blijkt het volgende:

10. indien het cadmiumgehalte in de bouwvoor groter dan 1,0 mg/kg is, kunnen voor bepaalde bladgroenten al overschrijdingen plaatsvinden van de toegestane cadmiumconcentraties in de afzonderlijke gewassen. Er bestaat een grote kans op individuele normoverschrijdingen van enkele gewassen zoals sla en andijvie en daarmee op afkeuring van de aangeboden partij, indien het cadmiumgehalte van de bouwvoor groter is dan 1,5 mg/kg. Wanneer het cadmiumgehalte boven de 2,0 mg/kg ligt, wordt door het Consulentenschap Akkerbouw en Tuinbouw te Tilburg geadviseerd geen consumptiegewassen te telen (onafhankelijk van de pH van de bouwvoor). Deze waarden worden niet gebruikt voor een toetsing van de cadmiumopname, omdat het immers niet logisch is te veronderstellen dat er gedurende lange tijd een consumptie plaatsvindt van één groentesoort die mogelijk een te hoog cadmiumgehalte bezit.

### 7.3 Aanbevelingen

Met betrekking tot de conclusies worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- met betrekking tot de fabrieksterreinen van Budelco en KZM wordt aanbevolen een onderzoek te doen naar de uitloging van de daar aanwezige assen en de effecten daarvan op de grondwaterkwaliteit. Gezien de daar aanwezige cadmiumhoeveelheid (afkomstig van 500.000 ton kelderassen) is een belasting van het grondwater en indirect de Tungelroysebeek en gedeeltelijk de Boschloop door uitloging van deze assen niet uitgesloten;
- een nader onderzoek zal de kwaliteit en verspreiding van het ondiepe en diepere grondwater in het onderzoeksgebied moeten belichten. Hierbij zal de invloed van kwel- en infiltratiegebieden moeten worden bekeken;
- er wordt een onderzoek aangeraden met betrekking tot de grondwaterkwaliteit en de verspreiding van aanwezige verontreinigingen nabij assenwegen.  
Hierbij zal tevens de uitloogbaarheid van de assen moeten worden onderzocht om een mogelijke verspreiding van verontreinigingen in de toekomst te kunnen voorspellen;
- er wordt aanbevolen geen slib te baggeren voordat er een kwaliteitscontrole van het slib is uitgevoerd, waarbij een analyse op met name cadmium zal moeten plaatsvinden;
- om een beeld te krijgen van de plaatsen waar mogelijk een te hoge cadmiumopname plaatsvindt als gevolg van de consumptie van verontreinigde groenten wordt aanbevolen een inventarisatie te maken van volkstuincomplexen en particuliere tuinen. Dit zal moeten geschieden in het gebied waar als gevolg van de diffuus verspreide verontreiniging een cadmiumgehalte in de bouwvoor aanwezig is dat groter is dan 2,5 mg/kg (nabij Budel en Luyksgestel). Er zal tevens een inventarisatie gemaakt kunnen worden van tuinen nabij assenwegen en overstromingsgebieden van Dommel en Tungelroysebeek;

- op grond van de mogelijke normoverschrijding van cadmiumconcentraties van enkele bladgroenten wordt aangeraden een teeltadvies bij het Consulentenschap voor Akkerbouw en Tuinbouw in te winnen, indien het cadmiumgehalte in de bouwvoor groter is dan 1,0 mg/kg. Dit teeltadvies kan worden gegeven aan diegenen die grote partijen van een bladgroentesoort telen voor de verkoop aan consumenten of aan de veiling, opdat er geen problemen ontstaan bij een kwaliteitskeuring door de Keuringsdienst van Waren;
- er is in dit onderzoek niet direct aangetoond dat de emissies die momenteel in België plaatsvinden een risico voor de volksgezondheid in het Nederlandse onderzoeksgebied opleveren. Gezien de berekende neerslaghoeveelheden van cadmium in het Nederlandse onderzoeksgebied, moeten deze industrieën wel, vanuit Nederland althans, als aandachtspunten worden beschouwd;
- gezien de grote grensoverschrijdende cadmiumbelasting, met name via het oppervlaktewater, vanuit België, zal internationaal overleg moeten plaatsvinden om deze belasting te pogen terug te dringen.

Aanbevolen wordt om aan de volgende punten aandacht te blijven schenken, gezien het potentiële gevaar voor de volksgezondheid of het milieu:

- de huidige emissie van Budelco naar lucht bedraagt (minder dan) 85 kg cadmium per jaar:  
Deze uitwerpen worden momenteel door Budelco zelf nog onderzocht. De lozing naar het oppervlaktewater bedraagt gemiddeld 25 kg cadmium per jaar. Als gevolg van uitloging van assen rond de Verlegde Tungelroysebeek wordt nog ongeveer 100 kg cadmium naar de Tungelroysebeek afgevoerd. Op grond hiervan en op grond van het feit dat het element cadmium in deze metallurgische industrie in het geding is, behoren de activiteiten van Budelco tot een van de blijvende aandachtspunten in het onderzoeksgebied;
- omdat er van de zuiveringsinstallatie nabij Eindhoven nog steeds cadmium in het effluent dat wordt geloosd aanwezig is (ongeveer 125 kg per jaar), kan de regio Eindhoven als een van de aandachtspunten worden gezien.

## 8. OPLOSSINGSRICHTINGEN

Uiteindelijk resulteren de onderzoeksresultaten in een definitieve aanduiding van de knelpuntgebieden, waarna via een normstelling en bepaling van regionale belangen de prioriteiten voor het nemen van bodemsaneringsmaatregelen gesteld kunnen worden.

De bodemsaneringsmaatregelen dienen hier in ruime zin te worden opgevat. Er kunnen zowel technische als meer organisatorische of disciplinaire maatregelen getroffen worden om de nadelige gevolgen van de bodemverontreiniging ongedaan te maken of te beperken.

De keuze van de combinatie van maatregelen zal mede bepaald worden door de technische mogelijkheden en uitvoerbaarheid, de neveneffecten op het welzijn van de bevolking, de effectiviteit van de maatregelen en de financiële mogelijkheden.

Het is belangrijk om bij de feitelijke uitvoering van de saneringsmaatregelen, maar ook bij de keuze ervan, een nauwe samenwerking tussen alle betrokken instanties te waarborgen.

Uit de gevolgde analyse van onderzoeksresultaten is gebleken dat de knelpuntgebieden onder andere worden bepaald door teeltactiviteiten in het gebied, terwijl de belangen ter bepaling van de urgentie voor het nemen van maatregelen tevens blijken uit de woonaspecten en economische aspecten.

Aan de hand van deze beschouwingen wordt een eerste aanzet van mogelijke bodemsaneringsmaatregelen gegeven, welke in een saneringsonderzoek en studie een uitgangspunt en een handreiking dient te zijn om tot een pakket van saneringsalternatieven te komen van waaruit een keuze gemaakt zou kunnen worden.

- Met betrekking tot de hoeveelheid zinkassen op en in de terreinen van Budelco/KZM kon worden gedacht aan beheersmaatregelen als het afpompen van grondwater of het plaatsen van hydrologische schermputten of damwanden.
- In gebieden waar het cadmiumgehalte van de bouwvoor groter is dan 2,5 mg/kg, dient de pH van de bodem groter dan 5,0 te zijn om een te hoge cadmiumopname als gevolg van consumptie van ter plaatse geteelde gewassen te voorkomen.  
Er zou dus, na pH-bepaling, een bekalkingsadvies kunnen worden gegeven voor de betreffende bodem. Tevens zou een teeltadvies kunnen worden gegeven.  
Het gebied met een cadmiumgehalte in de bouwvoor tussen 2,5 en 10 mg/kg en een pH groter dan 5,5, is blijvende aandacht gewenst.  
In dit gebied zou een controle van de pH van de bodem moeten plaatsvinden, opdat geen normoverschrijdingen van de wekelijkse cadmiumopname kunnen plaatsvinden.  
In gebieden waar het cadmiumgehalte groter is dan 10 mg/kg, zal een pH-verhoging tot boven 5,5 niet voldoende effect hebben op de terugdringing van de cadmiumopname (in Nederland niet van toepassing).  
Hier zal moeten worden overgegaan tot sanering van de verontreinigde bouwvoor of verandering van bestemming.  
Een dergelijke oplossingsrichting als bekalking kan worden toegepast nabij assenwegen en overstromingsgebieden, waar verhoogde cadmiumgehalten voorkomen en in het gebied van 2,5 km<sup>2</sup>, wat ten gevolge van de diffuse verontreiniging een cadmiumgehalte bevat groter dan 2,5 mg/kg.

Tevens kan een verandering van bestemming of het elders aanwijzen van moestuincomplexen een oplossing zijn voor de gebieden, waar teeltactiviteiten een probleem opleveren in verband met een te hoog cadmiumgehalte in de bouwvoor.

- Wanneer wordt besloten om verontreinigd slib uit waterlopen uit te baggeren, bestaat de mogelijkheid om d.m.v. een fysisch scheidingsstelsel een opsplitsing te maken in een concentraat en een grote fractie minder verontreinigd slib. Het is hierbij wel noodzakelijk te weten hoe de verontreinigingen over de (zeef)fracties verdeeld zijn.  
De methode kan behalve als definitieve saneringsmethode ook gebruikt worden om een grove splitsing in te behandelen slib (met eventueel tussenfase van opslag) en te gebruiken slib aan te brengen. Civieltechnische isolatie blijft in principe ook een saneringsalternatief.
- Om depositie van verontreinigd slib in het Nederlandse milieu te voorkomen, kunnen extra zandvangsters in de verontreinigde waterlopen in België worden geplaatst, waaruit het verontreinigde slib kan worden verwijderd. Een en ander zal via internationaal overleg moeten worden bereikt.
- Het lijkt zinvol om in sommige overstromingsgebieden van de Dommel en Tungelroysebeek geen groenten voor consumptie te verbouwen, gezien de veelal te hoge cadmiumgehalten in de bouwvoor aldaar aangetroffen.  
Indien er een dergelijke teelt van gewassen wel plaatsvindt, zal tot maatregelen moeten worden overgegaan, hetgeen betekent een bekalking of een onderzoek van het bouwland. Een nader inventarisatie-onderzoek zal de volkstuinen in deze overstromingsgebieden moeten aantonen.
- Met betrekking tot de huidige cadmiumbelasting van de bouwvoor bestaat de mogelijkheid geen meststoffen met een relatief hoog cadmiumgehalte meer aan de bodem toe te voegen.

Literatuurlijst

1. Endedijk, G.J. & H.G. Klein Ikking, 1984. Oecotoxicologische effecten van assenwegen in de Brabantse Kempen, Doctoraal verslag Vrije Universiteit
2. Beltman c.s., januari 1985. Onderzoek naar de horizontale verspreiding van zink en cadmium rond een zinkassenweg. Onderzoek milieuprobleemanalyse, LH Wageningen
3. Gifmemo no. 5, december 1984, BNF, Zuidoost-Brabant
4. Cadmiumverontreiniging in De Kempen, maart 1984, Directie Landbouw en Voedselvoorziening Tilburg
5. The problem of cadmium toxicity Addendum I to NR/ENV/73.7, EEG
6. Drs. De Voogt, P en Drs. Van Hattum, B (1981) Cadmiumexpositie en dagelijkse opname in Nederland, T. Soc. Geneesk. 59 (1981) nr. 11
7. De Vos, R.H. en Van Dokkum, W. (1978); Vreemde stoffen in het voedsel TNO-project 6 (1978)
8. Ing. Luit, B. (1984) Cadmiumopname door gewassen, IB Haren
9. Page e.a. (1972) Cadmium uptake, Journal of Environmental Quality, vol. 1 no. 3, 1972, p. 288-291
10. Beschrijving van een milieutechnisch onderzoek naar verontreiniging van bodem, inclusief grond- en oppervlaktewater op het terrein van de "Weerterbergen" te Weert, TAUW
11. KNMI, RIVM: chemical composition of precipitation over the Netherlands: Annual report 1983, ISSN 0169-1759
12. Instituut voor hygiëne en epidemiologie, Werkgroep Zware Metalen Noord-Limburg, subgroep lucht, 1e jaarrapport, 1984
13. Cadmium in het milieu, Kamerstuk 18364 nrs. 1-2, Tweede Kamer, vergaderjaar 1983-1984
14. Albasel, N. en Cottenie, A.; Heavy Metals Uptake from Contaminated Soils as affected by Peat, Lime and Chelates, soil sci. soc. Am. J. vol. 49, pp. 386-390, 1985
15. Martini, J.A. and Mutters, R.G.; Effect of lime rates on nutrient availability, mobility and uptake during the soybean growing season: 2, calcium, magnesium, potassium, iron, copper and zink, Soil science, vol. 139, no. 4, pp. 333-343, 1985
16. Davies, O.L. and Goldsmith, P.L.; Statistical methods in research and production (pp. 208-209), 4th. Ed. 1980, Longman Group Ltd., Londen
17. Mobiliteit van cadmium in de bodem. Reeks bodembescherming nr. 36, Staatsuitgeverij Den Haag



18. Henkens, C.H. de Buffer, CAD bodemaangelegenheden in de landbouw, 29e jaargang, no. 1, januari 1983
19. Paul, D.G., Somers, J.A., Scholte Ubing, D.W. (1981), Belasting van de bodem in Nederland met zware metalen, De Ingenieur 93, p. 15-19

Bijlage 1

Toetsingstabel voor de beoordeling van de concentratieniveaus van diverse verontreinigingen in de bodem

Indicatieve richtwaarden: A - referentiewaarde

B - toetsingswaarde t.b.v. (nader) onderzoek

C - toetsingswaarde t.b.v. sanering(-sonderzoek)

Voorkomen in:	Grond (mg/kg droge stof)			Grondwater (ug/l)		
	A	B	C	A	B	C
<b>I. Metalen</b>						
Cr	100	250	800	20	50	200
Co	20	50	300	20	50	200
Ni	50	100	500	20	50	200
Cu	50	100	500	20	50	200
Zn	200	500	3.000	50	200	800
As	20	30	50	10	30	100
Mo	10	40	200	5	20	100
Cd	1	5	20	1	2,5	10
Sn	20	50	300	10	30	150
Ba	200	400	2.000	50	100	500
Hg	0,5	2	10	0,2	0,5	2
Pb	50	150	600	20	50	200
<b>II. Anorganische verontreinigingen</b>						
NH <sub>4</sub> (als N)	-	-	-	200	1.000	3.000
F (totaal)	200	400	2.000	300	1.200	4.000
CN (totaal-vrij)	1	10	100	5	30	100
CN (totaal-complex)	5	50	500	10	50	200
Sulfide (totaal)	2	20	200	10	100	300
Br (totaal)	20	50	300	100	500	2.000
PO <sub>4</sub> (als P)	-	-	-	50	200	700
<b>III. Aromatische verbindingen</b>						
benzeen	0,01	0,5	5	0,2	1	5
ethylbenzeen	0,05	5	50	0,5	20	60
tolueen	0,05	3	30	0,5	15	50
xylenen	0,05	5	50	0,5	20	60
fenolen	0,02	1	10	0,5	15	50
aromaten (totaal)	0,1	7	70	1	30	100

Voorkomen in:	Grond (mg/kg droge stof)			Grondwater (ug/l)		
	A	B	C	A	B	C
<b>IV. Polycyclische koolwaterstoffen</b>						
naftaleen	0,1	5	50	0,2	7	30
anthraceen	0,1	10	100	0,1	2	10
fenanthreen	0,1	10	100	0,1	2	10
fluorantheen	0,1	10	100	0,02	1	5
pyreen	0,1	10	100	0,02	1	5
benzo(a)pyreen	0,05	1	10	0,01	0,2	1
pck's (totaal)	1	20	200	0,2	10	40
<b>V. Gechloreerde koolwaterstoffen</b>						
alifatische chloor-kwst (indiv.)	0,1	5	50	1	10	50
alifatische chloor-kwst (totaal)	0,1	7	70	1	15	70
chloorbenzenen (indiv.)	0,05	1	10	0,02	0,5	2
chloorbenzenen (totaal)	0,05	2	20	0,02	1	5
chloorfenolen (indiv.)	0,01	0,5	5	0,01	0,3	1,5
chloorfenolen (totaal)	0,01	1	10	0,01	0,5	2
chloorpck's (totaal)	0,05	1	10	0,01	0,2	1
PCB's (totaal)	0,05	1	10	0,01	0,2	1
EOCl (totaal)	0,1	8	80	1	15	70
<b>VI. Bestrijdingsmiddelen</b>						
org. chloor- (indiv.)	0,1	0,5	5	0,05	0,2	1
org. chloor- (indiv.)	0,1	1	10	0,1	0,5	2
pesticiden (totaal)	0,1	2	20	0,1	1	5
<b>VII. Overige verontreinigingen</b>						
tetrahydrofuran	0,1	4	40	0,5	20	60
pyridine	0,1	2	20	0,5	10	30
tetrahydrothiofeen	0,1	5	50	0,5	20	60
cyclohexanon	0,1	6	60	0,5	15	50
styreen	0,1	5	50	0,5	20	60
benzine	20	100	800	10	40	150
minerale olie	100	1.000	5.000	20	200	600

\* de concentraties dienen te worden beschouwd in samenhang met het gebruik van de bodem en de lokale verontreinigingssituatie

De tabel is overgenomen uit de Leidraad bodemsanering, afl. 1, juli 1983

## Bijlage 2

### Berekeningen cadmiumbalans

Nogmaals wordt gesteld dat in deze berekeningen tal van aannamen zijn gedaan. Deze aannamen zijn gebaseerd op grond van de best beschikbare gegevens. De gevonden waarden zijn daarom geen exacte waarden doch geven slechts de orde van grootte weer, enkele kilogrammen, honderden kilogrammen, tonnen etc.

#### 2.1 Cadmiumaanvoer in periode 1893 tot 1953:

877.437 ton erts x 0,174% = 1.530 ton cadmium  
70.879 ton geroost erts x 0,1% = 70,9 ton cadmium  
59.501 ton calamines x 0,05 % = 29,8 ton cadmium  
140.440 ton zinkassen x 0,08% = 112,4 ton cadmium

Voor de periode van 1912 tot 1923 zijn geen ertsverbruikcijfers bekend, dus afgeleid uit zinkproduktie:

zinkproduktie 126.481 ton x  $\frac{100}{88}$  (verlies is 12%) = 143.728 ton

ervan uitgaande dat het zinkgehalte in het erts 50% is, betreft het dus een ertshoeveelheid van  $\frac{100}{50}$  x 143.729 = 287.456 ton.

Het cadmiumgehalte is 0,1%, dus in totaal 290 ton.

In deze periode van 1912 tot 1923 werd 200.000 ton van het ruwe erts ingezet als pletbaar erts met een cadmiumconcentratie van minder dan 0,1% (ca. 200.000 ton x 0,074%) = 150 t.

De totale cadmiumaanvoer in periode 1893 tot 1953 is dus 1.880 ton.

#### Voor de periode van 1953 tot 1973

988.849 ton geroost erts x 0,174% = 1.720 ton cadmium  
303.399 ton zinkassen/oxyden x 0,08% = 242,7 ton  
Totaal dus: 1.960 ton.

Via produktiecijfers:

zinkproduktie in periode 1944-1952 = 110.132 ton zink verlies was toen 8%,

dus  $\frac{100}{92}$  x 110.132 ton = 119.708,7 ton

afkomstig van ertshoeveelheid van  $\frac{100}{50}$  x 119.708,7 ton = 239.417,4 ton.

Dus cadmiumaanvoer was 0,174% x 239.417,4 = 417 ton.

De totale cadmiumproduktie in de periode 1953 tot 1975 is dus 2.379 ton.

Afgerond: 2.380 ton

#### Voor de periode van 1974 tot 1984

Door Budelco werd berekend dat van 1974 t/m 1984 5.960 ton cadmium is aangevoerd, gebaseerd op werkelijk gemeten concentraties.

2.2 Cadmiumhoeveelheid in de grond

Oppervlakte verontreinigd gebied: 165 km<sup>2</sup> (ten noordoosten van Budelco),

waarvan 80 km<sup>2</sup> verhoogd met  $\frac{1,0 - 0,5}{2}$  mg = 0,25 mg/kg d.s.

waarvan 80 km<sup>2</sup> verhoogd met  $\frac{1,0 + 2,5}{2} - 0,5 = 1,25$  mg/kg d.s.

5 km<sup>2</sup> verhoogd met  $\frac{2,5 + 5,0}{2} - 0,5 = 3,25$  mg/kg d.s.

(achtergrondswaarde = 0,5 mg/kg d.s.)

soortelijk gewicht bodem = 1.200 kg m<sup>3</sup>

verontreinigde diepte (bemonsteringsdiepte) = 0,30 m

In totaal verontreinigd:

$80 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 0,3 \text{ m} \times 1.200 \text{ kg} \times \text{m}^{-3} \times 0,25 \text{ mg/kg} = 7.200 \text{ kg}$

$80 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 0,3 \text{ m} \times 1.200 \text{ kg} \times \text{m}^{-3} \times 1,25 \text{ mg/kg} = 36.000 \text{ kg}$

$4 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 0,3 \text{ m} \times 1.200 \text{ kg} \times \text{m}^{-3} \times 3,225 \text{ mg/kg} = 4.680 \text{ kg}$

Totaal 47.880 kg

wordt gesteld op ongeveer 50 ton.

2.3 Cadmiumhoeveelheid in grondwater

Neerslagoverschot 250 mm/jaar.

Gemiddeld cadmiumgehalte grondwater: 3 ug/l ( $3 \cdot 10^{-9}$  kg/l).

Gedurende 100 jaar. Grootte van het gebied 165 km<sup>2</sup>.

Totale neerslaghoeveelheid 100 jaar:

$165 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \times 100 \text{ jaar} \times 0,25 \text{ m/jaar} = 4.125 \times 10^6 \text{ m}^3 = 4.125 \times 10^9$   
liter

$4.125 \times 10^9 \text{ l} \times 3 \cdot 10^{-9} \text{ kg.l}^{-1} = 12.375 \text{ kg}$

wordt gesteld op ongeveer 15 ton.

2.4 Cadmiumhoeveelheid in de assen

Totale hoeveelheid assen door Budelco geleverd: 750.000 ton.

Gemiddeld cadmiumgehalte in assen: 70 mg/kg (op terrein).

Aanwezig in assen op het terrein:  $500.000 \times 10^3 \text{ kg} \times 70 \times 10^{-6} \text{ kg/kg} = 35 \times 10^3 \text{ kg}$ .

Geproduceerd in assen:  $710.000 \times 10^3 \text{ kg} \times 70 \times 10^{-6} \text{ kg/kg} = 49,7 \times 10^3$   
kg cadmium, geproduceerd in assen (assenwegen)  $40.000 \times 10^3 \text{ kg} \times 40 \times 10^{-6} \text{ kg/kg} = 1.600 \text{ kg}$  cadmium.

Totaal:  $51,3 \times 10^3 \text{ kg}$ .

Afgerond op 52 ton.

Actuele cadmiumbalans (1983)

2.5 Belasting grond naar aanleiding van werkzaamheden nabij assenweg

In twee van de 8 gevallen is er sprake van een abnormaal hoog gehalte in de bodem op 6 m afstand van de weg. Gesteld wordt dat in werkelijkheid in 1 van de 8 gevallen deze gehalten optreden. Het gemiddeld cadmiumgehalte is 12 mg/kg in de bouwvoor van 0,3 meter diepte (soortelijk gewicht = 1.200 kg/m<sup>3</sup>).

## Vervolg bijlage 2

Totaal cadmium voor 200 kilometer weg: =  $6 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 1.200 \text{ kg m}^{-3} \times 12 \times 10^6 \text{ kg/kg} \times 0,125 \text{ (achtste deel)} \times 200.000 \text{ m} = 648 \text{ kg}$ .

Over een periode van 35 jaar betekent dit minimaal 18 kg cadmium per jaar.

### 2.6 Belasting grond naar aanleiding van verspoeling of verwaaiing vanaf assenweg

3 meter aan weerszijden van de weg is met 0,5 mg cadmium per kg verhoogd. Voor 200 km assenweg geldt:

$200 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m (diepte bouwvoor)} \times 1.200 \text{ kg.m}^{-3} = 144.10^6 \text{ kg}$ , dus in totaal 72 kg cadmium dat is verspreid in een periode van  $\pm 50$  jaar. Dus ongeveer 1,5 kg per jaar. Voor 1 m assenweg dus 8 mg cadmium.

Dit is voor een zone van 1,5 m aan een kant van de weg (diepte 0,2 m) ongeveer 0,02 mg/kg/jaar.

### 2.7 Aanvoer cadmium in de Dommel

Gebaseerd op waarnemingen te Borkel Schaft en Valkenswaard in '83 en '84 wordt de totale cadmium aanvoer via de waterfase vanuit België geschat op 3 kg per dag.

Dit is zo'n 1.100 kg per jaar.

### 2.8 Belasting milieu aan weerszijden waterlopen

De schatting die hier is gemaakt berust op een aantal aannamen die in sterke mate de uiteindelijke uitkomst sterk kunnen beïnvloeden.

Uit deelrapport IV bleek dat het gemiddeld cadmiumgehalte in het overstromingsgebied van de Dommel  $22 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Gesteld dat er een overstroming plaatsvindt over een zone van  $30 \times 300$  meter ( $10.000 \text{ m}^2$ ) levert voor 10 overstromingsplaatsen een totaal overstromd oppervlak van  $100.000 \text{ m}^2$  op.

Het cadmiumgehalte bedraagt  $22 \text{ mg/kg}$  in de bovenste 30 cm. In totaal is dus  $792 \text{ kg}$  cadmium door overstromingen op het land terecht gekomen. Dit is een depositie van ongeveer  $10 \text{ kg}$  per jaar. Gesteld wordt dat in de orde van grootte van enkele tientallen kilogrammen per jaar worden gedeponerd op de oevers van de Dommel.

Voor de Tungelroysebeek kan eenzelfde type berekening worden opgesteld. Gesteld dat er 10 overstromingsplaatsen voorkomen met een gemiddeld oppervlak van  $7.500 \text{ m}^2$ . Het gemiddeld cadmiumgehalte bedraagt  $11 \text{ mg/kg}$ . Dus in totaal  $75.000 \text{ m}^2 \times 0,30 \text{ m} \times 1.200 \text{ kg/m}^3 \times 11 \text{ mg/kg} = 322 \text{ kg}$  cadmium. Dus geldt voor een periode van 80 jaar dat en per jaar  $3,7 \text{ kg}$ , dus enkele kilogrammen cadmium op de oevers van de Tungelroysebeek worden gedeponerd.

### 2.9 Afvoer via de waterfase uit de Tungelroysebeek

Het gemeten cadmiumgehalte in de Neerbeek nabij Hanssum bedraagt 3,2 ug/l (waarneming oktober 1984 WZL). Het gemiddelde gehalte in de beek bedraagt 3,8 ug/l.

Wanneer het debiet wordt gesteld op 2 m<sup>3</sup>/s (waarneming Limburg 1973), is de totale cadmiumvracht die de Tungelroysebeek verlaat:

$3.600 \text{ s} \times 24 \times 365 \times 2 \text{ m}^3/\text{s} \times 3,2 \cdot 10^{-9} \text{ kg/l} \times 10^3 \text{ kg/m}^3 = 198 \text{ kg}$  (is ongeveer 200 kg cadmium).

### 2.10 Aanvoer via diffuse verspreiding

Volgens waarnemingen uit het landelijk meetnet regenwatersamenstelling van KNMI en RIVM (van 1983) blijken onder andere de volgende jaarlijkse cadmiumdeposities voor te komen (voornamelijk natte deposities):

- gemiddelde depositie in Nederland: 237 ug/m<sup>2</sup> (in 1983);
- gemiddelde depositie in Eindhoven: 415 ug/m<sup>2</sup>;
- gemiddelde depositie in Noorden van Nederland: 192 ug/m<sup>2</sup> (gemiddelde van Leeuwarden, Witteveen, Lelystad en Twente);
- maximale depositie in Eindhoven: 1453 ug/m<sup>2</sup>;
- gemiddelde maximale depositie in Noorden van Nederland: 505 ug/m<sup>2</sup> (gemiddelde van Leeuwarden, Witteveen, Lelystad en Twente).

Uit het onderzoek van LISEC (zie lit. 12) blijkt dat er nabij de Nederlands-Belgische grens ongeveer 2 x zoveel cadmiumdepositie (natte + droge depositie) is als in een referentiegebied te Bokrijk. Wanneer verondersteld wordt dat het referentiegebied vergelijkbaar is met de gemiddelde depositie in Nederland in 1983 van 237 mg/m<sup>2</sup>, betekent dit dat nabij de grens ongeveer 474 ug/m<sup>2</sup> in 1983 is terechtgekomen.

Wanneer verondersteld wordt dat het gehele onderzoeksgebied 350 km<sup>2</sup> groot is, bedraagt de totale jaarlijkse gemiddelde depositie in Nederland (op 350 km<sup>2</sup>) = 83 kg.

De totale jaarlijkse gemiddelde depositie in onderzoeksgebied wordt berekend voor twee oppervlakken: nabij de grenszone en ten zuiden van Eindhoven.

In de grenszone (op 1-1½ km afstand van de grens) is de cadmiumdepositie verhoogd tot 474 ug/m<sup>2</sup>. Gesteld wordt dat deze waarden worden aangetroffen in een strook 2 km ten noorden van de grens (lengte 50 km). Dan geldt voor de gemiddelde depositie in de grensstrook:  
 $474 \text{ ug/m}^2 \times 100 \text{ km}^2 = 47,4 \text{ kg}$  per jaar.

In een gebied van 250 km<sup>2</sup> waar de gemiddelde depositie van de gemeente Eindhoven plaatsvindt is de totale depositie in dit gehele gebied gemiddeld minimaal:  $250 \text{ km}^2 \times 415 \text{ ug/m}^2 = 103,8 \text{ kg}$ .

De totale depositie bedraagt dan  $47,4 + 103,8 = 151,2 \text{ kg}$  cadmium in 1983.

Dat is  $151,2 - 83 = 68 \text{ kg}$  meer dan gemiddeld in de rest van Nederland terechtkomt.

### 2.11 Cadmiumtoename bouwvoor na 100 jaar

$68 \text{ kg}$  op  $350 \text{ km}^2 = 0,194 \text{ kg/km}^2$

$1 \text{ km}^2 = 10^6 \text{ m}^2 \times 0,25 \text{ m} \times 1.200 \text{ kg/m}^3 = 300 \cdot 10^6 \text{ kg}$ ,

dus  $0,194 : 300 \cdot 10^6 = 0,647 \cdot 10^{-9} \text{ kg cadmium/kg grond} = 0,647 \cdot 10^{-3} \text{ mg/kg}$ , is ongeveer  $0,6 \cdot 10^{-3} \text{ mg/kg}$  (na 100 jaar: 0,06 mg/kg).

Voor alle figuren geldt:

- op de x-as is weergegeven het cadmiumgehalte in de bouwvoor;
- op de y-as is weergegeven het cadmiumgehalte in de ondergenoemde groentesoort;
- $y = a + b \cdot x$  is de regressievergelijking van de relatie (altijd de middelste van de 5 gepresenteerde lijnen), waarbij:

a = y-intercept

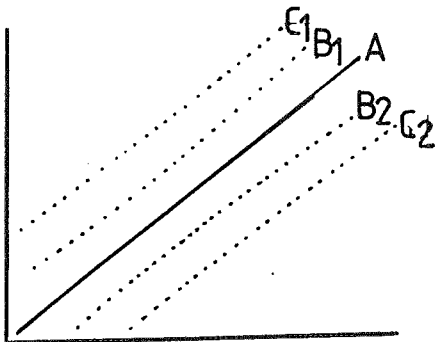
b = richtingscoëfficiënt.

- $S_0$  = fout in y-intercept;
- $S_1$  = fout in richtingscoëfficiënt;
- NN = totale steekproefgrootte;
- N = aantal waarnemingen in pH-traject;
- n = aantal waarnemingen in figuur gepresenteerd.
- N-n = aantal weggelaten waarnemingen vanwege onbetrouwbaarheid a.g.v. foutieve analyse e.d.;
- $\Delta$ : pH-traject van gepresenteerde waarnemingen (pH (KCl));
- interval 80%: betrouwbaarheidsinterval van waarnemingen, gebieden tussen B-lijnen of C-lijnen;
- aanduiding groentesoort rechtsonder.

In alle figuren zijn 5 lijnen gepresenteerd (zie voorbeeld).

De middelste lijn (A): de regressielijn met vgl.  $y = a + b \cdot x$ .

Deze lijn geeft het gemiddelde cadmiumgehalte van de groentesoort weer bij een bepaald cadmiumgehalte van de bouwvoor.



Voorbeeld-figuur

De twee lijnen aangeduid met B zijn de foutenlijnen van de toegepaste regressie-analyse op de ingevoerde waarden. Deze fout is zowel voor x als y bepaald.

De kans bedraagt 80% dat het gemiddelde cadmiumgehalte van een groentesoort tussen deze lijnen ligt. De kans bedraagt dus 20% : 2 = 10% dat het gemiddelde cadmiumgehalte van de plant groter is dan aangegeven door de lijn B1. De twee lijnen aangeduid met C zijn de foutenlijnen van een voorspelling van nieuwe, nog niet ingevoerde waarden.

De kans bedraagt 80% dat het cadmiumgehalte van één stuks groente (bijvoorbeeld van 1 enkele prei) tussen deze lijnen ligt.

En de kans bedraagt 10% dat die ene prei een hoger cadmiumgehalte bezit dan wordt aangegeven door de lijn C1.



Vervolg bijlage 3

Op sommige grafieken is een y-intercept aanwezig. Dit wordt veroorzaakt doordat de helling van de lijn in sterke mate wordt beïnvloed door de hogere cadmiumconcentraties in de bodem. Indien er in dat gebied meer waarnemingen zouden zijn, zou deze lijn eerder door de oorsprong hebben gelegen. Aan een eventueel y-intercept kunnen geen conclusies worden verbonden over het cadmiumgehalte in de plant, wanneer het cadmiumgehalte in de bodem nul is.

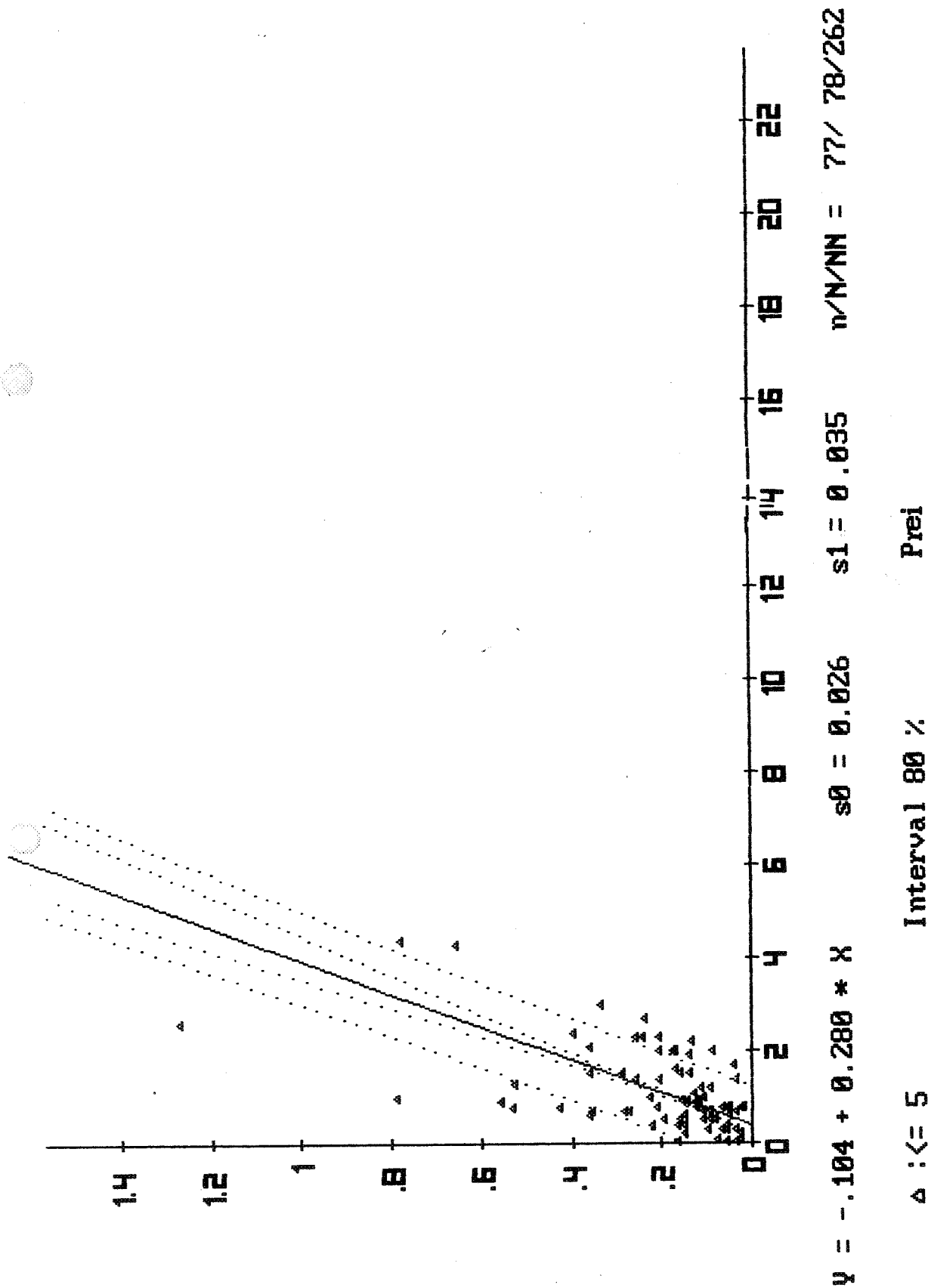
Aan de berekeningen ligt ten grondslag:

Statistical Methods in Research and Production (pp. 208-209)

- with special reference to the chemical Industry.

O.L. Davies and P.L. Goldsmith, 4th. Ed., 1980, Longman Group Ltd., London.

Alle berekeningen zijn uitgevoerd door het LISEC (Studiecentrum voor Ecologie en Bosbouw B-3600 Bokrijk-Genk, België, tel. (011)362791)).



Staalnr

296

pH

4.9

Cd bodem

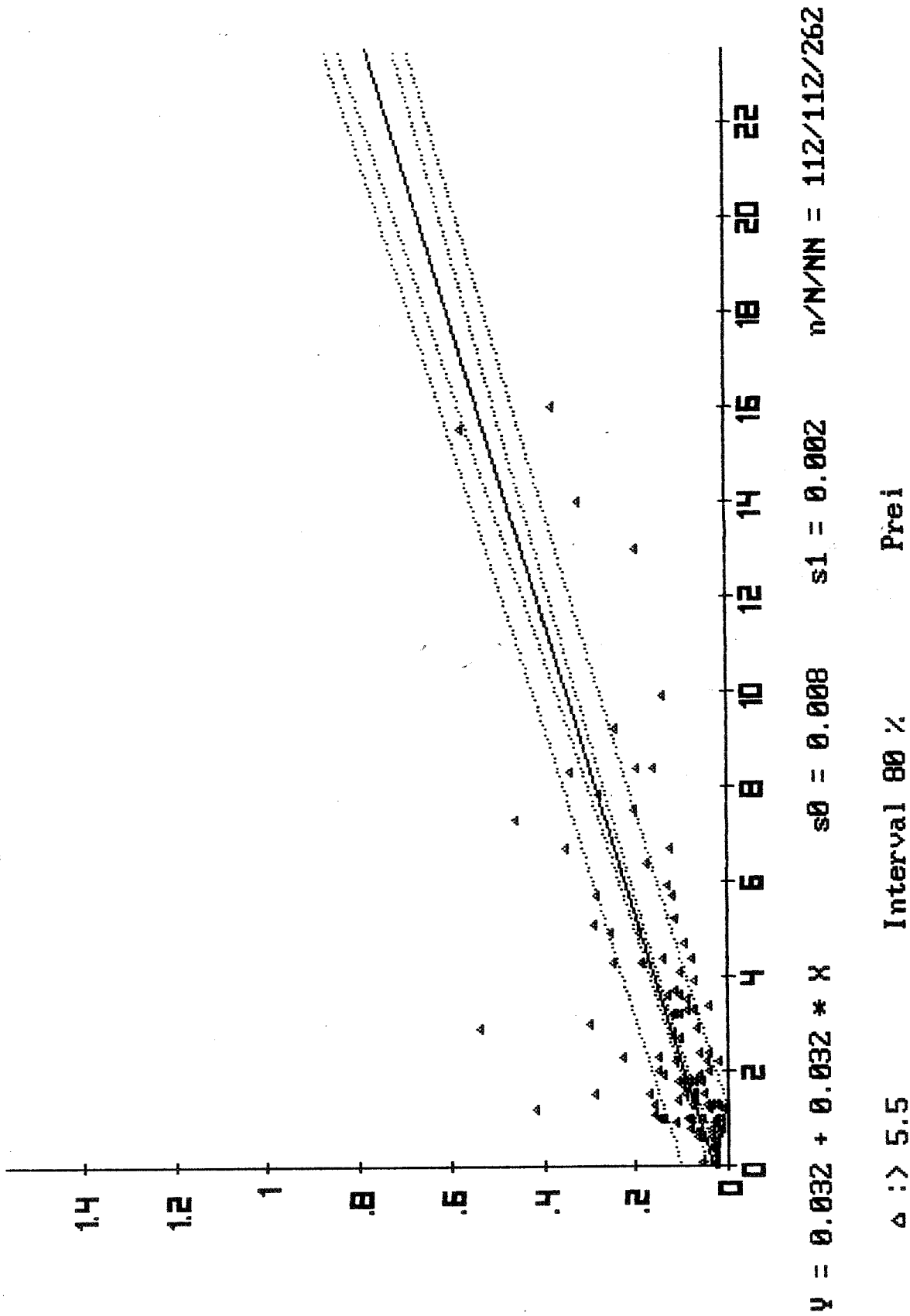
8.100001

Cd plant

.08

Rec.nr

195



Staalnr

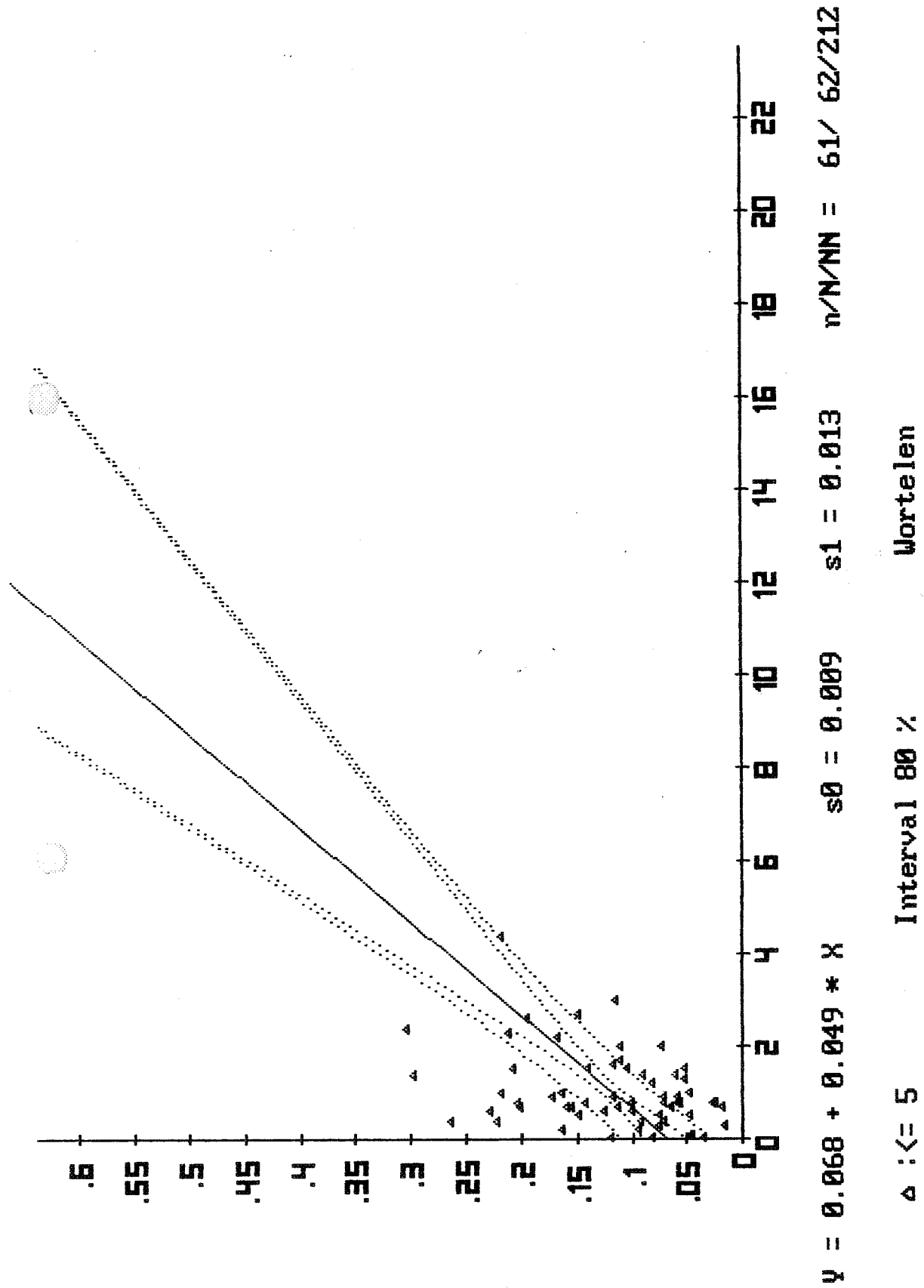
pH

Cd bodem

Cd plant

Rec.nr

Geen punten weggelaten



Staalnr

296

pH

4.9

Cd bodem

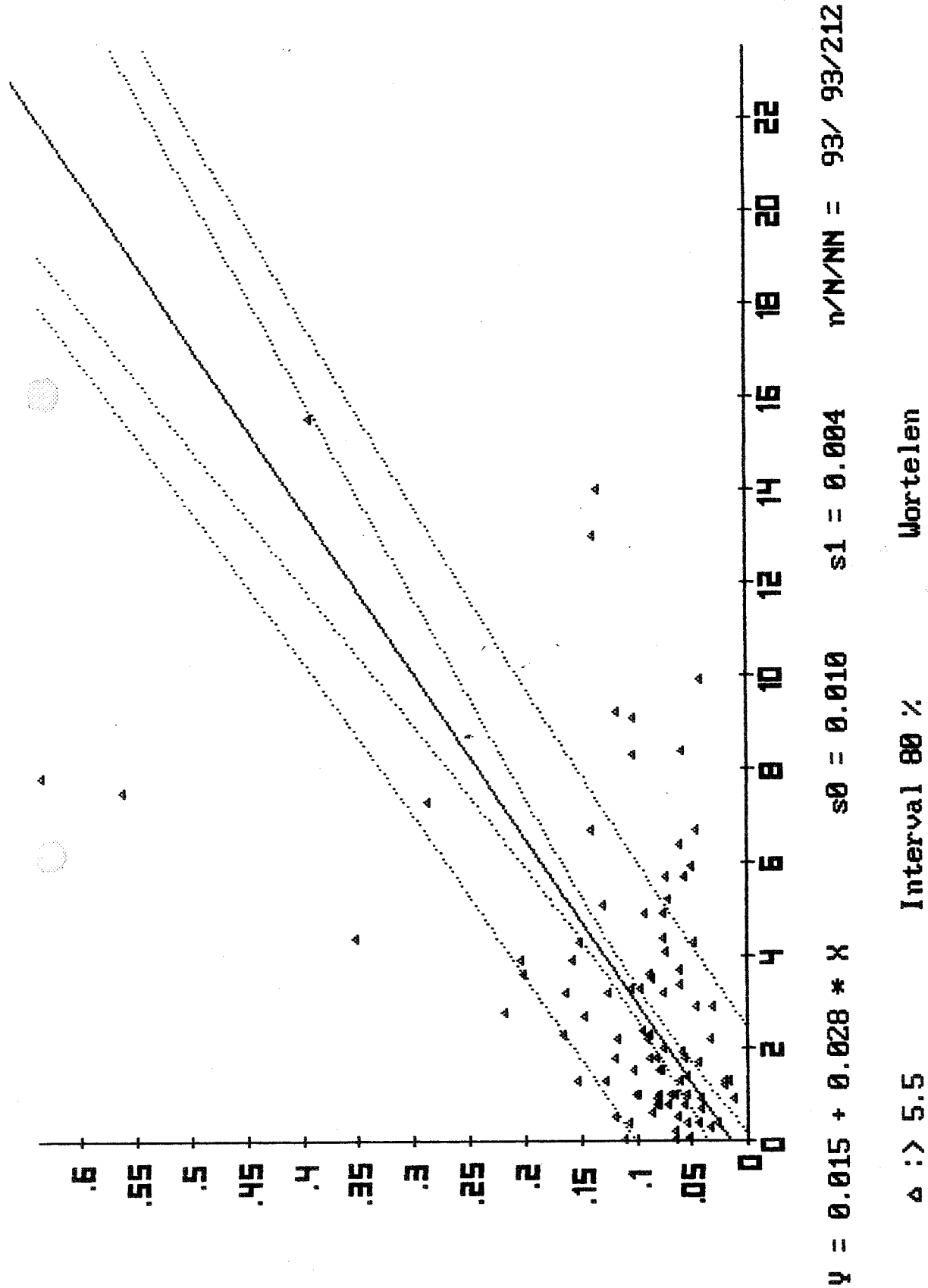
8.100001

Cd plant

.078

Rec.nr.

195



Staalnr

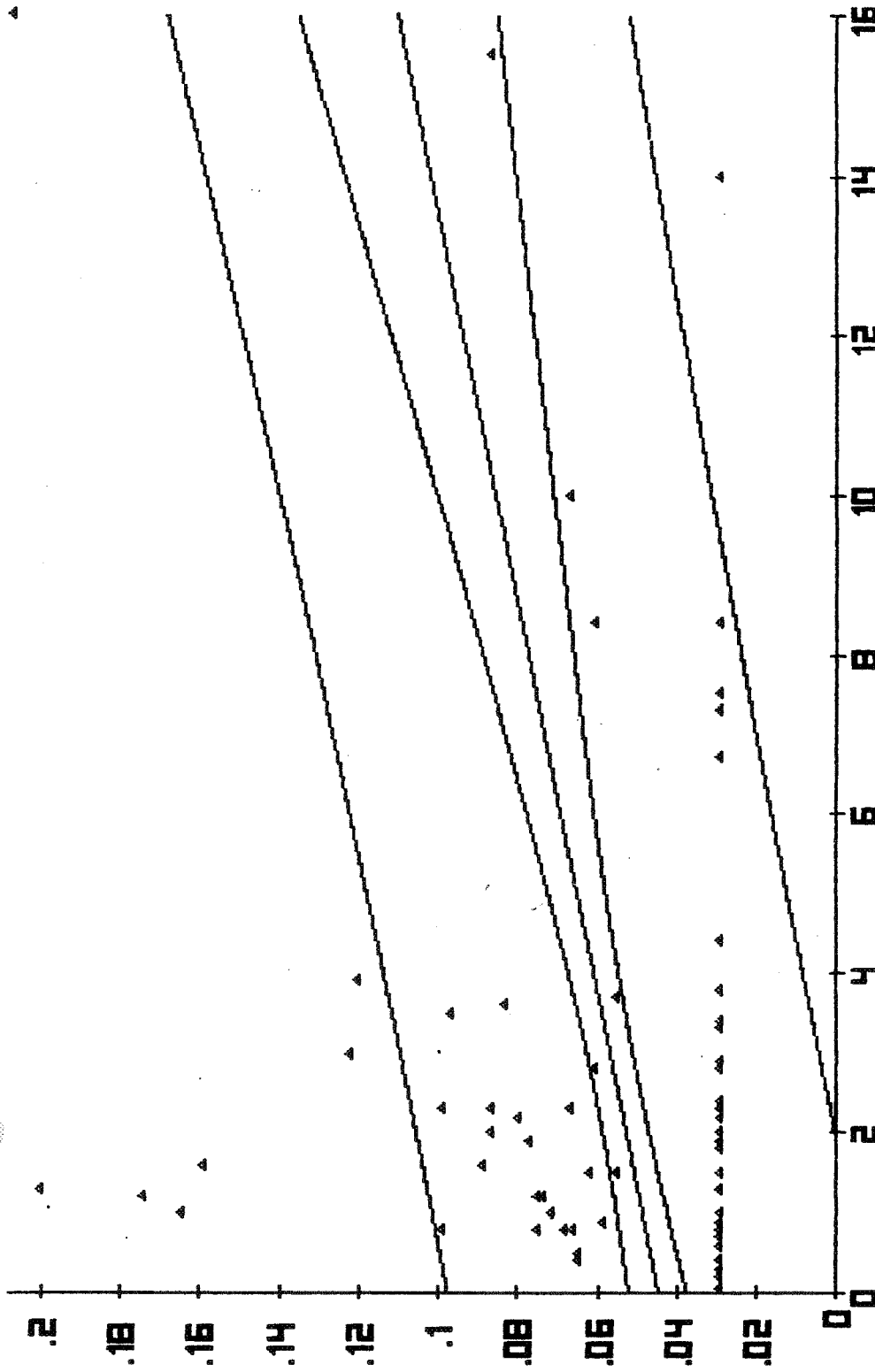
pH

Cd bodem

Cd plant

Rec.nr.

Geen punten weggelaten



$y = 0.0045 + 0.004 * x$        $s0 = 0.004$        $s1 = 0.001$        $n/N/NN = 84/ 84/ 84$

△ : 0 - 8      Interval 80 %      Aardappelen

Staalnr

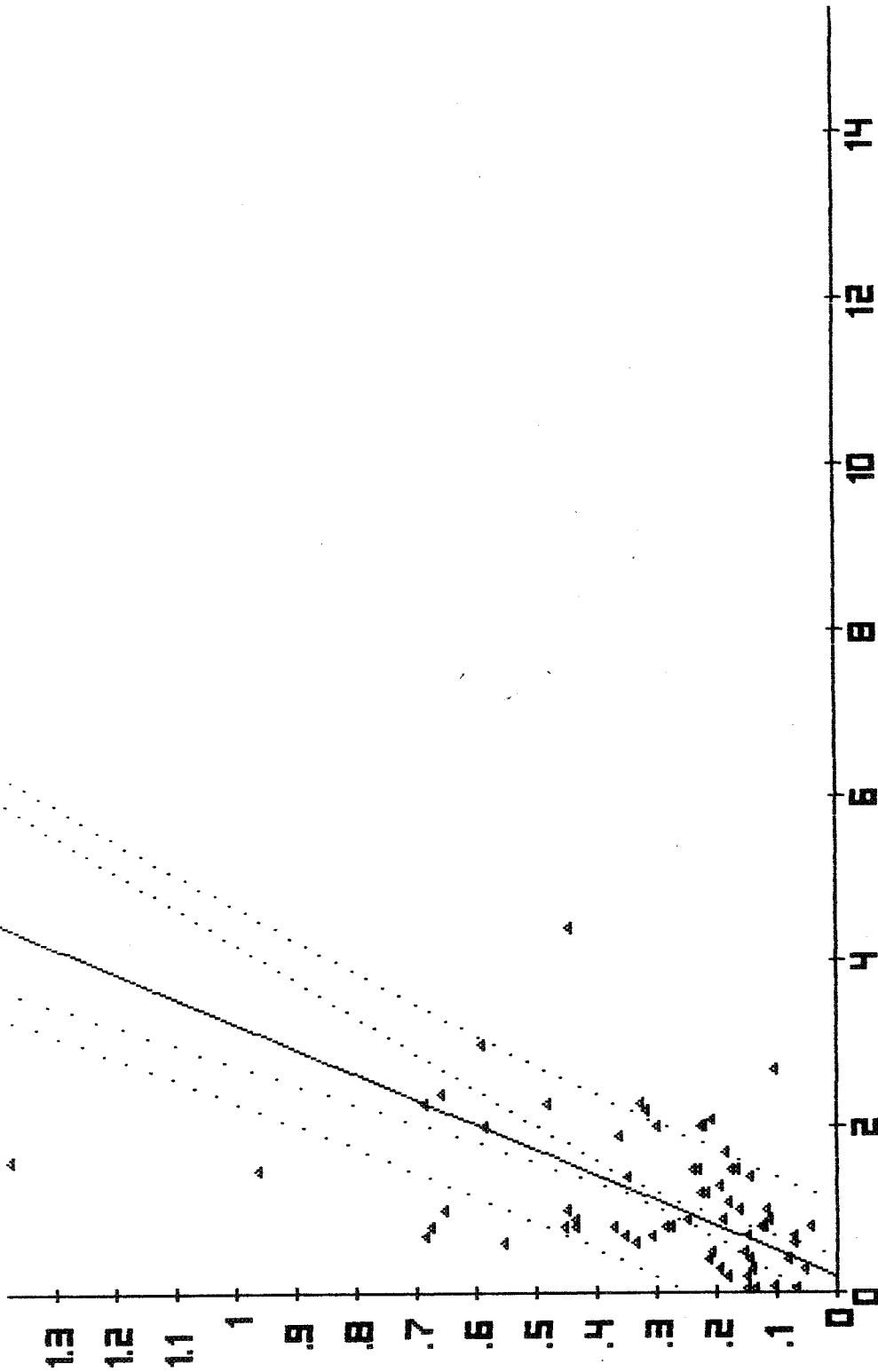
pH

Cd bodem

Cd plant

Rec.nr

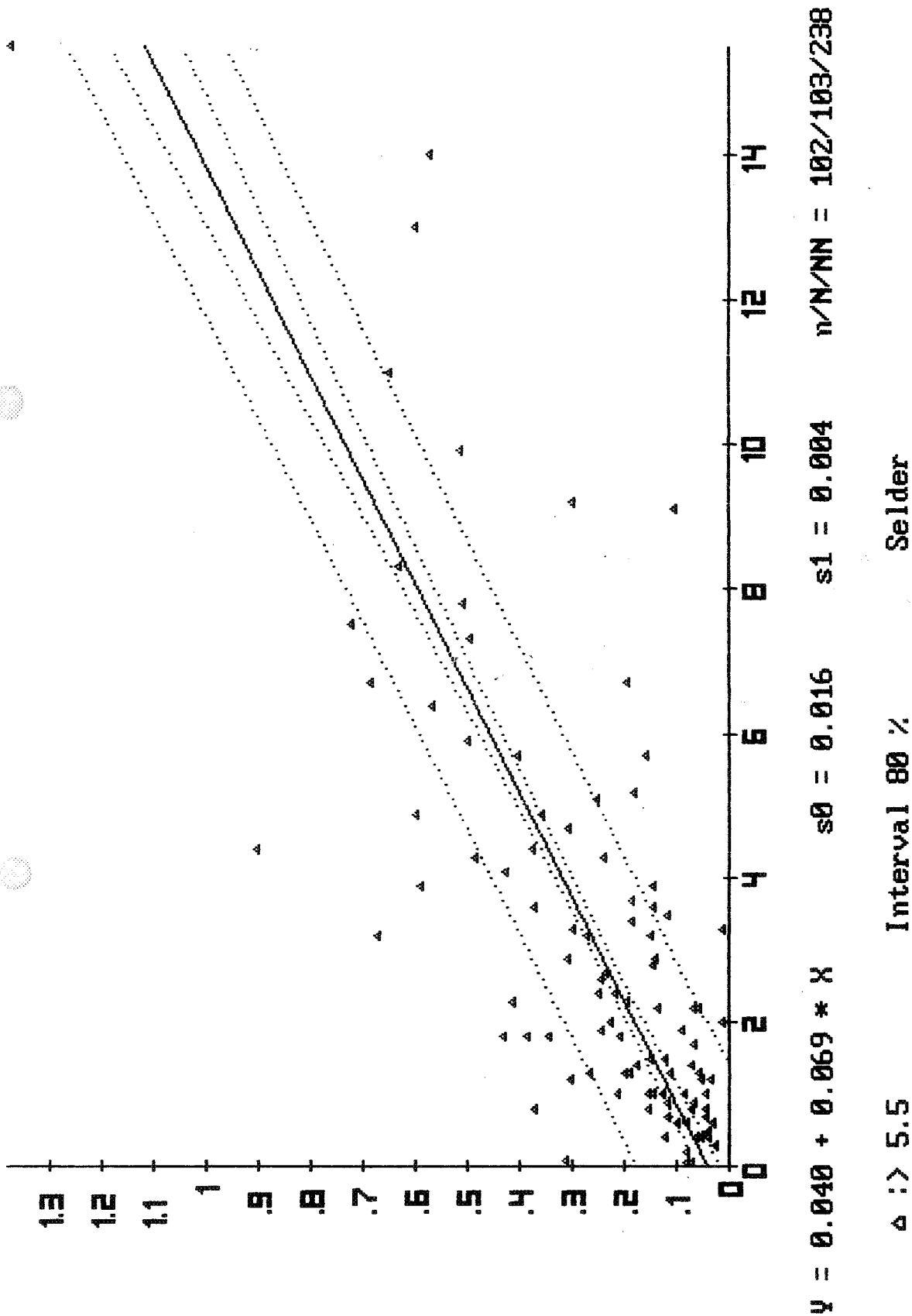
Geen punten weggelaten



$y = -0.069 + 0.327 * x$      $s0 = 0.035$      $s1 = 0.078$      $n/N/NN = 68/ 69/238$   
 $\Delta : \leq 5$     Interval 80 %    Selder

Staalnr                      pH                      Cd bodem                      Cd plant                      Rec.n

204                      4.9                      8.100001                      .216                      195



Staalnr

181

pH

6.05

Cd bodem

.4

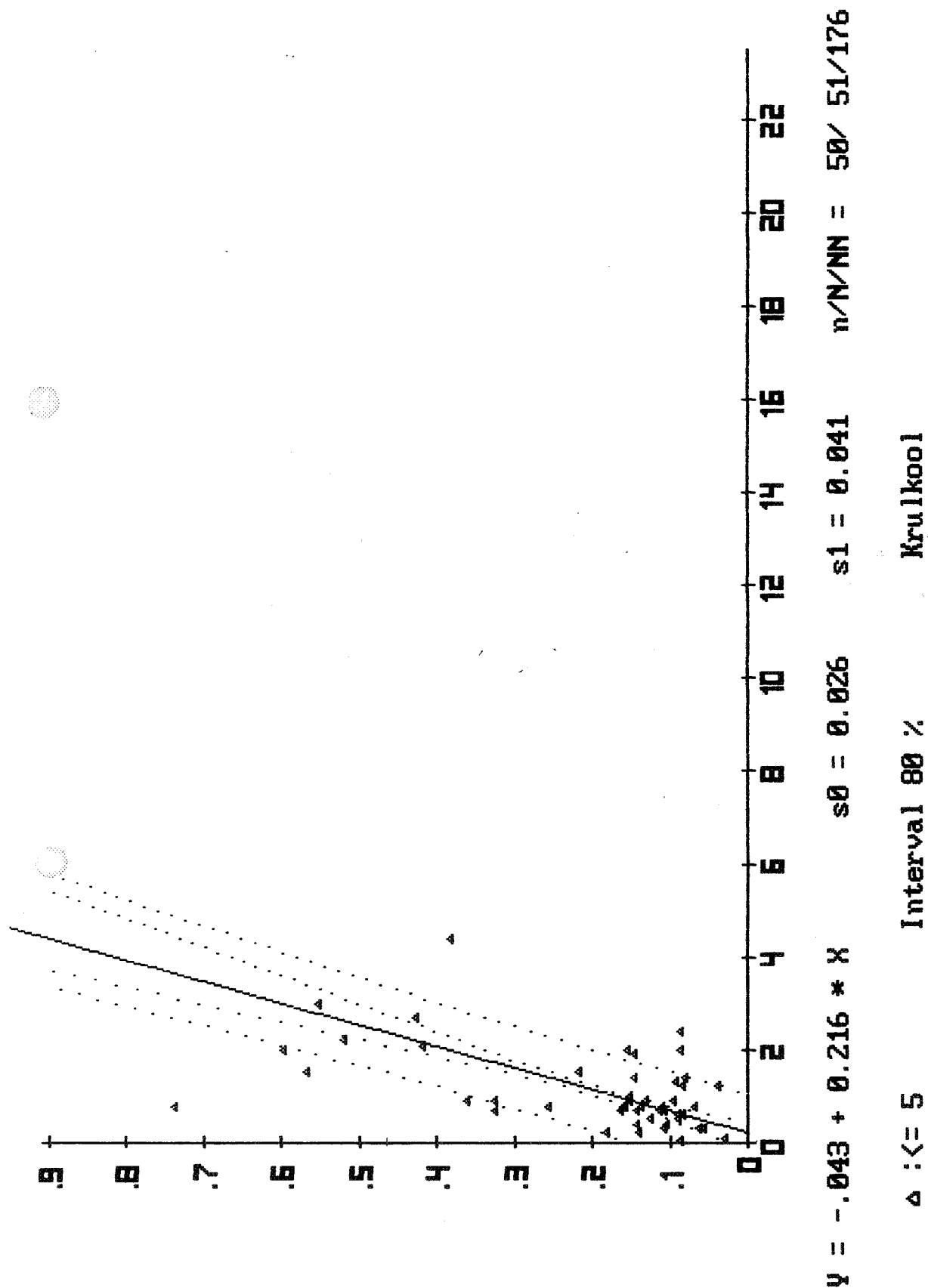
Cd plant

.798

Rec.nr.

81





Staalnr

296

pH

4.9

Cd bodem

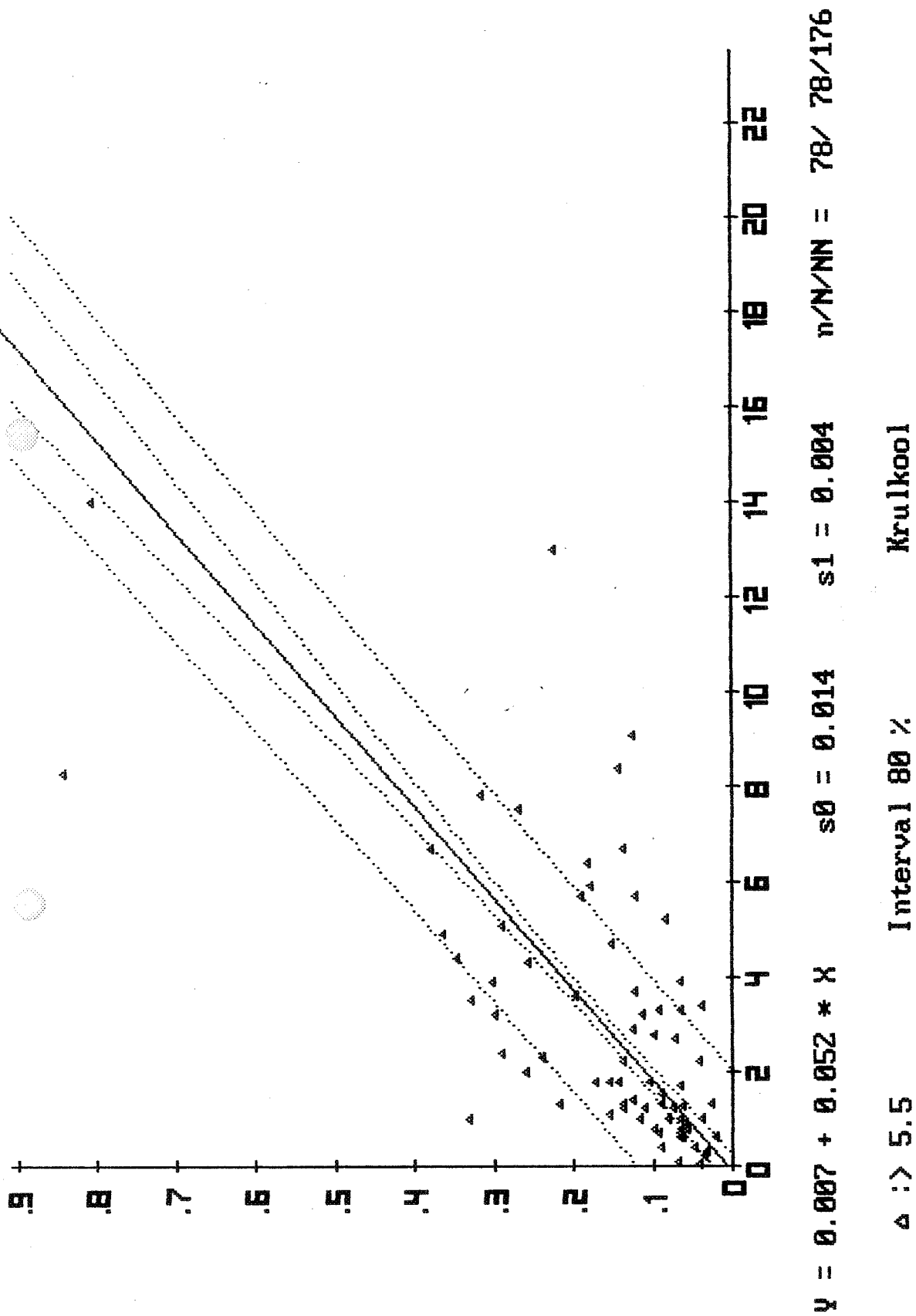
8.100001

Cd plant

.124

Rec.nr.

195



Staalnr

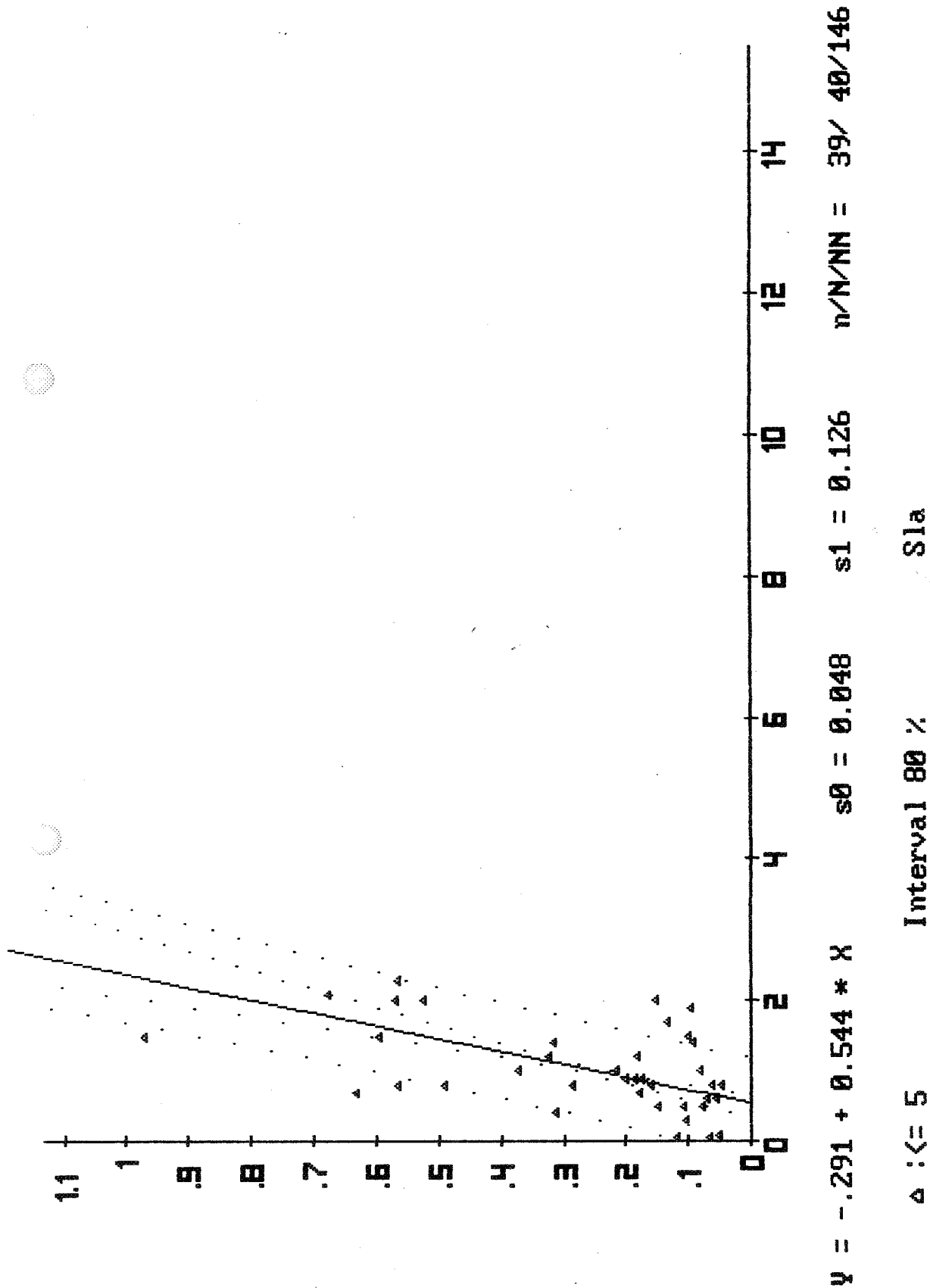
pH

Cd bodem

Cd plant

Rec.nr.

Geen punten weggelaten



Staalnr

296

pH

4.9

Cd bodem

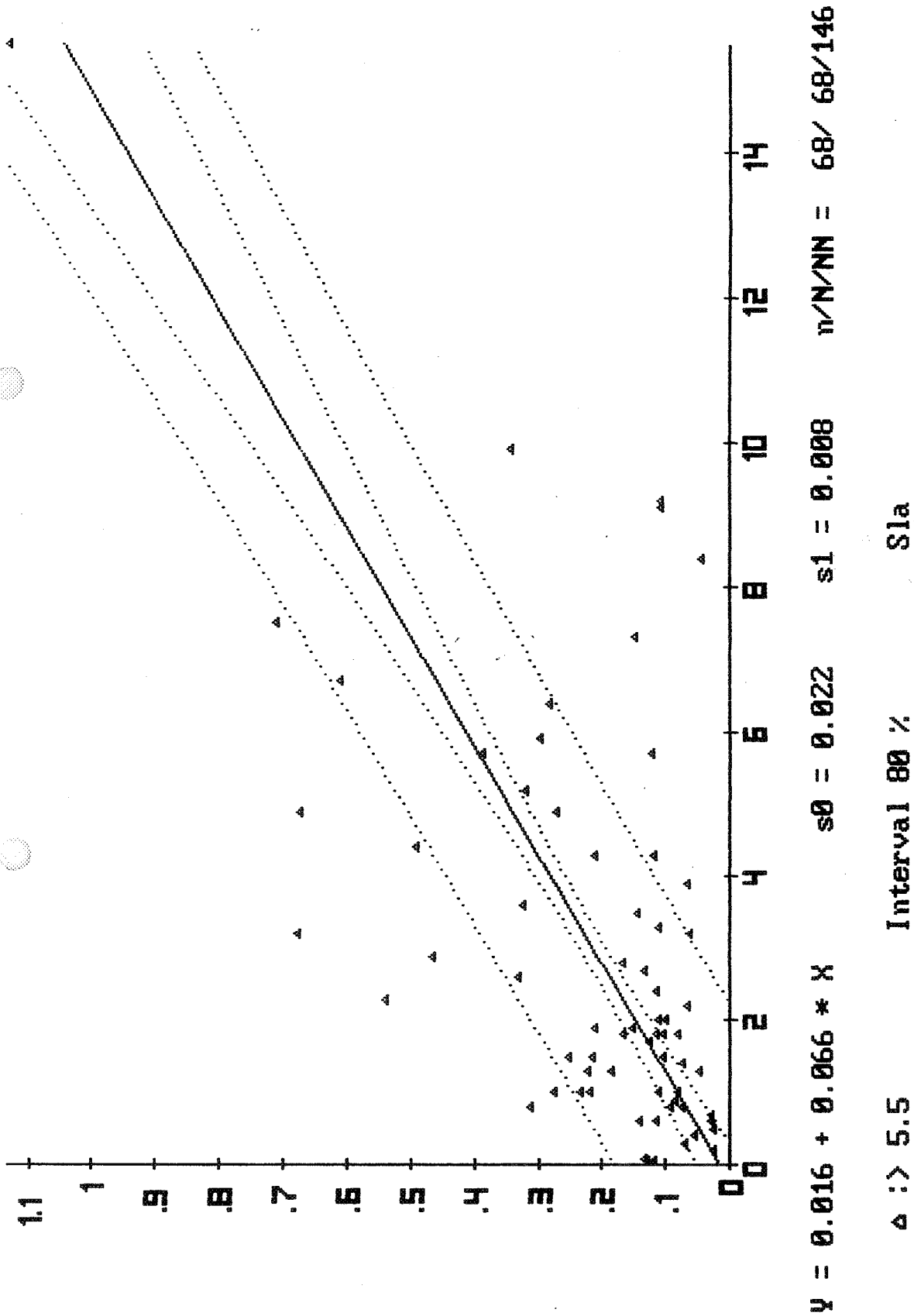
8.100001

Cd plant

.233

Rec.nr.

195



Staalnr

pH

Cd bodem

Cd plant

Rec.nr.

Geen punten weggelaten

De berekening leidt tot de volgende samenvattende tabellen B-1 en B-2.

De totale opname per dag is berekend door bij de opname uit het groentepakket 17,6 ug op te tellen. Dit is de opname die gemiddeld buiten de groenten plaatsvindt (zie tabel 4.2), waaruit blijkt 25,0 - 7,4 (groente) = 17,6 ug/dag.

Tabel B-1 Overzicht cadmiumopname (ug) in relatie tot het cadmiumgehalte in de bouwvoor (mg/kg) bij een pH (KCl) kleiner dan 5,0

Cd in de bouwvoor	Totale opname uit groentepakket per dag	Totale opname per dag (afgerond)	Totale opname per week (afgerond)
0,4	15,4	33	231
0,6	17,2	35	245
0,8	18,9	36,5	255
1,0	20,7	38	268
1,2	22,7	40	282
1,4	25,1	43	301
1,6	27,4	45	315
1,8	29,9	47,5	333
2,0	32,0	49,6	347
2,2	34,8	52,4	367
2,4	37,4	55,0	385
2,6	39,9	57,5	403
2,8	42,4	60,0	420
3,0	45,2	62,8	440

Tabel B-2 Overzicht cadmiumopname (ug) in relatie tot het cadmiumgehalte in de bouwvoor (mg/kg) bij een pH (KCl) groter dan 5,5

Cd in de bouwvoor	Totale opname uit groentepakket per dag	Totale opname per dag (afgerond)	Totale opname per week (afgerond)
0,4	14,2	31,8	223
0,6	14,7	32,3	226
0,8	15,0	32,6	228
1,0	15,6	33,2	232
1,2	16,0	33,6	235
1,4	16,4	34,0	238
1,6	16,7	34,3	240
1,8	17,3	34,0	244
2,0	17,8	35,4	248
2,2	18,3	35,9	251
2,4	18,8	36,4	255
2,6	19,1	36,7	257
2,8	19,6	37,2	260
3,0	20,0	37,6	263
4,0	22,8	40,4	283
5,0	25,5	43,1	302
6,0	28,1	45,7	320
7,0	31,0	48,6	340
8,0	33,9	51,5	361
9,0	36,9	54,5	382
10,0	39,8	57,4	402
11,0	42,6	60,2	422
12,0	45,9	63,5	445
13,0	49,1	66,7	467
14,0	51,7	69,3	485

## CADMIUM



CAS-nr: [7440-43-9]

Cd

FYSISCHE GROOTHEDEN		BELANGRIJKE GEGEVENS	
Sublimatiepunt °C	765	<b>ZILVERWIT METAAL OF GRUIS POEDER</b> De stof kan spontaan aan de lucht ontbranden (in fijn verdeelde vorm). Reageert heftig met zuren onder vorming van brandbaar gas (waterstof, zie aldaar). <hr/> MAC-waarde in mg/m <sup>3</sup> (als metaalstof) 0,05 <hr/> Wipe van opname: De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing en inslikken. Directe gevolgen: De stof werkt prikkelend op de ogen en de huid. De stof werkt bijtend op de ademhalingsorganen. De reukzin kan verminderen. Inademing van de stof kan longoedeem veroorzaken <sup>1)</sup> . In ernstige gevallen kans op dodelijke afloop. Verschijnselen van prikkeling treden veelal pas na enkele uren op. Gevolgen bij langdurige, herhaaldelijke blootstelling: De stof kan aanleiding geven tot bloedveranderingen. Lever- en nierbeschadigingen kunnen optreden.	
Smeltpunt °C	321		
Relatieve Dichtheid (water=1)	8,6		
Dampspanning in mbar bij 394 °C	1,3		
Oplosbaarheid in water Relatieve Atoommassa	niet 112,4		
DIRECTE GEVAREN/ VERSCHIJNSELEN	PREVENTIE	BLUSSTOFFEN/EERSTE HULP	
Brand: brandbaar.	geen open vuur en niet roken.	speciaal bluspoeder, droog zand, GEEN waterhoudende blusstoffen.	
Explosie: fijn verdeeld stof met lucht explosief.	stofafzetting voorkomen, gesloten apparatuur, stofexplosieveilige elektrische apparatuur en verlichting, aarden.		
	VERSPREIDEN VAN STOF VOORKOMEN		
Inademen: bijtend, keelpijn, hoesten, kortademigheid, ademnood.	plaatselijke afzuiging of adembescherming.	frisse lucht, rust, halfzittende houding, en naar ziekenhuis vervoeren.	
Huid: roodheid.	handschoenen.	verontreinigde kleding uittrekken, huid spoelen met veel water of afdouchen.	
Ogen: roodheid, pijn.	stofbril.	eerst spoelen met veel water, dan naar arts vervoeren.	
Inslikken: misselijkheid, braken, buikpijn, diarree.	niet eten, drinken of roken tijdens het werk.	mond laten spoelen, veel water laten drinken, en onmiddellijk naar ziekenhuis vervoeren.	
OPRUIMING	OPSLAG	GEBRUIKSETIKETTERING (bags, ags, agp)	
gemorste stof opscheppen, restant zorgvuldig verzamelen. (extra persoonlijke bescherming: stofmasker 2c - giftig stof; stofmasker P3).	brandveilig, gescheiden van zuren.		
<b>OPMERKINGEN</b> De Arbeidsinspectie heeft het voornemen de MAC-waarde te verlagen tot 0,02 mg/m <sup>3</sup> T.G.G., met als diefondeurde 0,1 mg/m <sup>3</sup> gedurende 1 uur (de T.G.G. blijft dan van kracht). De stof reageert heftig met blusstoffen zoals water, schuim, koolzuur, halonen. <sup>1)</sup> De verschijnselen van longoedeem openbaren zich veelal pas na enkele uren en worden versterkt door lichamelijke inspanning. Rust en opname in een ziekenhuis is daarom noodzakelijk. Tevoren dient als eerste hulp toediening van een corticosteroidhoudende spray, door arts of de door deze gemachtigde, te worden overwogen.			

Beleidscode C-6728


175

**ZINK\***  
(poeder)



Zn

CAS-nr: [7440-66-6]

FYSISCHE GROOTHEDEN		BELANGRIJKE GEGEVENS	
Kookpunt °C Smeltpunt °C Zelfontbrandingstemperatuur °C Relatieve Dichtheid (water=1) Dampspanning in mbar bij 487 °C Oplosbaarheid in water Explosiegrenzen, g/m <sup>3</sup> in lucht Relatieve Alcomassa	907 420 460 7,1 1,3 niet 500 - 7 65,3	<b>LICHTGRUIS POEDER</b> De stof ontleedt bij verhitting onder vorming van giftige zinkdampen. De stof kan bij aanwezigheid van vocht spontaan aan de lucht ontbranden. Reageert heftig met oxiderende stoffen en zwavelpoeder met kans op brand en explosie. Reageert met zuur en loog onder ontwikkeling van waterstof. <hr/> MAC-waarde n.b. <hr/> Wijze van opneme: De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing en inslikken. Directe gevolgen: Inademing van stof en damp kan metaaldampkoorts veroorzaken.	
DIRECTE GEVAREN/ VERSCHIJNSELEN	PREVENTIE	BLUSSTOFFEN/EEERSTE HULP	
Brand: brandbaar.	geen open vuur, geen vonken en niet roken,	speciaal bluspoeder, droog zand, GEEN andere blusstoffen.	
Explosie: fijn verdeeld stof met lucht explosief.	stofafzetting voorkomen, gesloten apparatuur, stofexplosieveilige elektrische apparatuur en verlichting, aarden.		
Inademen: hoesten, koorts.	plaatselijke afzuiging of adembescherming.	frisse lucht, rust, en arts waarschuwen.	
Huid:	handschoenen.		
OPRUIMING	OPSLAG	GEBRUIKSETIKETTERING (bags, ags, agp)	
gemorste stof opscheppen, restant wegspoelen met veel water. (extra persoonlijke bescherming: stofklasse 2b - schadelijk stof; stofmasker P2).	brandveilig, gescheiden van oxidatiemiddelen, droog.	R: 15-17 S: 7/8-43 (pyrofoor Zn)  Licht ontvlambaar	
<b>OPMERKINGEN</b> Verontreinigde kleding uitpakken met veel water (brandgevaar). De stof reageert heftig met blusstoffen zoals water, schuim, poeder en koolzuur. Luchtdichte verpakking toepassen.			
Transport Emergency Card TERC®-43088			