

Evaluatie actief bodembeheer Krimpenerwaard
Een methode voor de verificatie van landbouwkundige risico's
Tussenrapport fase 1

D. Boels
A.J. Zweers
J.G. te Beest
P.F.A.M. Römken
J. Bril

RAPPORTEN PROGRAMMA GEÏNTEGREERD BODEMONDERZOEK

DEEL 34

Evaluatie actief bodembeheer Krimpenerwaard

Een methode voor de verificatie van landbouwkundige risico's

Tussenrapport fase 1

**D. Boels
A.J. Zweers
J.G. te Beest
P.F.A.M. Römken
J. Bril**

RAPPORTEN PROGRAMMA GEÏNTEGREERD BODEMONDERZOEK

DEEL 34

Gegevens: Evaluatie actief bodembeheer Krimpenerwaard - Een methode voor de verificatie van landbouwkundige risico's - Tussenrapport fase 1 - D. Boels, A.J. Zweers, J.G. te Beest, P.F.A.M. Römken en J. Bril - Wageningen: Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek (Rapporten Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek; deel 34) - 72 p., 4 bijl. – ISBN 90-73270-50-2.

Trefwoorden: actief bodembeheer, bodemverontreiniging, landbouwkundige risicobeoordeling, zware metalen.

Samenvatting:

Dit rapport betreft de uitwerking van fase 1 van onderzoek ten behoeve van de evaluatie van actief bodembeheer in de Krimpenerwaard. Het beschrijft de ontwikkeling van een methode voor de beoordeling van landbouwkundige risico's van slootdempingen met verschillende afvalstoffen, waaronder sloop- en bouwafval en shredder, en het effect van daarop aangebrachte afdekkingen van grond via bodem- en gewasonderzoek. Voor de beoordeling van het al of niet aanwezig zijn van landbouwkundige risico's zijn de veevoedernorm en de warenwetnorm voor rundervier aangehouden. Toepassing van beide normen leidt tot een verschillende uitkomst. Uit dit verkennende onderzoek komt naar voren, dat de kans op overschrijding van de maximaal toelaatbare inname van zware metalen (Cd, Cu, Cr en Pb) door vee alleen bestaat op dempingen met shredder. Uit simulaties blijkt verder, dat de dikte van de afdekking, waarbij Cd uit het dempingmateriaal geen invloed meer heeft op de samenstelling van het gras, tenminste 30 cm dient te bedragen. Uitspoeling van Cd uit het dempingmateriaal naar het grondwater zal bij die dikte ook na 100 jaar nog nauwelijks zijn afgenomen.

Projectleiding en uitvoering:

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen; tel.: 0317 - 474200; fax: 0317 - 424812; projectleider: ir. D. Boels.

Dankwoord:

De leiding van het Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek dankt de Stichting Bodembeheer Krimpenerwaard te Stolwijk, alsmede dr.ir. D. van der Eijk (Provincie Zuid-Holland, Den Haag) en drs. P.S.H. Ouboter (NOK, Gouda) voor de begeleiding van het project en hun inbreng bij de uitwerking van de resultaten.

Het rapport is verkrijgbaar bij de Stichting Kennisontwikkeling en Kennisoverdracht Bodem (SKB) in Gouda (Postbus 420, NL-2800 AK Gouda; telefoon: 0182 - 540690; fax: 0182 - 540691) à f 40,--.

© 2000. Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek (Postbus 37, 6700 AA Wageningen).

omslag: Ernst van Cleef
druk: Grafisch Service Centrum van Gils B.V., Wageningen

Woord vooraf

Dit onderzoek maakt deel uit van het LNV/DWK-onderzoekprogramma 329 'Bodemkwaliteit' en is medegefinancierd door het Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek (PGBO). Het onderzoek is afgestemd op onderzoek naar de ecologische en verspreidingsrisico's van slootdempingen in de Krimpenerwaard, dat eveneens wordt uitgevoerd door Alterra in het kader van LNV/DWK-onderzoekprogramma 321 'Systeemgerichte ecotoxicologie' in samenwerking met IWACO. De onderzoeken worden begeleid door de Stichting Bodembeheer Krimpenerwaard te Stolwijk, door de Provincie Zuid-Holland in Den Haag, het Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek (tot eind 1999) en door de Stichting Kennisontwikkeling en Kennisoverdracht Bodem (SKB) in Gouda.

Inhoudsopgave

Samenvatting	i
1. Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.1.1 Nieuwe initiatieven	1
1.1.2 BEVER-groen	2
1.2 De casus Krimpenerwaard	2
1.3 Behoefte aan onderzoek	3
1.4 Focus van het onderzoek	4
2. Opzet onderzoek	6
2.1 Aannamen bodemkwaliteitseisen	6
2.2 Te toetsen aannamen	7
2.3 Onderzoekvragen	8
2.4 Onderzoekhypothese	9
2.5 Keuze onderzoeklocaties	11
2.5.1 Klasse-indeling dempingen	11
2.5.2 Locatiekeuzecriteria	12
2.6 Bemonstering	13
2.7 Grond- en gewasonderzoek	14
3. Landbouwkundige risico's	18
3.1 Grondingestie door vee	18
3.2 Biobeschikbaarheid van zware metalen in het spijsverteringssysteem	20
3.3 Maximaal toelaatbare dagelijkse inname door rundvee	21
3.4 Beoordelingssystematiek	23
3.5 Dikte afdeklaag en aard dempingmateriaal	25
3.6 Bodemkwaliteit op enkele dempingen en referentielocaties	27
3.6.1 Textuur, organische stof, pH, CEC, EC en DOC	27
3.6.2 Gehalten aan zware metalen	28
3.6.3 Toetsing totale gehalten aan streef- en interventiewaarden	29
3.6.4 Maximaal beschikbare hoeveelheden zware metalen	30
3.6.5 Actuele beschikbaarheid zware metalen	36
3.6.6 Gehalten in gras en de concentratie in de bodemoplossing	42
3.7 Totaalgehalten aan zware metalen op individuele monsterplekken per locatie	47
3.8 Beoordeling landbouwkundige risico van zware metalen op proefplekken	48
3.9 PAK-gehalten	53
3.10 Conclusies	53

4.	Bepaling veilige dikte schone afdeklaag	56
4.1	Methode	56
4.2	Invoergegevens	59
4.3	Resultaten	61
4.4	Conclusies	66
5.	Literatuur	68

Figuren

1.	Schematische voorstelling van routes van verontreinigingen voor het ontstaan van landbouwkundige risico's	9
2.	Schematische weergave bemonsteringen: monsterplekken dempinglocatie en te bemonsteren lagen	13
3.	Samenhang droogvolumegegewicht bovengronden en organischestofgehalte	20
4.	Verdeling gemeten laagdiktes op locaties met vermoede diktes van de afdeklaag gelijk of groter dan 30 cm	26
5.	Verdeling gemeten laagdiktes op locaties met vermoede diktes van de afdeklaag kleiner dan 30 cm	26
6.	Totale gehalten en potentieel beschikbare gehalten aan zware metalen voor de onderzochte locaties in de Krimpenerwaard voor Cd, Pb, Ni, Cu, Zn en Cr	32
7.	Verband tussen de maximaal beschikbare hoeveelheden en de concentratie in de bodemoplossing voor respectievelijk Cd, Pb, Ni, Cu, Zn en Cr	36
8.	Samenhang tussen ionsterkte volgens een empirische relatie en berekend uit analyses	40
9.	Gemeten en berekende activiteiten van cadmium en zink in de bodemoplossing	41
10.	Samenhang tussen de concentratie in de bodemoplossing en het gehalte in gras op basis van droge stof voor Cd, Pb, Ni, Cu, Zn en Cr	44
11.	Relatieve dagelijkse inname van zware metalen door grazend vee op dempingen en referentielocaties in de Krimpenerwaard op basis van maximale hoeveelheden zware metalen in de bodem en de gehalten in het gewas	52
12.	Schematische weergave van de samenhang van modellen voor de berekening van het transport van verontreinigingen in dempingen in de Krimpenerwaard	57
13.	Schematische weergave van metaalkringloop	58
14.	Verdeling van de wateropname gedurende een jaar door wortels van gras	61
15.	Verloop van de cadmiumconcentratie op verschillende dieptes in een afdeklaag van 30 cm dikte op shredder	63
16.	Verloop van de cadmiumopname door gras op shredder bij een dikte van de afdeklaag van 0,3 m	63
17.	Verdeling Cd-opname door gras bij een afdeklaag van 0,3 m dikte op shredder op verschillende tijdstippen na aanbrengen	64
18.	Uitspoeling van cadmium naar de ondergrond	65
19.	Invloed dempingmateriaal op cadmiumopname door gras bij verschillende diktes van de afdeklaag op verschillende tijdstippen na aanbrengen	66

Tabellen

1.	Samenvatting randvoorwaarden en bodemkwaliteitseisen voor de functie landbouw	6
2.	Verwachte milieuhygiënische risico's van dempingmateriaal	11
3.	Indeling dempinglocaties in groepen	12
4.	Stoffen die door planten worden opgenomen en worden getransporteerd in de plant naar de bovengrondse delen	15
5.	Meest kritische toetsingsaspect bij gebruik van bodem als beweid grasland	21
6.	Kengetallen voor de beoordeling van landbouwkundige risico's	22
7.	Herkenbare grove materialen in afdeklaag en aard dempingmateriaal	27
8.	Karakterisering bodem op dempingen en referentielocaties	28
9.	Streef- en interventiewaarden voor standaard(land)bodems met 10% organische stof en 25 % lutum	29
10.	Waarden van constanten voor omrekening van streef- en interventiewaarden van standaardbodems naar de actuele bodems	29
11.	Indeling metingen van totaalgehalten in de klassen 'kleiner dan streefwaarde', 'tussen streef- en interventiewaarde' en 'groter dan interventiewaarde'	30
12.	Aantal keren waarmee de interventiewaarde is overschreden	31
13.	Gemiddelde verhouding tussen maximaal beschikbare hoeveelheid en totaal gehalte van de vaste fase en de variatie	31
14.	Correlatiecoëfficiënten voor het verband tussen het zware metaalgehalte van de bodem en gehalte van gras voor de Krimpenerwaard en beschreven door de vergelijking $\log(\text{geh. gewas}) = a \log(\text{geh. bodem}) + b$	43
15.	Gehalten aan zware metalen in gewasmonsters van verschillende locaties in de Krimpenerwaard en gemiddelde dikte van de afdeklaag met standaardafwijking	48
16.	Totale gehalten aan zware metalen in de bodemlaag 0 – 5 van verschillende locaties in de Krimpenerwaard en gemiddelde dikte van de afdeklaag met standaardafwijking	49
17.	Maximale beschikbare hoeveelheid zware metalen in de bodemlaag 0 – 5 cm van verschillende locaties in de Krimpenerwaard	49
18.	Berekende dagelijkse inname van zware metalen door runderen op basis van maximale beschikbare hoeveelheden in de bodem en opname via het gewas, maar exclusief opname via drinkwater	50
19.	Berekende dagelijkse inname van zware metalen door runderen op basis van de totale gehalten zware metalen in de grond	51
20.	PAK-gehalten van geselecteerde bodems in de Krimpenerwaard, 1999	53
21.	Invoergegevens met betrekking tot de simulatie van het stoftransport in de afdeklaag van een demping met shredder en cadmium	60
22.	Gegevens omtrent externe bronnen van verontreiniging	62
23.	Opname van cadmium door gras op drie tijdstippen na het aanbrengen van een afdeklaag op shredder en daarmee verbonden landbouwkundige risico's	65

Bijlagen

1.	Samenstelling vloeistof bij extractie met 0,002 mol CaCl ₂ /l (mengmonsters)	73
2.	Gehalten aan zware metalen (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn) in bodem- en gras-Monsters (mengmonsters)	77
3.	Totaalgehalten aan zware metalen (mg/kg ds) per monster voor een aantal geselecteerde locaties en diepten (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Zn, Pb)	85
4.	Grenswaarden voor organismen	91

Samenvatting

In het landelijk gebied van Nederland komen zowel lokale als diffuus verontreinigde terreinen voor die weliswaar de volksgezondheid niet direct bedreigen, maar wel effect kunnen hebben op de kwaliteit van de bodem, grondwater en het ecosysteem. Verhoogde gehalten aan zware metalen in veenweidegebieden zijn o.a. het gevolg van toenemende concentraties als gevolg van verlies van organische stof. Plaatselijk kunnen verontreinigingen het gevolg zijn van dempingen van sloten en waterlopen met verontreinigd materiaal, zoals in de Krimpenerwaard. Daarnaast komen in het landelijk gebied nog oude en afgesloten stortplaatsen voor, die niet zijn afgewerkt volgens de huidige aanpak.

Verontreinigingen hebben verschillende gevolgen. Naast aantasting van het imago van de betrouwbaarheid van de voedselveiligheid, beïnvloeden ze kavelruil en overdracht van gronden in landinrichtingsprojecten nadelig en remmen de voortgang van de realisatie van de Ecologische Hoofdstructuur. De meeste verontreinigingen zijn van voor 1975, waardoor de huidige eigenaar bestempeld wordt als 'schuldloze veroorzaker', die niet via een saneringsbevel kan worden gedwongen om de verontreinigingen aan te pakken. De overheid zal dit hoofdzakelijk zelf ter hand moeten nemen. De benodigde kosten daarvan zouden ettelijke miljarden bedragen als maatregelen zouden worden getroffen die recentelijk nog gangbaar waren. De beschikbare budgetten zijn echter ontoereikend, waardoor de meeste verontreinigingen niet zijn aangepakt.

Met het van kracht worden van nieuw beleid ten aanzien van bodemsanering dienen zich nieuwe perspectieven aan. Dit beleid houdt in dat sanering waarbij in één keer een multifunctionele situatie ontstaat, plaats mag maken voor het principe van actief bodembeheer. Actief bodembeheer houdt in dat de toestand zover wordt verbeterd, dat de gebruiksfuncties niet meer nadelig worden beïnvloed en geen (onacceptabele) verspreiding van de aanwezige verontreiniging optreedt. Deze benadering wordt ook wel aangeduid met 'functioneel saneren' bij een 'standstill'-situatie.

Om ervaring op te doen met deze benadering in het landelijk gebied wordt in de Krimpenerwaard een pilotproject ('Pilotproject Krimpenerwaard') uitgevoerd door de Provincie Zuid-Holland, verschillende gemeenten in dat gebied, de Ministeries van VROM en LNV, de Dienst Landelijk Gebied en belangengroeperingen, waaronder de land- en tuinbouworganisaties. In dit gebied treft men ca. 5000 dempingen aan, waarvan ca. 4000 verdacht zijn op basis van beperkt onderzoek en interviews. Als saneringsmaatregel wordt gedacht aan het aanbrengen van een schone afdeklaag op verontreinigde dempingen. Aangenomen is dat landbouwkundige risico's ontbreken als toelaatbare gehalten van ruwvoerders niet worden overschreden en de gehalten van de bodem in de toplaag onder de zogenaamde 'LAC-signaalwaarden' liggen. Tevens zijn de dempingen ingedeeld in categorieën op basis van het dominante dempingmateriaal en aannamen omtrent de ernst van de verontreiniging op die plaats. Een begroting van kosten is gemaakt om een aantal dempingen aan te pakken. Door de deelnemers aan het pilotproject is een bestuursovereenkomst gesloten waarin alle verdachte dempingen worden opgevat als een

geval van 'ernstige verontreiniging' en waarin de dekking van de saneringskosten is geregeld, alsmede de voorwaarden voor deelneming van eigenaren van verdachte dempingen aan de saneringsoperatie. Verder is de Stichting Bodembeheer Krimpenerwaard opgericht die de saneringsoperatie uitvoert en het beheer over de dempingen voert. In de bestuursovereenkomst is ook vastgelegd dat de aannamen voor de saneringsaanpak nadere verificatie vergen.

Dit onderzoek is opgezet om een methode uit te werken voor de benadering van landbouwkundige risico's en tevens ter verificatie van de aannamen in het bodembeheerplan Krimpenerwaard. Als zodanig sluit dit onderzoek aan bij het werk van DLO-IBN (m.i.v. 1 januari 2000 Alterra), dat de ecologische risico's natrekt en van IWACO, die de verspreidingsrisico's onder de loep neemt.

Het onderzoek is opgezet ter beantwoording van een tweetal onderzoeksvragen: (1) vormen bijmengingen in afdeklagen daadwerkelijk een landbouwkundig risico en zo ja, houden deze verband met de samenstelling van het dempingmateriaal?; (2) is een schone afdeklaag van 0,3 m toereikend voor de functie landbouw en welke factoren bepalen de zekerheid dat ook op de (zeer) lange termijn geen risico's ontstaan?

Er is van uitgegaan dat de opname van verontreinigingen door planten bepaald wordt door de activiteit van die verontreinigingen in de bodemoplossing. Voorts is ervan uitgegaan dat de activiteit in de bodemoplossing naast overige factoren nauw samenhangt met de chemische beschikbaarheid van de verontreiniging en niet of in mindere mate met het totaalgehalte van de grond. Landbouwkundige risico's worden geacht aanwezig te zijn wanneer de toelaatbare dagelijkse inname van verontreinigingen door rundvee dat permanent op de demping zou grazen, zou worden overschreden. Aangenomen is dat de verontreinigingen uitsluitend afkomstig zijn van het gras en van de grond die tijdens het grazen onvermijdelijk mee wordt ingenomen. Voorlopig is ervan uitgegaan dat alleen zware metalen risico's veroorzaken. Tevens is aangenomen dat risico's ontbreken als een zekere toelaatbare grenswaarde voor de dagelijkse inname niet wordt overschreden en dat nadelige effecten van een bepaalde stof niet worden versterkt door de aanwezigheid van een of meer andere toxische stoffen.

De toegestane maximale dagelijkse inname van zware metalen is afgeleid uit eisen volgens de Warenwet ten aanzien van dierproducten en omgerekend naar de maximaal toelaatbare inname per kg lichaamsgewicht voor rundvee. Een tweede toetsing heeft plaatsgevonden tegen de veevoedernorm.

In de eerste fase van het onderzoek zijn op zes locaties, met twee verschillende dempingmaterialen (bouw- en sloopafval en shredder) en twee vermoede diktes van de afdeklaag ($< 0,3$ m en $\geq 0,3$ m) bemonsteringen uitgevoerd. Per locatie zijn monsters op 10 plekken genomen van gras, de bovenste en de onderste 0,05 m van de afdeklaag en de bovenste 0,05 m van het dempingmateriaal. Eveneens is op die plekken de dikte van de afdeklaag gemeten. Ter vergelijking zijn naast de demping monsters genomen van de normale bodem en het daarop groeiend gras.

Van de bodemonsters is per laag een mengmonster samengesteld voor een eerste analyse. Deze betreft: (1) het totaalgehalte aan (zware) metalen via ontsluiting met koningswater, (2) de maximale of potentiële beschikbare hoeveelheid via extractie met 0.43 M HNO₃, en (3) de actueel beschikbare hoeveelheid of concentratie in het bodemvocht via een extractie met 0.002 M CaCl₂. Van het gras zijn alleen de totale gehalten bepaald.

Gebleken is dat de dikte van de afdeklaag op dempingen met shredder, waarvan werd verondersteld dat deze gelijk of groter zou zijn dan 0,3 m, gemiddeld slechts 0,23 m bedroeg met uitschieters van 0,08 tot 0,5 m. De variatie op dempingen met bouw- en sloopafval waren nog groter: 0,3 tot meer dan 0,7 m met een gemiddelde dikte van 0,49 m. De dikte van de afdeklaag op shredder met een vermoede dikte van < 0,3 m bleek te variëren van 0,04 tot 0,12 m en op dempingen met bouw- en sloopafval van 0,0 tot meer dan 0,5 m. Op de demping met shredder met een dunne afdeklaag werd ook glas in de toplaag aangetroffen.

Uit het bodemonderzoek is gebleken dat de afdekklagen overwegend van dezelfde samenstelling zijn als de bovengronden in de omgeving: kleipercantage van 12 tot 30%, organischestofgehalten van 27 tot 66%. Opvallend is dat het elektrisch geleidingsvermogen in het bodemvocht van dempingen met shredder significant groter is dan in de afdeklaag of in bouw- en sloopafval. Dit duidt op een verhoogd elektrolytgehalte. De pH toont een variatie van 4,8 tot 7 met een uitschieter naar 8. Het gehalte aan opgeloste organische koolstof is aanzienlijk: 70 tot 485 mg/l, hetgeen verklaard wordt door het hoge gehalte aan organische stof van de gronden.

Toetsing van de totale gehalten aan zware metalen aan de streef- en interventiewaarden (gecorrigeerd voor klei en organischestofgehalte) laat zien dat de gehalten in zowel de afdekklagen als de bovengronden op de referentieplekken zonder uitzondering tussen beide waarden in liggen. De bovenste 0,05 m van het dempingmateriaal shredder overschrijdt voor de meeste zware metalen (Cd, Pb, Ni, Cu, Zn) de interventiewaarde. De overschrijdingen bedragen maximaal 2,2 keer voor cadmium, 6,3 keer voor lood, 3,2 keer voor nikkel, 19 keer voor koper en bijna 12 keer voor zink.

De potentieel beschikbare hoeveelheid zware metalen (0.43 M HNO₃-extract) blijkt voor vrijwel alle zware metalen ca. 0,4 tot 0,6 keer het totaalgehalte te bedragen, met uitzondering van chroom, waarvoor de potentiële beschikbaarheid slechts 0,07 keer het totaalgehalte is.

De actueel beschikbare hoeveelheid (0.002 M CaCl₂-extract) ten slotte toont voor de metalen cadmium, nikkel en zink een zekere samenhang met de potentieel beschikbare hoeveelheid.

De gemeten activiteiten van de metalen cadmium en zink zijn vergeleken met berekende activiteiten op basis van empirische relaties voor de adsorptie-isothermen. Er blijkt een redelijk verband te bestaan tussen het totaalgehalte en de actuele beschikbaarheid. Hieruit is

geconcludeerd, dat deze empirische relaties, die uit andere datasets zijn afgeleid, bruikbaar zijn voor de berekening van stoftransport in de bodem op dempingen.

Toetsing van landbouwkundige risico's heeft plaatsgevonden aan de hand van maximaal toelaatbare inname van zware metalen per kg lichaamsgewicht van rundvee. Gebleken is dat op geen der dempingen met een vermoede dikte van de afdeklaag groter dan 0,3 m, deze grenswaarden zijn overschreden. Wel bleek dat het geval te zijn op een locatie met een zeer dunne afdeklaag op shredder. Hier kon voor lood noch aan de veevoedernorm noch aan de Warenwetnorm voor rundervier worden voldaan. Vastgesteld is dat cadmium de grenswaarde dicht benadert (> 80%) op één referentielocatie. De inname van cadmium bedraagt 10 tot 80% van de grenswaarde. Voor koper belooft dit 12 tot 28%. Chroom en lood blijven beide onder de 5% van de grenswaarde. Voor de metalen zink en nikkel konden geen grenswaarden worden vastgesteld. Overigens zijn deze metalen niet kritisch.

Uit het verkennend onderzoek zijn de volgende (voorlopige) conclusies te trekken:

(a) Gehalten van de afdeklaag

Uit de analyses is niet gebleken dat de gehalten aan zware metalen in de afdeklaag en die van de gekozen referentielocaties onderling duidelijke verschillen. In dit onderzoek is voor referentielocaties midden op een perceel naast de dempingen gekozen. Daarbij is ervan uitgegaan dat de afdeklaag op een demping dezelfde samenstelling had als de toplaag in de omgeving ten tijde van het aanbrengen van het dempingmateriaal. Latere invloeden van atmosferische depositie en toevoer van zware metalen via kunst- en stalmest worden gelijk verondersteld. In deze optiek moeten gehalten van afdeklaagen op dempingen, die hoger zijn dan op de referentielocaties, worden toegeschreven aan de invloed van het dempingmateriaal.

(b) Gehalten van het gras

Behoudens voor zink (en in mindere mate voor cadmium en lood) blijkt er geen samenhang te zijn tussen de gemeten waarden in de bodem en die in het gras. Fysiologische eigenschappen van de planten bepalen in hoofdzaak hoeveel metaal wordt opgenomen en in welke mate dit in de plant wordt verplaatst. Geconcludeerd kan worden dat voor gehalten van zware metalen in gras (behoudens lood, cadmium en zink) zou kunnen worden uitgegaan van een zekere gemiddelde waarde onafhankelijk van de locatie en eventueel nog gecorrigeerd voor atmosferische depositie. In het verkennend onderzoek bleek zink in geen enkel geval de grenswaarde te overschrijden, zodat dit metaal niet verder geanalyseerd hoeft te worden. In het vervolgonderzoek lijkt daarom te kunnen worden volstaan met de analyse van de metalen lood en cadmium.

(c) Dikte afdeklaag

De meting van de dikte van de afdeklaag was bedoeld om te toetsen of de werkelijke dikte op onverdachte locaties (dikte onverdachte afdeklaag > 0,3 m) inderdaad gelijk of meer is dan 0,3 m. De dikte van de afdeklaagen op shredder blijkt amper aan deze eis te voldoen, terwijl op dempingen met bouw- en sloofafval deze dikte ruimschoots wordt gehaald. Hoewel statistisch niet onderbouwd, lijkt de gevonden dikte van onverdachte afdeklaagen op

shredder (0,21 – 0,24 m) onvoldoende. De overschrijding van de somparameter van zware metalen voor de toelaatbare dagelijkse inname op alle shredderdempingen is hiervoor een aanwijzing.

(d) Landbouwkundige risico's

Op basis van de benadering dat dierproducten geen humane risico's mogen vormen en moeten voldoen aan de warenwetnorm, blijkt dat er geen actuele landbouwkundige risico's bestaan op dempingen met een onverdachte afdeklaag. Wel is zo'n risico aangetroffen op een demping met shredder en een afdeklaag van minder dan 0,3 m dikte. Het aantal onderzochte locaties is onvoldoende om deze conclusie statistisch te onderbouwen. Gebleken is dat de bijdrage van zware metalen uit het oppervlaktewater aan de dagelijkse inname door runderen verwaarloosbaar is.

De veevoedernorm voor ruwvoer wordt op geen enkele locatie, ook niet op locaties met een verdachte afdeklaag, overschreden en mag ruwvoer dus vrij worden verhandeld. Overigens is geconcludeerd dat de veevoedernorm niet als criterium kan dienen voor de aan- of afwezigheid van landbouwkundige risico's.

(e) Bepaling veilige dikte afdeklaag

Met behulp van numerieke simulatie is de veilige dikte van de afdeklaag bepaald. De berekeningen zijn uitgevoerd voor het metaal cadmium voor een bodem die als grasland wordt gebruikt. Als maatstaf voor een veilige dikte is het ontbreken van enige invloed van dempingmateriaal op de opname van cadmium door gras.

De simulatie berust op de berekening van het transport van de verontreiniging in de bodem via de waterfase in opgeloste vorm en opname door het gras uit de waterfase. Daarbij is uitgegaan van een niet in de tijd of diepte veranderende overdrachtsfactor.

Rekening is gehouden met de richting van de waterstroom in de bodem die zowel neerwaarts (neerslagoverschot) als opwaarts (capillaire aanvoer naar de wortelzone) gericht kan zijn. Met een opwaartse stroming kan verontreiniging vanuit het dempingmateriaal naar de wortelzone worden gevoerd, die overigens door de neerwaartse stroming althans gedeeltelijk weer teniet wordt gedaan.

De concentratie van de verontreiniging in de bodemoplossing is berekend met behulp van empirische adsorptie-isothermen. De verdeling van geadsorbeerde en opgeloste stoffen is beschreven met partiticoëfficiënten die zelf weer een functie zijn van de activiteit van het zware metaal en calcium in de bodemoplossing, de pH, CEC en het percentage lutum. Deze coëfficiënten veranderen in de tijd. Hiermee is rekening gehouden.

De simulatie van verplaatsing van cadmium in de bodem en opname door het gras laat zien dat dit langzaam verlopende processen zijn. Tijdelijke opwaartse stroming (capillaire aanvoer van water naar de wortelzone) heeft een aantoonbare invloed op het verloop van de concentratie in verschillende lagen. In lagen boven het dempingmateriaal kan daardoor de concentratie tot boven de aanvankelijke waarde oplopen. Uitspoeling van cadmium heeft al na een korte tijd een sterk effect op de concentratie in de bovenste paar centimeter van de

afdeklaag. Pas na lange tijd (> 50 jaar) heeft uitspoeling ook effect op de diepere lagen. De opname van cadmium door gras toont vanaf het moment van aanbrengen van de afdeklaag een dalend verloop.

De verdeling van de opname van cadmium met de diepte laat ook een verschuiving zien. De opname uit de bovenste paar centimeter neemt relatief het snelste af. Wegens de niet-uniforme verdeling van de cadmiumopname door gras uit verschillende bodemlagen als gevolg van een niet-uniforme verdeling van de wateronttrekking kan er geen eenduidige relatie tussen het gehalte van gras en van de bodem (gemeten aan monsters met een zekere laagdikte) bestaan. Aanbevolen wordt om dit fenomeen nader te onderzoeken en na te gaan in hoeverre een nog te ontwikkelen bemonsteringsstrategie hieraan tegemoet kan komen.

Uit de simulaties blijkt dat als van landbouwkundige risico's wordt uitgegaan, de dikte van de afdeklaag niet erg kritisch is. Er zou al kunnen worden volstaan met diktes van 15 tot 20 cm. Wordt daarentegen geëist dat het dempingmateriaal geen enkele invloed mag hebben op de samenstelling van het gras (vergeleken met de referentiesituatie), dan zijn laagdiktes van minstens 30 cm noodzakelijk.

Uitspoeling van cadmium vanuit het dempingmateriaal naar de ondergrond, berekend door een vlak op 1 m onder maaiveld, blijkt ook in 100 jaar na aanleg van de afdeklaag slechts weinig af te nemen (minder dan 2%).

1. Inleiding

1.1 Achtergrond

Ten aanzien van verontreinigingen in het landelijk gebied gaan globale ramingen uit van ca. 3800 gesloten oude stortterreinen met een gezamenlijke oppervlakte van ca. 9000 ha (IWACO, 1993), 25.000 – 30.000 ernstig verontreinigde locaties (Versteegde, 1993) en 105.000 ha met een diffuse verontreiniging van zware metalen in de Brabantse Kempen, op de Limburgse lössgronden, in uiterwaarden van de grote rivieren, havenslibgronden (loswallen) en toemaakdekken in het veenweidegebied. Ongeveer 50% van alle verontreinigde terreinen in de Ecologische Hoofdstructuur zijn oude stortplaatsen.

Veel van de verontreinigingen zijn voor 1975 ontstaan, zodat de eigenaren niet gedwongen kunnen worden te saneren en daarvan de kosten te dragen. In principe draait de overheid hiervoor op. De beschikbare budgetten zijn beperkt en aanpak van verontreinigingen in het landelijk gebied heeft wegens het ontbreken van directe humaan-toxicologische bedreigingen geen prioriteit gekregen. Ook in landinrichtingsplannen ontbreken toereikende budgetten voor bodemsanering. Bovendien is sanering volgens de vroegere benadering onbetaalbaar. Aangezien nieuwe eigenaren van verontreinigde bodems wel gedwongen kunnen worden te saneren bleef stagnatie van kavelruil in landinrichtingsplannen en eigendomsoverdracht van terreinen bij de inrichting van de Ecologische Hoofdstructuur niet uit.

Voor het landelijk gebied kan in het algemeen worden gesteld, dat:

1. hoge kosten zijn verbonden aan de gangbare saneringstechnologieën;
2. kostenverhaal vaak niet mogelijk is;
3. de verplichting van nieuwe eigenaren om verontreinigde terreinen te saneren heeft geleid tot stagnatie in de voortgang van landinrichtingsprojecten en de inrichting van de Ecologische Hoofdstructuur;
4. bepaalde verontreinigingen een diffuus karakter hebben en daardoor moeilijk zijn aan te pakken.

1.1.1 Nieuwe initiatieven

Op 16 mei 1994, werd door de ministerraad de nota 'Gedragslijnen Bodemverontreinigingen in staatseigendommen' vastgesteld. Deze nota geeft de ministeries gedragsregels voor zowel gronden in bezit en beheer, als te verwerven gronden. Deze gedragslijn verplicht LNV om een onderzoek- en saneringsprogramma op te stellen voor de bewuste terreinen. Daarvoor heeft LNV in 1996 een 'Regie- en Stuurgroep Programma Bodemverontreiniging LNV' ingesteld die de lijst van verdachte bodems van SBB en DLG heeft geactualiseerd. Volgens de vigerende opvattingen gaat het om 218 verdachte locaties in beheer bij SBB en 98 bij DLG (i.c. het Bureau Beheer Landbouwgronden) (Projectgroep Bodemverontreiniging gronden Staatsbosbeheer en de Dienst Landelijke gebieden, 1997). Deze locaties betreffen alle landbodems; waterbodems zijn hier voorlopig buiten gehouden (Grontmij, 1996).

Terreinen met de grootste milieuproblemen zijn geselecteerd en daarvoor is met ondersteuning van DLO door LNV, SBB en DLG een (niet gepubliceerd) plan van aanpak opgesteld op basis van de principes van actief bodembeheer. Aangetoond werd dat in enkele extreme gevallen een kostenbesparing tot 95% van de oorspronkelijke raming mogelijk lijkt. Bepaalde voorstellen vergen echter nog nadere onderbouwing en voor de technische uitvoering nadere dimensionering.

Zeer recentelijk is besloten om de terreinen per provincie aan te pakken en zijn beginselafspraken gemaakt over de financiering.

1.1.2 BEVER-groen

In het kader van BEVER (Beleidsvernieuwing Bodemsanering, Ministerie van VROM) is een nieuwe beleidslijn uitgezet en vastgelegd (Interdepartementaal beleidsonderzoek en bodemsanering, Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergaderjaar 1996-1997, 19 juni 1997, nr. 25 411). Dit beleid beoogt verontreinigde locaties zodanig aan te pakken, dat de functie die aan de gereinigde locatie is toegekend, niet geschaad wordt (functiegericht saneren). Ook zullen beheersvormen worden ontwikkeld om de bodem op de lange termijn weer multifunctioneel te maken. Deze aanpak wordt aangeduid met de term actief bodembeheer.

Om de stagnatie in de aanpak van bodemverontreinigingen in het landelijk gebied op te heffen is door het Ministerie van LNV het project BEVER-groen gestart. Actiepunten van BEVER-groen zijn (mondelinge mededeling dr. Lex Dop, 1998):

- ontwikkeling van de Leidraad beoordeling bodemkwaliteit (hulpmiddel ten behoeve van behoud, herstel en ontwikkeling van natuurwaarden op verontreinigde locaties);
- integrale aanpak binnen landinrichting- en natuurontwikkelingsprojecten (pilotprojecten zijn Krimpenerwaard en Groninger wijken);
- sectorale benadering (bv. champignonteelt);
- ontwikkeling van een financieel instrumentarium voor koppeling private en overheidsfinanciering voor bodemsanering in het landelijk gebied.

1.2. De casus Krimpenerwaard

Het herinrichtingsplan voor de Krimpenerwaard omvat ca. 12.000 ha veenweidegebied waarin 2000 ha reservaatgebied en 500 ha natuurterrein zal worden ontwikkeld. Daarbij worden knelpunten gesignaleerd die samenhangen met de aanwezige bodemverontreinigingen. In 1996, toen het planvormingsproces in de eindfase verkeerde en de hoofdlijnen van de uiteindelijke functie-indeling vast lagen, is een pilotproject gestart dat gericht is op de integrale aanpak van de bodemverontreiniging in het gebied. Dit project dat op initiatief van de Provincie Zuid-Holland in samenwerking met DLG, VROM en LNV tot stand kwam, staat bekend als 'Pilotproject Krimpenerwaard' en geldt nu als voorbeeld voor actief bodembeheer ('BEVER-benadering') in het landelijk gebied (Leenaers *et al.*, 1999).

Het projectteam heeft aanbevolen om binnen het plangebied alle verontreinigingen op te vatten als één geval van ernstige verontreiniging, waardoor de procedure voor de aanpak zeer sterk kon worden vereenvoudigd. Uitgangspunten voor de aanpak zijn:

- wegnemen van functiegebonden actuele risico's;
- realiseren van een standstill-situatie.

Het pilotproject is feitelijk een grootschalige proef waarin zowel nieuwe procedures als principes van actief bodembeheer zijn ontwikkeld en waarin voor de financiële problemen samen met de eigenaren, belangengroepen en overheden een oplossing is gevonden.

De kern van de aanpak in de Krimpenerwaard is:

1. het afsluiten van een bestuursovereenkomst tussen betrokkenen en overheden waarin de financiële regelingen zijn neergelegd;
2. de oprichting van een Stichting Bodembeheer Krimpenerwaard (SBK) voor de uitvoering van die overeenkomst;
3. de toezegging van het bevoegd gezag af te zien van saneringsbevelen als eigenaren van verontreinigde locaties een bodembeheerovereenkomst aangaan met de SBK.

De benodigde informatie voor het maken van een kostenraming van de saneringsoperatie bleek slechts zeer beperkt beschikbaar. Op basis van die beperkte informatie zijn aannamen gedaan omtrent de aard en ernst van de verontreiniging van categorieën dempingmateriaal, bodemkwaliteitseisen voor de verschillende functies (Pilotproject Krimpenerwaard, 1998) en effectiviteit van de saneringsopties (Dolfing *et al.*, 1997). Aan de hand van deze aannamen is een schatting gemaakt van het aantal ernstig verontreinigde dempingen die volgens de saneringsopties aangepakt kunnen worden. Aansluitend is een raming van de saneringskosten gemaakt. Bij de bestuursovereenkomst hoort nu een plan van aanpak, waarin onder meer is aangegeven dat de uitgangspunten en aannamen die ten grondslag hebben gelegen aan het uitvoeringsplan, geverifieerd en onderbouwd moeten worden (Pilotproject Krimpenerwaard, 1998).

1.3 Behoeftte aan onderzoek

Bij landinrichtingsvraagstukken en natuurontwikkelingsprojecten in gebieden met bodemverontreiniging is een goed inzicht in de relatie tussen de bodemkwaliteit en de bodemgebruiksfunctie van essentieel belang en behoeft nadere uitwerking (Dobben en Faber, 1997). In het landelijk gebied geldt dit voor de functies wonen, akker-, weide- en tuinbouw, natuur en recreatie.

In de nabije toekomst zal het steeds meer gaan om het wegnemen en de beoordeling van risico's van verontreinigingen voor de bodemgebruiksfunctie. Daarvoor is een goed begrip van risico's nodig en inzicht in de wijze waarop die tot stand komen en kunnen worden bepaald. Wij gaan ervan uit dat naast de stofgerichte benadering die vereist dat we a priori weten welke stoffen in het spel zijn, ook biologische modeltoetsen die een veel algemener beeld geven, nadere uitwerking behoeven.

Actief bodembeheer in het landelijk gebied zal primair uitgaan van risicobeoordeling voor de aanwezige of geplande bodemfunctie en pas in tweede instantie van daadwerkelijke sanering. Saneringen zullen overwegend bestaan uit het aanbrengen van een schone afdeklag al dan niet in combinatie met gebruiksbependingen en waterhuishoudkundige maatregelen.

1.4 Focus van het onderzoek

Verontreinigingen in het landelijk gebied kunnen in verband worden gebracht met landbouwkundige, humaan-toxicologische, ecotoxicologische en verspreidingsrisico's.

Onder landbouwkundige risico's wordt de opname van verontreinigingen in gewassen begrepen die daarvan zelf nadelige effecten ondervinden (Broekema, niet gedateerd) of gezondheidsrisico's opleveren voor de consument (mens en dier). Tot landbouwkundige risico's hoort ook de onvermijdelijke ingestie van verontreinigde grond door grazend vee (Landbouwadviscommissie, 1991) en drenking met verontreinigd oppervlaktewater.

Verontreinigingen in dempingen en ophogingen in het landelijk gebied betreffen hoofdzakelijk de weinig mobiele stoffen. Kans op (snelle) verspreiding is daardoor (vrijwel) afwezig.

Hoewel humaan-toxicologische risico's van verontreinigingen op erven, moestuinen en recreatie-inrichtingen in de Krimpenerwaard aanwezig kunnen zijn, zijn deze wegens hun relatief gering voorkomen buiten dit onderzoek gelaten. Wel worden in samenhang met dit onderzoek ecologische risico's van verontreiniging en de mogelijkheden van natuurontwikkeling op verontreinigde bodems door het v.h. IBN-DLO (Alterra) onder de loep genomen. Risico's van verontreiniging van oppervlaktewater door verontreinigde grond valt binnen de kaders van het verspreidingsonderzoek, dat door IWACO wordt uitgevoerd.

Het onderzoek richt zich met name op verontreinigingen met zware metalen, PAK en olie en de daarmee samenhangende landbouwkundige risico's. Daarnaast hebben de beoordeling van de effectiviteit en duurzaamheid van maatregelen die deze risico's wegnemen, een prominente plaats in dit onderzoek.

1.5 Leeswijzer

De opzet van het onderzoek is in hoofdstuk 2 beschreven en geeft aan dat dit in fasen wordt uitgevoerd. Hoofdstuk 3 gaat in op het veld- en laboratoriumonderzoek: achtergrond van de locatiekeuze, metingen, analyses en beoordeling van landbouwkundige risico's. Het hoofdstuk eindigt met een aantal conclusies over de gehalten aan zware metalen in het gewas, de afdekklagen en de dempingen zelf en de betekenis daarvan voor de risicobeoordeling. Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van het modellenpakket waarmee de kans op herverontreiniging van schone afdekklagen kan worden benaderd onder aanname dat

er geen grondbewerking en andere vormen van grandomzetting plaatsvinden. Rekenvoorbeelden op basis van representatieve datasets zijn gegeven. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een aantal conclusies over de effectiviteit van afdeklagen voor de beperking van uitspoeling en opname van zware metalen, speciaal Cd, zoals die naar voren komen uit deze eerste fase van het onderzoek.

2. Opzet onderzoek

Het onderzoek is zodanig opgezet dat het een objectieve methode oplevert voor de beoordeling van landbouwkundige risico's die zijn verbonden met verontreinigde bodems en bodems die volgens de principes van actief bodembeheer zijn gesaneerd. Daarnaast beoogt het onderzoek de aannamen te verifiëren die ten grondslag liggen aan het plan van aanpak in de Krimpenerwaard.

2.1 Aannamen bodemkwaliteitseisen

Ten aanzien van de landbouwfunctie in de Krimpenerwaard zijn in het beheerplan (Pilotproject Krimpenerwaard, 1998) een aantal randvoorwaarden en bodemkwaliteitseisen gedefinieerd (tabel 1).

Tabel 1. Samenvatting randvoorwaarden en bodemkwaliteitseisen voor de functie landbouw

Randvoorwaarde	Bodemkwaliteitseisen
Geen fysieke belemmeringen	30 cm deklaag
Gewas geschikt voor veevoeder	Veevoedernorm (LAC-signaalwaarde als hulp-parameter)
Grasland geschikt voor beweiding	Methodiek RIKILT (verder uitwerken met DLO)
Slootwater geschikt voor veedrenking en eventueel beregening	Grenswaarden oppervlaktewater (eventueel I-waarde waterbodem)
Geen humane risico's bij erven	MTR-waarden voor wonen met (moes)tuin
Geen nadelige beïnvloeding van het grondwater	Eerste watervoerend pakket: behouden van huidige kwaliteit, drinkwatergebied, streefwaarden.

Fysieke belemmeringen zijn aanwezig indien beweiding en noodzakelijke (grond)-bewerkingen als mestinjectie en herinzaai van gras of de eventuele teelt van andere voedergewassen niet mogelijk is zonder dat verwonding van vee en schade aan landbouwwerktuigen ontstaat als gevolg van het (fysiek) aanwezig zijn van scherp of grof afval in de bovengrond.

Eisen vanuit het oogpunt van milieuhygiëne betreffen:

- gras en eventueel andere veevoedergewassen die worden geteeld op de gedempte sloten, dienen geschikt te zijn als veevoeder. Veevoeder dient zonder beperkingen bruikbaar en verhandelbaar te zijn;
- grasland dient geschikt te zijn voor beweiding (koeien, schapen, geiten, paarden);

- er mogen geen humane risico's zijn op erven op basis van MTR-waarden;
- slootwater dient geschikt te zijn voor veedrenking en eventueel beregening;
- de kwaliteit van het grondwater in het eerste watervoerend pakket buiten het grondwaterbeschermingsgebied dient in beginsel behouden te blijven (standstill-beginsel) en het grondwater in het watervoerend pakket waaruit drinkwater wordt gewonnen, mag niet nadelig worden beïnvloed.

De laatste drie onderwerpen maken geen deel uit van dit onderzoek.

Aangenomen is dat geen fysieke belemmeringen worden ondervonden op verdacht dempingmateriaal bij een dikte van de deklaag van meer dan 30 cm. Dempingmateriaal dat mogelijk fysieke belemmeringen veroorzaakt betreft: bouw en sloopafval, huishoudelijk afval, industrieel en bedrijfsafval, shredder, lompen en scheepsafval. Indien veehouders een dunnere afdeklaag acceptabel vinden om fysieke belemmeringen te ondervangen, is dit ook toegestaan.

2.2 Te toetsen aannamen

Bij de voorbereiding van het beheerplan is gekozen voor een globale benadering van de risico's en bruikbaarheid van de saneringsoplossingen. Het verificatieonderzoek is bedoeld om vast te stellen of de aannamen juist zijn en onderbouwd kunnen worden. De aannamen hebben betrekking op de verwachte overschrijding van bodemkwaliteitseisen bij aanwezigheid van verdacht materiaal voor verschillende gebruiksfuncties. De volgende aannamen/ hypotheses vragen om verificatie:

1. onverdacht materiaal levert geen fysieke en milieuhygiënische risico's op;
2. verdacht materiaal met een afdeklaag met een dikte van tenminste 0,3 m en vrij van verdachte bijmengingen levert geen fysieke en milieuhygiënische risico's op;
3. deklagen dunner dan 0,3 m vormen fysieke risico's op dempingen bestaande uit: bouw- en sloopafval, huishoudelijk afval, industrieel en bedrijfsafval, shredder en lompen of scheepsafval;
4. de veevoedernorm biedt voldoende bescherming om overschrijding van warenwetnormen in veehouderijproducten te voorkomen, indien vee alleen gras/veevoedergewas consumeert;
5. inname van verontreinigde grond zou te samen met grasconsumptie op verdachte slootdempingen tot gezondheidseffecten bij het vee kunnen leiden en tot overschrijding van veevoedernormen. Milieuhygiënisch verdachte slootdempingen zijn sloten gedempt met de in tabel 2 genoemde verdachte materialen, met een afdeklaag dunner dan 0,3 m of een afdeklaag met verdachte bijmengingen).

2.3 Onderzoekvragen

Het verificatieonderzoek is bedoeld om te toetsen of de aannamen kloppen en onderbouwd kunnen worden. De aanwezigheid van scherpe voorwerpen in de toplaag van grasland is altijd verdacht, zodat dat aspect geen nader onderzoek behoeft. Wel van belang is of verdachte bijmengingen en dunne afdekklagen op verdacht dempingmateriaal een milieuhygiënisch risico vormen. De kernvraag is hoe betrouwbaar de schattingen zijn van de milieuhygiënische risico's van de onderscheiden soorten dempingmateriaal en bijmenging. Cruciaal is de vraag of dempingen die op grond van algemene kenmerken als verdacht zijn aangewezen ook daadwerkelijk verdacht zijn (achtergronddocument, p. 12). Van belang is of verontreinigingen via de route grond-[bodemplossing-plant]-dier in landbouwproducten terechtkomen en daarvan de kwaliteitsnormen volgens de Warenwet doen overschrijden.

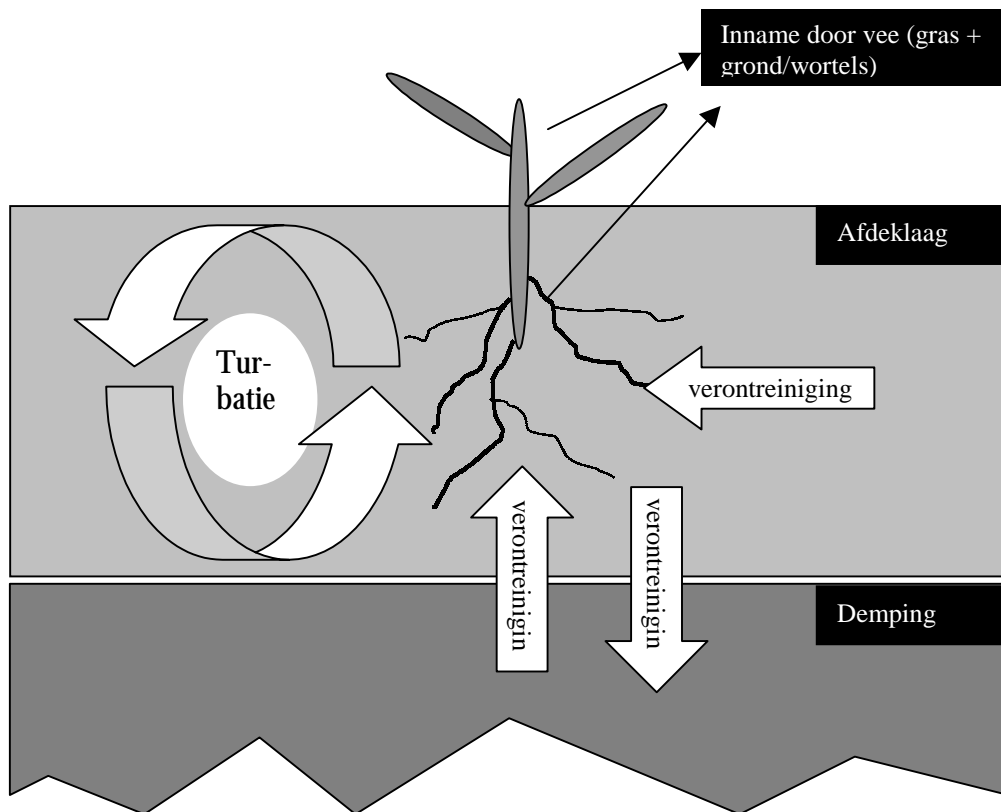
Voor het beantwoorden van deze kernvraag zijn een aantal onderzoekvragen geformuleerd. Met betrekking tot landbouwkundige risico's betreffen deze:

1. Vormen bijmengingen in afdekklagen van dempingen daadwerkelijk een landbouwkundig risico en zo ja, hangen deze samen met de aard en samenstelling van het dempingmateriaal? Van belang is of verontreinigingen aanwezig zijn en worden opgenomen door het gewas (gras). Is dat het geval, dan is van belang om welke verontreinigingen het gaat, welke concentraties en onder welke omstandigheden. De vraag is of in het algemeen een eenduidige relatie bestaat tussen beschikbaarheid van opgeloste verontreiniging in het bodemvocht en opname door het gewas;
2. Is een schone laag van ten minste 0,3 m voldoende voor de functie landbouw en recreatie? Welke factoren spelen een rol bij de bepaling van deze dikte en welke tolerantie is acceptabel. De schone laag moet contactrisico's uitsluiten. Bovendien mag in een bepaalde laagdikte geen herverontreiniging plaatsvinden. Als gevolg van welke processen kunnen op dempingen waar nu geen risico aanwezig is, risico's ontstaan. Hierbij kan gedacht worden aan verplaatsing van bodemmateriaal in de toplaag als gevolg van insporende werk- en voertuigen en vertrapping door vee. Ook maaiveldddaling en aanpassing van het polderpeil kunnen in de dempingen gevolgen hebben voor de biobeschikbaarheid en het uitlooggedrag van verontreinigingen. Het gaat hierbij om veranderingen van bijvoorbeeld de pH en afname van de hoeveelheid organische stof (afbraak). Verwacht wordt dat maaiveldddaling bij dempingen geringer zal zijn dan elders, waardoor er in de dempingen ten gevolge van aanpassing van polderpeilen, geleidelijk gedurende langere tijd en over grotere diepte aërobe situaties zullen worden aangetroffen. Verandering van de biobeschikbaarheid kan invloed hebben op opname van verontreinigingen door gewassen. In natuurterreinen kan dat invloed hebben op ecologische risico's. Transport van opgeloste verontreiniging in opwaartse richting kan in combinatie met andere factoren de biobeschikbaarheid vergroten.

2.4 Onderzoekhypothese

Landbouwkundige risico's betreffen in dit onderzoek de gevolgen van de inname van verontreinigingen via gras en voedergewassen en bij grazend vee ook de ingestie van aanhangende grond. De kwaliteit van de bovengrondse gewasdelen wordt bepaald door de opname van verontreiniging in de wortelzone van het gewas, terwijl bij ingestie vooral de bodemkwaliteit in de bovenste 0,05 m van de bodem van belang is.

In figuur 1 zijn de verontreinigingroutes en processen schematisch weergegeven. Voor de langere termijn kunnen verontreinigingen uit dempingmateriaal als gevolg van opwaartse capillaire stromingen in de zomerperiode in de toplaag geraken en afhankelijk van de dikte van de afdeklaag en de bewortelingsdiepte door het gewas worden opgenomen. Door verplaatsing van grond in de afdeklaag (grondbewerking, insporing, vertrapping) kunnen verontreinigingen uit het dempingmateriaal ook binnen het bereik van plantenwortels komen.



Figuur 1. Schematische voorstelling van routes van verontreinigingen voor het ontstaan van landbouwkundige risico's (turbatie door vertrapping door vee, insporing van werk- en voertuigen, activiteit van bodemdieren)

Een soortgelijk effect kan worden verwacht wanneer de dikte van de afdeklaag als gevolg van aanzienlijke verliezen (oxidatie) van organische stof afneemt.

Ten aanzien van landbouwkundige risico's wordt uitgegaan van de volgende onderzoekshypotheses:

1. De beschikbaarheid van verontreiniging voor planten wordt bepaald door de concentratie (activiteit) ervan in de bodemoplossing in de wortelzone en een laag onder de wortelzone van waaruit via capillair transport een verontreiniging tot in de wortelzone kan worden verplaatst.
2. De concentratie (activiteit) van de verontreiniging wordt bepaald door fysisch-chemische eigenschappen in de zone zoals bedoeld sub 1.
3. Vermoed wordt dat de beschikbare hoeveelheid voor planten bepaald wordt door de aard en mate van de bijmenging in de afdeklaag en de aard van het dempingmateriaal, voor zover aanwezig binnen de hiervoor genoemde zone (wortelzone en effectieve capillaire zone onder de bewortelingzone).
4. Externe factoren kunnen invloed hebben op de beschikbaarheid van een verontreiniging voor planten, zoals zure atmosferische depositie, verlies van organische stof (afbraak) en aanpassingen van het polderpeil.
5. De veevoedernorm is gebaseerd op een maximale dagelijkse inname van verontreiniging. Deze maximale inname dient als basis voor de beoordeling van toelaatbare ingestie van grond bij grazend vee plus de inname van verontreiniging via gras en/of veevoer (en oppervlaktewater).
6. Landbouwkundige risico's zijn verwaarloosbaar als de maximale dagelijkse inname door vee niet wordt overschreden, er van uitgaande dat al het voer afkomstig is van verontreinigde locaties (en fysieke belemmeringen afwezig zijn).

De doelstelling van het onderzoek is om de hypothesen te toetsen door:

1. vaststellen bij welke combinatie van (verdachte) afdeklaag en verdacht dempingmateriaal de veevoedernorm voor gras en voedergewassen wordt overschreden;
2. bepalen van de samenhang tussen beschikbaarheid van de verontreiniging in de wortelzone en de aangetroffen hoeveelheid in bovengrondse plantendelen;
3. bepalen van de samenhang tussen fysisch-chemische factoren, aard mate van bijmenging en aard van dempingmateriaal en beschikbaarheid van verontreiniging in de wortelzone en effectieve capillaire zone;
4. vaststellen van de maximale inname van verontreiniging door grazend vee op verdachte locaties.

Sanering van verdachte locaties bestaat uit het aanbrengen van een laag schone grond die zo'n dikte heeft dat de verontreiniging voldoende geïsoleerd is en niet langer een risico vormt voor het gewas en grazend vee. De vraag is welke dikte deze laag moet hebben als in aanmerking wordt genomen dat door langzaam verlopende processen herverontreiniging zou kunnen optreden. De vijfde doelstelling van het onderzoek is dan ook:

5. bepalen van een veilige dikte van de afdeklaag, de huidige kwaliteit in aanmerking genomen.

In dempingmateriaal en afdeklagen zijn verontreinigingen niet homogeen verdeeld. Bovendien is niet zeker of de chemische samenstelling van de afdeklaag enige relatie heeft met het dempingmateriaal. Conclusies ten aanzien van risico's kunnen slechts met een zekere onnauwkeurigheid (zekerheid) worden getrokken. Om deze onzekerheid te benaderen wordt de (statistisch te benaderen) ruimtelijke spreiding van verontreiniging in de bovenste decimeter(s) van de afdeklaag bepaald.

2.5 Keuze onderzoeklocaties

2.5.1 Klasse-indeling dempingen

De dempingen in de Krimpenerwaard zijn ingedeeld in een aantal categorieën op basis (1) de aard van het dempingmateriaal, (2) de dikte van de afdeklaag en (3) de aanwezigheid van (verdachte) bijmengingen in de afdeklaag.

Het dempingmateriaal is op basis van 12 onderscheiden categorieën en resultaten van chemisch/analytisch onderzoek ingedeeld in materiaal dat zeker, mogelijk en geen milieuroisico's zal veroorzaken (tabel 2).

Tabel 2. Verwachte milieuhygiënische risico's van dempingmateriaal

Dempingmateriaal	Milieuhygiënische risico's	Mogelijke milieuhygiënische risico's	Geen milieuhygiënische risico's
Bouw- en sloopafval	X		
Huishoudelijk afval	X		
Industrieel en bedrijfsafval	X		
Shredder	X		
Lompen	X		
Houtafval			X
Baggerspecie		X	
Grond			X
Agrarisch afval			X
Takkenbossen			X
Scheepsafval	X		
Onbekend		X	

Bij 6 categorieën is sprake van een milieuhygiënisch risico en is sanering waarschijnlijk. Bij 2 categorieën is mogelijk een risico aanwezig en is sanering aannemelijk in 1 op de 4 gevallen.

De dempingen zijn op grond van eerder verzamelde informatie ingedeeld in verdachte en niet-verdachte locaties en omdat de informatie niet compleet is, is ook nog een groep

‘onbekend’ ingevoerd. Er is onderscheid gemaakt tussen deklaag en dempingmateriaal. Een deklaag wordt overigens ook tot de verdachte groep gerekend als er voor de beoogde gebruiksfunctie fysieke belemmeringen aanwezig zijn (bijvoorbeeld scherpe voorwerpen in grasland) (tabel 3).

Tabel 3. Indeling dempinglocaties in groepen

Groep	Deklaag	Dempingmateriaal	Vermoed percentage
A	Verdacht of < 0,3 m	Verdacht	77
B	Onverdacht	Verdacht	9
C	Verdacht	Onverdacht	0
D	Onverdacht	Onverdacht	14

De saneringsmaatregelen zijn afhankelijk gesteld van risico's. Voor het wegnemen van contact-risico en fysieke belemmeringen is aangenomen dat een laag schone grond van 0,3 m op verdacht materiaal voldoende is.

2.5.2 Locatiekeuzecriteria

Voor het onderzoek zijn locaties geselecteerd die representatief zijn en tevens bruikbaar voor het verspreidings- en ecotoxicologisch onderzoek, als volgt:

1. onverdachte afdekkingen > 0,3 m op verdacht dempingmateriaal;
2. onverdachte afdekkingen < 0,3 m op verdacht dempingmateriaal;
3. afdekkingen met bijmenging op verdacht dempingmateriaal;
4. aanwezigheid van zandbanen en donken;
5. lokaal polderpeil;
6. grasland als bodemgebruik.

De opties 4 en 5 zijn niet meegenomen in fase 1 van het onderzoek.

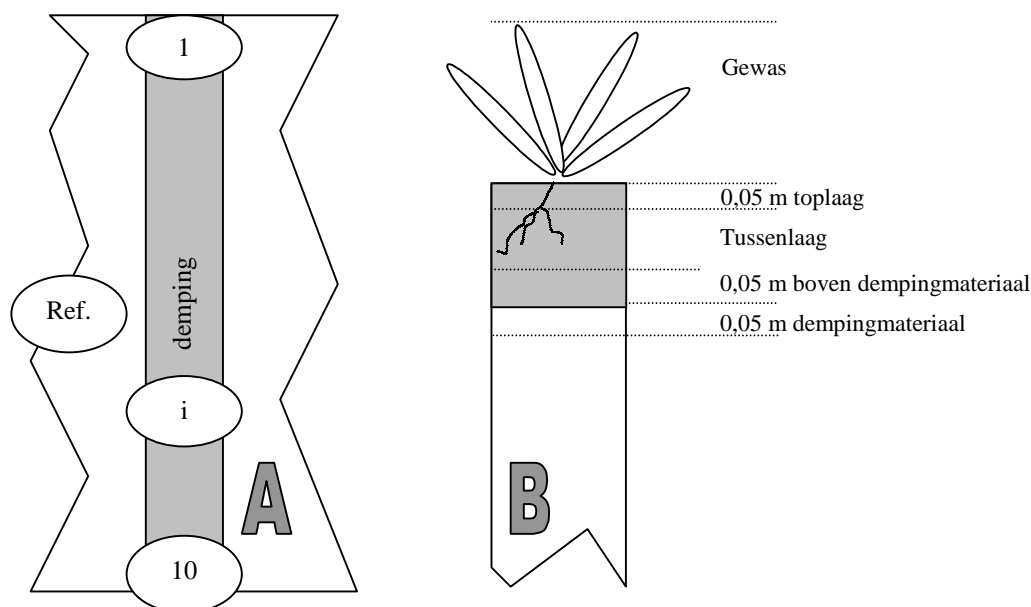
Verder is gestreefd naar een lengte van de dempingen van meer dan 100 m en zijn 9 verschillende soorten dempingmateriaal in het onderzoek betrokken. Van elk type locatie zijn er 2 geselecteerd, zodat uiteindelijk $2 \times 3 \times 9 = 54$ locaties bemonsterd zullen worden.

Het veldonderzoek van de chemische samenstelling van grond en gewas op verschillende type dempingen is opgesplitst in twee stappen: (I) het verkennend onderzoek, en (II) het breed onderzoek. In het verkennend onderzoek (dit rapport) zijn voor de eerste drie keuzecriteria ieder twee dempingen gekozen waarvan het dempingmateriaal tot de extremen behoort: shredder en bouw- en sloopafval. Op deze locaties, totaal 6 stuks, zijn de grond en het gewas onderzocht. Bemonstering van de overige locaties in fase II van dit onderzoek zal pas plaatsvinden als de noodzaak daarvan uit het verkennend onderzoek blijkt.

2.6 Bemonstering

Op de geselecteerde locaties zijn de afdeklaag en de bovenzijde van het dempingmateriaal bemonsterd en zijn de dikte van de afdeklaag en de bewortelingsdiepte van het gras gemeten. Gewasmonsters zijn op dezelfde plek genomen.

Bemonstering van de afdeklaag en dempingmateriaal begint met het graven van een 'profielkuil' met een oppervlak van ca. $0,25 \times 0,25$ m. Visueel wordt eerst de overgang van afdeklaag en dempingmateriaal bepaald en de dikte van de afdeklaag gemeten. Voor de bemonstering van de bovenste 0,05 m van de afdeklaag is een volume grond van ca. $0,05 \times 0,25 \times 0,25$ m op die plek met de spade ontgraven en in een plastic bak gemengd. Daaruit is een grondmonster genomen (ca. 50 g). Op soortgelijke wijze zijn de monsters van de overige lagen genomen. De afdeklaag is, afhankelijk van de dikte, in twee lagen bemonsterd: de bovengrond van 0-0,05 m-mv en de onderste laag van 0,05 m dikte direct



Figuur 2. Schematische weergave bemonsteringen: monsterplekken dempinglocatie (A) en te bemonsteren lagen (B)

boven het dempingmateriaal. Van het dempingmateriaal is de bovenste 0,05 m bemonsterd (figuur 2). Op deze wijze is iedere demping in 10-voud bemonsterd, waarbij de monsterplekken op onderling gelijke afstanden zijn gekozen (figuur 2). Ter controle en als referentie is op soortgelijke wijze de strook naast de demping bemonsterd in 3-voud.

Alle grondmonsters zijn vervolgens gesplitst. De ene helft is bewaard voor later onderzoek. De andere helft is gemengd met de overige monsters van dezelfde locatie. Van deze mengmonsters is ten slotte de chemische samenstelling bepaald.

Direct naast en aansluitend op de profielkuil is het gewas (gras) bemonsterd over een oppervlakte van ca. $0,30 \times 0,30$ m ten behoeve van de gewasanalyse. Daartoe is het kort afgeknipt tot een hoogte van ca. 2,5 cm. De grond- en gewasmonsters zijn dus afkomstig van ongeveer dezelfde plek.

2.7 Grond- en gewasonderzoek

Bij de keuze van de analyses van grond en gewas is rekening gehouden met het gebruik van de resultaten. Voor de beoordeling van landbouwkundige risico's sec, kan worden volstaan met de bepaling van het totaalgehalte. Bij de beoordeling van duurzaamheid van saneringsoplossingen speelt enerzijds de totale uitlogbare hoeveelheid onder natuurlijke omstandigheden ('maximale beschikbaarheid') een rol, anderzijds de uitloogsnelheid, waarbij de concentratie in de bodemoplossing van belang is. De concentratie in de bodemoplossing hangt samen met de maximale beschikbaarheid en parameters als pH, activiteit in de oplossing, *etc.*

Verontreinigende organische verbindingen en zware metalen komen in de bodem in twee hoofdvormen voor: geadsorbeerd aan de vaste fase en in de bodemoplossing. Metalen komen in de bodemoplossing in het algemeen in drie vormen voor: (1) als vrij ion (Me^{2+}), (2) als simpele anorganische complexen, zoals hydroxy-complexen ($MeOH^+$), en (3) als complexen met opgeloste organische verbindingen zoals humus- en fulvozuren. De verdeling van het metaal over deze verbindingen wordt aangeduid als de speciatie in de bodemoplossing (Ter Meulen-Smidt *et al.*, 1997).

Gebleken is dat de speciatie van zware metalen in de Nederlandse gronden die niet beïnvloed worden door zeewater, wordt bepaald door de organische (humus- en fulvozuur-)complexen. Als maat voor de concentratie aan opgeloste complexe organische verbindingen wordt het DOC-gehalte (Dissolved Organic Carbon) gebruikt. Voor organische verontreinigingen geldt eveneens dat zij gebonden zijn aan de vaste organische stof en aan DOC. Verder komen zij opgelost in water voor.

Er bestaat een samenhang tussen de in water opgeloste en aan de vaste fase geadsorbeerde stoffen. Deze samenhang wordt beschreven met de verhouding tussen het gehalte geadsorbeerde stoffen aan de vaste fase en de concentratie in de bodemoplossing, aangeduid als distributiecoëfficiënt. De distributiecoëfficiënt is niet constant, maar hangt af van de concentratie (activiteit) in de bodemoplossing. Reinds *et al.* (1995) beschrijven deze coëfficiënt met een Freundlich-model en relateren deze aan bodemkenmerken (organische stof, CEC, lutum) en macro-chemische eigenschappen van het bodemvocht (pH, calcium-activiteit).

Voor organische stoffen wordt de distributiecoëfficiënt gerelateerd aan de hoeveelheid organische koolstof (~0,56 van de hoeveelheid organische stof) en de wateroplosbaarheid van de stof (Lagas *et al.*, 1990).

Om nu te bepalen welke stoffen geanalyseerd moeten worden is nagegaan welke stoffen door planten worden opgenomen en getransporteerd naar bovengrondse delen (tabel 4). Daarnaast is de samenhang tussen opname en activiteit in de bodemoplossing van belang. Als maat voor de accumulatie van verontreiniging in de plant wordt wel de bioconcentratiefactor (BF) gehanteerd. Deze geeft de verhouding weer tussen de concentratie in het plantenweefsel en de bodemoplossing. Globaal geldt dat de BF van verschillende zware metalen een afnemende reeks is met een hoogste waarde voor cadmium: Cd > Zn > Pb > Cu > Cr > Ni. De metalen kobalt, mangaan, molybdeen, vanadium, tin en selenium worden zelden als verontreinigende stoffen aangetroffen (Broekema, niet gedateerd).

Tabel 4. Stoffen die door planten worden opgenomen en worden getransporteerd in de plant naar de bovengrondse delen

Stof	Plant	Concentratie gradiënt
Cadmium	Gras, granen, appel/peer, knolgewassen, bladgroenten	Vrucht < knol/bol < blad
Zink	Gras, bladgroenten, aardappel	Blad < stengel < wortel
Lood	Gras, maïs, peen, komkommer, bladgroenten, aardappel; (bij lage pH synergisme met Cd). Vaak atmosferische depositie op blad. Opnamen gering.	Korrel/knol < blad < wortels
Koper	Gras, diverse	Knol < stengel/blad < wortel (aardappel) Wortel < stengel (kropaar) Blad < vrucht (tomaat)
Chroom	Diverse; Cr ⁶⁺ zo fytotoxisch dat plant afsterft	Knol < wortel
Nikkel	Diverse	Vrucht/knol < stengel < blad
Kwik	Opname afhankelijk van vorm van voorkomen. Ion-vorm van methylkwik relatief gemakkelijk; metallisch kwik amper.	BF zeer gering. Rest plant << wortel

De meeste organische verbindingen worden niet of amper door gewassen opgenomen. In zeer geringe hoeveelheden worden 'drins' opgenomen en getransporteerd in de plant in tegenstelling tot dioxines die wel worden opgenomen, maar waarbij dat niet het geval is.

Op grond van het voorgaande is een analysepakket samengesteld, waarbij zowel de totale gehalten van zware metalen en PAK's in de bodem worden vastgesteld als de parameters waarmee de activiteit en concentratie in het bodemvocht kunnen worden bepaald. Daarnaast is van de zware metalen de maximaal (= potentieel) beschikbare hoeveelheid bepaald, als volgt:

Actuele beschikbaarheid zware metalen

De actuele beschikbaarheid van verontreinigingen (zware metalen) is bepaald met 0.002 M CaCl₂ (Van Hooft, 1995). Hiertoe is het monster gedurende 16 uur end-over-end geschud met 40 ml 0.002 M CaCl₂. Na centrifugeren bij 3000 omwentelingen per minuut gedurende 10 minuten wordt het extract geanalyseerd op de concentratie Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, en Zn met behulp van de ICP (Perkin Elmer Optima 3300 DV).

Maximale (= potentiële) beschikbaarheid zware metalen

Voor de bepaling van de maximale of potentiële hoeveelheid zware metalen in de monsters wordt een extractie uitgevoerd met 0.43 N salpeterzuur (Häni and Gupta, 1985). Hiervoor wordt 4 g grond met 40 ml 0.43 N salpeterzuur 4 uur end-over-end geschud met 60 omwentelingen per minuut. Na centrifugering bij 300 omwentelingen per minuut gedurende 10 minuten is het extract geanalyseerd op de concentratie Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, en Zn met behulp van de ICP (Perkin Elmer Optima 3300 DV).

Totaal gehalte zware metalen

Voor de bepaling van het totaalgehalte aan zware metalen in grond en gewas is een intern voorschrift gebruikt dat is afgeleid van NEN 5751. Hierbij wordt 1 gram monster met 12 ml zoutzuur en 4 ml salpeterzuur (koningswater-mengsel) gedurende 2,5 uur verhit bij 165°C. Het destuaat wordt met behulp van de ICP geanalyseerd op de concentratie As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb en Zn (Thermo Jarrell Ash en Perkin Elmer Optima 3300 DV). De concentratie Hg is bepaald met de AAS-hydride (Perkin Elmer 2100 met FIAS 200).

Voorts zijn bepaald:

pH-water en EC

Voor de bepaling van pH-water en het elektrisch geleidingsvermogen (EC) is een intern voorschrift gebruikt, gebaseerd op NEN 5750 en NEN 5749. Van het grondmonster wordt een suspensie gemaakt van 5 gram monster met 25 ml water. Na 2 uur intensief schudden worden in de suspensie de pH en de EC bepaald.

Kationenuitwisselingscapaciteit (CEC)

Voor de bepaling van de actuele kationen uitwisselingscapaciteit (CEC) en de uitwisselbare basische kationen in de grondmonsters wordt gebruik gemaakt van NEN 5738. De analyse van Mg en de basische kationen wordt uitgevoerd met behulp van de ICP (Thermo Jarrell Ash).

Opgelost organische koolstof (DOC)

In het extract verkregen voor de analyse van de actueel beschikbare hoeveelheid zware metalen in de grond is het opgelost organisch koolstof (DOC) bepaald met behulp van een DOC-analyser (Shimadzu TOC 5000).

Drogestof- en organischestofgehalte

Voor de bepaling van het drogestofgehalte en het organischestofgehalte (gloeiverlies) van de grond is gebruik gemaakt van een intern voorschrift afgeleid van respectievelijk NEN 5747 en NEN 5754.

Bepaling PAK

Voor de bepaling van polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) is een intern voorschrift gebruikt gebaseerd op NEN 5771. In afwijking van de norm is een ruimere hoeveelheid oplosmiddel gebruikt ten behoeve van de eventuele bepaling van minerale olie en voor de filtratie filtreerpapier in plaats van kwartswol. PAK is bepaald met behulp van HPLC.

Gewasanalyse

Van het gras is uitsluitend het gehalte aan zware metalen bepaald (zie hiervoor).

3. Landbouwkundige risico's

In het bodembeheerplan is ervan uitgegaan dat landbouwkundige risico's afwezig zijn als voor de (al dan niet gesaneerde) dempingen geldt dat: (1) het daarop geteelde ruwvoer voldoet aan veevoedernormen en dus vrij verhandelbaar is, en (2) geschikt zijn voor begrazing zonder nadelige gevolgen voor de gezondheid van het vee en consumptie van vlees en zuivelproducten. Als hypothese geldt dat indien de dikte van een onverdachte afdeklaag minstens 0,3 m is, er geen landbouwkundige risico's aanwezig zijn.

De dikte van de afdeklaag is tijdens de bemonstering gemeten in 'profielkuilen' op 10 plekken per onderzochte demping. Van elke demping was vooraf bekend of de dikte van de afdeklaag gelijk of groter dan wel kleiner dan 0,3 m zou zijn. De metingen dienen dus om te toetsen of in alle gevallen de gegevens in de bestaande databases correct zijn.

Toetsing van de gehalten aan de veevoedernormen vindt plaats aan de hand van gevonden gehalten in de bovengrondse delen van het gewas. Omdat gras als veevoer verhandeld moet kunnen worden, zijn de grasmonsters niet gewassen bij de voorbehandeling voor de chemische analyse.

Geschiktheid voor begrazing wordt beoordeeld aan de hand van maximale dagelijkse inname van verontreinigingen door vee (runderen), waarbij noch diertoxiciteit noch te hoge concentraties ontstaan in dierproducten die voor menselijke consumptie bedoeld zijn. De inname is afkomstig van verontreiniging in gras en aanhangende grond, krachtvoer en slootwater. Voor de vaststelling van de maximale inname is uitgegaan van een standaardkoe, die gedefinieerd is als is een melkgevende koe met een lichaamsgewicht van 600 kg en een melkgift van 7000 kg melk per jaar, die dagelijks 15 kg droge stof uit ruwvoer plus een hoeveelheid aanhangende grond (1 kg standaardgrond) opneemt. Aangenomen is dat de standaardkoe onbeperkt kan grazen en geen krachtvoer krijgt. Verder consumeert deze standaardkoe dagelijks gemiddeld 75 (50 – 100) liter water uit het oppervlaktewater (naar Asijee, 1993).

3.1 Grondingestie door vee

Grondingestie door vee gebeurt hoofdzakelijk tijdens het grazen en betreft een onvermijdelijke inname als gevolg van aanhangende grond aan gras, maar ook als een actieve inname om zoals wordt vermoed tekorten aan te vullen van bijvoorbeeld koper, kobalt, selenium, ijzer en mangaan. Ook kan de ingenomen grond dienen als zuurbuffer in het spijsverteringsorgaan (met name in de pens ten behoeve van het fermentatieproces). Dat komt waarschijnlijk voor als vee wordt verweid of bij de overgang van droger voer naar vers en jong gras (Kreulen, 1985). Ook komt grondingestie voor als gevolg van het schoonlikken van de vacht en snuit.

De onvermijdelijke grondinname wordt vooral bepaald door de hoeveelheid grond die aan het gras hangt. Een deel hiervan wordt ingenomen doordat gras met wortel en al en dus ook

met aanhangende grond wordt opgenomen. De mechanische weerstand van de bodem bepaalt of dat gebeurt. Op een vaste droge grond komt dit nauwelijks voor, terwijl het op ondiep ontwaterde, humeuze gronden meer regel dan uitzondering is.

Door regen worden gronddeeltjes losgeslagen en verspreid in het gras. De hoeveelheid grond die op deze wijze in het gewas achterblijft hangt samen met de hoogte en dichtheid van het gewas en is op intensief en langdurig beweide grasland (kaal) aanzienlijk groter dan op niet of nauwelijks beweide grasland (factor 2 – 2,5). Ook de hoogte boven maaiveld waar de opgespatte grond op het gewas wordt aangetroffen hangt samen met de beweidingintensiteit en de neerslagintensiteit (Hinton *et al.*, 1995). De lengte van het gras waarin vee graast, bepaalt dus ook de grondinname.

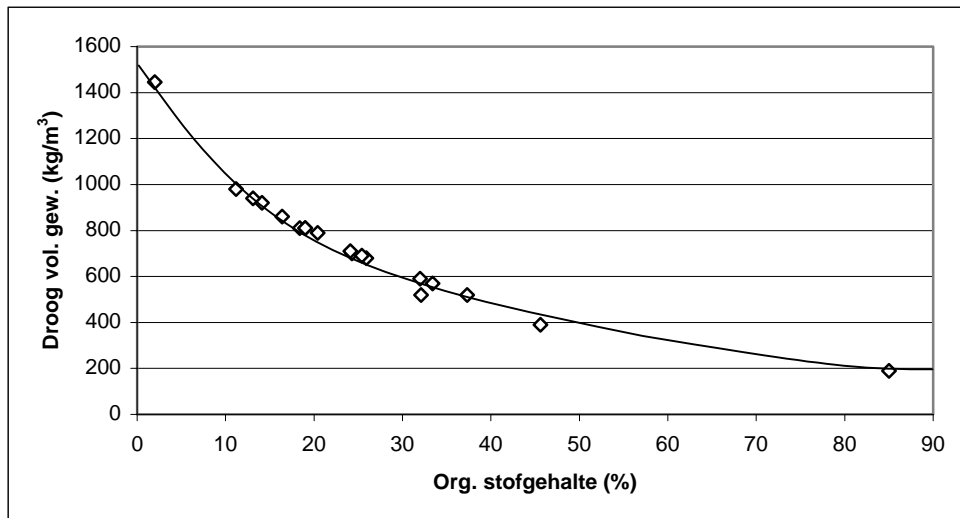
Graslandbehandelingen waarbij de grond oppervlakkig wordt losgemaakt kunnen de grondinname vergroten (factor 2; Kirby and Stuth, 1980). Ook wormen die grond naar het oppervlak brengen, bevorderen dit.

De hoeveelheid grond die vee inneemt hangt dus af van veel factoren en varieert per dier en toont zowel een dag- als seizoenritme. Grondingestie door rundvee varieert van 0,1 tot 1,5 kg per dag per koe, met uitschieters tot 2,2 kg per dag. De seizoensinvloed is gedemonstreerd door Healy (1973); geciteerd door Herlin en Andersson (1996) aan de hand van grond in fecaliën van schapen. In het vroege voorjaar en late najaar wordt 6 – 10 keer zoveel grond opgenomen als in het late voorjaar en de zomer.

Veel resultaten omtrent grondingestie zijn verkregen door elementen als Ti en Sc te gebruiken als tracers. Aangenomen wordt dat de tracers voornamelijk afkomstig zijn van verweerd gesteente. Deze elementen worden namelijk niet door planten en dieren opgenomen. Aangenomen wordt dat het geciteerde onderzoek voornamelijk heeft plaatsgevonden op minerale gronden met een relatief gering organischstofgehalte (bijvoorbeeld < 5%).

Juist omdat in het geciteerde onderzoek de grondsamenstelling (textuur, organisch stof) niet of nauwelijks is vermeld, mogen de resultaten niet zonder meer worden gebruikt voor gronden met hoge organische stofgehalten. Om ze overdraagbaar te maken naar gronden met een hoog gehalte aan organische stof, zal een correctiefactor worden gehanteerd, die samenhangt met de verhouding tussen het volumegewicht van grond met een zeker organischstofgehalte en grond met 5% organische stof (figuur 3), als volgt:

Organisch stof (%):	5	10	20	30	40	50	75	90
Omrekeningsfactor:	1	0,75	0,57	0,45	0,37	0,29	0,18	0,14



Figuur 3. Samenhang droogvolumegewicht bovengronden en organischestofgehalte (op basis van metingen in het Lickebaert-gebied)

Uitgaande van de beperkte ontwateringsdiepte in de Krimpenerwaard en de vertrappingsgevoeligheid is uitgegaan van een nog voor het organische stofgehalte te corrigeren grondingestie van 1 kg grond per dag bij 5% organische stof, wat bij de voorkomende gehalten aan organische stof van 25 – 60% neerkomt op een gemiddelde van 0,4 kg grond per dag (= $0,37 \times 1$ kg/dag).

3.2 Biobeschikbaarheid van zware metalen in het spijsverteringssysteem

Verontreinigingen in de grond komen in het spijsverteringssysteem van vee in aanraking met zeer uiteenlopende condities: een nagenoeg neutrale pH (~7) in de pens/netmaag tot pH 3.0 in de lebmaag, waardoor de biobeschikbaarheid sterk kan wisselen. Deze beschikbaarheid is tamelijk complex; bepaalde elementen treden op als antagonist van andere. Kopergebrek kan bijvoorbeeld optreden bij aanwezigheid van FeS (vorming van CuS) en Zn en Cd kunnen fungeren als antagonist van koperadsorptie (Fleming, 1985).

Voor de bepaling van de biobeschikbaarheid van de verontreiniging in de ingenomen grond is uitgegaan van de extraheerbare hoeveelheid met een oplossing 0.43 M HNO₃ (Häni en Gupta, 1985). Zekerheidshalve zal ook worden uitgegaan van het totaalgehalte in de grond.

3.3 Maximaal toelaatbare dagelijkse inname door rundvee

In de Krimpenerwaard is grasland veruit de meest voorkomende vorm van bodemgebruik en komt begrazing veelvuldig voor. Voor de beoordeling van landbouwkundige risico's, waarbij verontreinigingen van verschillende bronnen afkomstig zijn, is kennis van de maximaal toelaatbare dagelijkse inname van toxische stoffen door rundvee onontbeerlijk. Deze is niet beschikbaar en zal hier worden afgeleid uit bestaande normen voor maximaal toegelaten gehalten in veevoeders of maximaal toelaatbare gehalten in dierproducten.

Om maximaal toelaatbare toxische stofgehalten te bepalen van bodems met een landbouwkundig gebruik heeft de projectgroep FBS (1999) het meest kritisch toetsingsaspect voor verschillende stoffen gedefinieerd (tabel 5). Op basis van maximale toelaatbare waarden van deze 'toetsingsaspecten' en de overdracht van stoffen in de keten bodem → bodemoplossing → plant → dier/dierproduct is het maximaal toelaatbare gehalte van de bodem bepaald.

Tabel 5. Meest kritische toetsingsaspect bij gebruik van bodem als beweid grasland (Projectgroep FBS, 1999)

Stof	Toetsingsaspect
Cadmium	Warenwetnorm rundernier
Lood	Warenwetnorm rundernier
Kwik	Warenwetnorm rundernier
Arseen	Fytotoxiciteit gras
Koper	Fytotoxiciteit gras
Zink	Fytotoxiciteit gras
Nikkel	Fytotoxiciteit gras
Chroom	Fytotoxiciteit gras
Aldrin, Dieldrin, Endrin, DDT/DDE, Bhch, Chch, Heptachloor, HCB, PCB, dioxine, MCPA	Warenwetnorm voor melk
Ahch	Veevoedernorm voor gras

De overdrachtsfactor is in deze context gedefinieerd als de verhouding tussen het gehalte in een dierproduct en gras. Het gehalte in gras kan weer worden gerelateerd aan de concentratie (of activiteit) in de bodemoplossing, maar ook rechtstreeks aan het gehalte van de bodem. De concentratie (activiteit) in de bodemoplossing correspondeert weer met het totaalgehalte van de bodem.

De maximale dagelijkse inname van toxische stoffen door rundvee wordt nu berekend uit het maximale gehalte van het voer en het hele dagelijkse rantsoen:

$$MDI(i) = \frac{\text{Max}(i)_{\text{orgaan of product}}}{f(i)_{g \rightarrow o}} \times \text{Rantsoen}(\text{kg ds /d})$$

Hierin is:

MDI(i) = maximaal toelaatbare dagelijkse inname stof i (mg/d);

f(i) = (steady state) overdrachtsfactor van stof i in gras naar orgaan of product;

Max(i) = gehalte van stof i in orgaan (mg/kg).

De maximaal toelaatbare dagelijkse inname hangt sterk af van het levensstadium waarin het rund zich bevindt. In deze studie wordt echter uitgegaan van de hiervoor gedefinieerde standaardkoe (> 5 jaar).

Tabel 6. Kengetallen voor de beoordeling van landbouwkundige risico's (ontleend aan Projectgroep FBS, 1999)

Stof	Overdrachtsfactor voer > nier	Max. geh. in nier (mg/kg vers) ¹	Max. geh. in voer (mg/kg ds) ²	Max. geh. in grond (mg/kg ds) ³	Max. dag. inname (mg/kg lg) ⁴
Koper	-		(80) ⁵		2,0000
Cadmium	2,99	2,5	1		0,0209
Lood	0,086	1,0	40		0,2907
Kwik	0,638	0,05	0,1		0,00196
Arseen	0,0692	-	2	30	0,0500
Zink	-	-		200	
Chroom	-	-		50 (pH 7,8) 200 (pH 6) 320 (pH 5,5)	
Nikkel	-	-		20	

¹ warenwet; ² veevoedernorm; ³ fytotoxisch; ⁴ lg = lichaamsgewicht; ⁵ diertoxisch

Met uitzondering van zink accumuleren de elementen cadmium, lood, arseen en kwik voornamelijk in lever en nieren. Er vindt vrijwel geen accumulatie plaats in spieren (vlees) en melk. Bij cadmium, lood, arseen en kwik bestaat er een min of meer vaste verhouding tussen de concentraties van deze sporenelementen in lever en nieren enerzijds en in het voer en de aanhangende grond anderzijds. Belangrijk is in welke matrix (voer, grond, water) de sporenelementen aanwezig zijn. De overdrachtsfactoren in tabel 6 betreffen mediane waarden voor stationaire situaties (langdurige blootstelling) en zijn verkregen uit onderzoek waarbij gras met verontreinigd slib is gemengd of waaraan een waterige oplossing van de verontreiniging is toegevoegd. De beschikbaarheid in voeders komt vrijwel overeen met de beschikbaarheid in waterige oplossingen. Volgens Van Hooft (1995) is de biobeschikbaarheid voor runderen van sporenelementen in grond ongeveer 1,5 maal zo laag als in voer. In dit onderzoek zal worden uitgegaan van de overdrachtsfactoren volgens tabel 6.

De overdrachtsfactor van cadmium is geen constante, maar verandert naarmate de ophoping in de nier toeneemt. Het blijkt, dat het cadmiumgehalte in de nieren met de leeftijd van het rund toeneemt (Anonymus, 1984). In nieren van vijfjarige runderen wordt ca. 90% van de concentratie op een leeftijd van 10 jaar aangetroffen. De overdrachtsfactor van slib naar nier neemt toe van 0,549 na zes maand blootstelling tot 2,15 na vijf jaar blootstelling (Projectgroep Veterinaire Milieuhygiëne, 1997). Cadmium wordt ook weer uitgescheiden. Halfwaardetijden van 10 tot 25 jaar worden vermeld. Bij een overdrachtsfactor van 2,99 (leeftijd 5 jaar; tabel 6) bedraagt de halfwaardetijd van cadmium in de rundernier in de fase waarin dit element ophoopt, ca. 2 jaar (Anonymus, 1984).

3.4 Beoordelingssystematiek

De beoordeling van landbouwkundige risico's van dempingen is gebaseerd op gemeten grond- en gewassamenstellingen. Toetsing vindt plaats volgens onderstaande uitgangspunten:

1. dagelijkse inname van 15 kg ruwvoer per standaardkoe;
2. dagelijkse groningestie per standaardkoe van 1 kg standaardgrond (nog te corrigeren voor het organische stofgehalte);
3. dagelijkse inname van 75 l water uit het oppervlaktewater;
4. gehalten van de grond: totaal gehalten, bepaald volgens extractie met koningswater en de maximaal beschikbare hoeveelheid met 0.43 M HNO₃;
5. gehalten van gras, bepaald in ongewassen monsters;
6. maximaal toelaatbare gehalten van gras indien daarvoor een verordening bestaat;
7. maximaal toelaatbare gehalte in de bodem indien sprake is van fytotoxiciteit;
8. maximaal toelaatbare dagelijkse inname door vee afgeleid uit maximaal toelaatbare gehalten in dierproducten volgens de warenwet.

De risicobeoordeling volgens de warenwet is louter gebaseerd op het voorkomen van eventuele schadelijke effecten van individuele stoffen. Informatie over effecten van combinaties van stoffen is beperkt aanwezig en dan nog alleen maar voor terrestrische oligochaeten (Weltje *et. al.*, 1995). Deze onderzoekers stellen bij de bestudeerde wormen vast dat er een minder dan concentratieadditief effect van metaalcombinaties op de reproductie optreedt. Dat betekent dat de metalen elkaars toxiciteit deels opheffen of onafhankelijk van elkaar werken. De toxiciteit van de toegepaste mengsels van metalen hadden gezamenlijk een EC₅₀-waarde van 1,5 tot 3,0 'Toxic units'. Dat betekent dat om eenzelfde effect te bereiken met enkelvoudige stoffen de toegediende hoeveelheid 1,5 tot 3 keer zo hoog moet zijn. In deze context is de Toxic unit van een stof de verhouding van de actuele concentratie van die stof en de concentratie waarbij het effect maximaal is (bijvoorbeeld reductie van reproductie met 50%). Als stoffen volledig concentratieadditief zijn, mogen de Toxic units van de individuele stoffen gesommeerd worden om het gezamenlijk effect te beoordelen.

Op dit moment is voor rundvee niet bekend of en in hoeverre verschillende stoffen concentratieadditief zijn. Bij de beoordeling van landbouwkundige risico's zal daarom primair worden uitgegaan van risico's van de individuele metalen en ter illustratie zullen

uitgaande van concentratieadditie de risico's van de metalen via de Toxic units (uitgedrukt als percentage van de toelaatbare grenswaarden) worden weergegeven.

Toetsing van het gehalte in de bodem ten aanzien van fytotoxiciteit berust op vergelijking van gemeten waarden met de maximaal toelaatbare gehalten van verschillende metalen in de bodem. In bijlage 4, ontleend aan Projectteam FBS (1999), is een aantal grenswaarden weergegeven.

Om maximale gehalten van de bodem op dempingen te bepalen, is de bijdrage van verschillende bronnen (gras, krachtvoer, water) bepaald en in mindering gebracht op de maximaal toelaatbare dagelijkse inname. De rest mag dan via grondingestie worden opgenomen. Het maximaal toelaatbare gehalte van grond op de onderzochte locaties volgt dan uit deling van deze rest door de hoeveelheid ingenomen grond per dag (~ 0,3 – 1,0 kg ds).

Voor de verschillende metalen werkt dit uit, als volgt:

Cadmium

Cadmium wordt zeer gemakkelijk door gewassen opgenomen en kan in bepaalde gevallen accumuleren (een hogere concentratie in de plant of plantendelen dan in de bodem-oplossing). Het maximaal toelaatbaar geachte Cd-gehalte in gras en hooi volgens de veevoedernorm is 1 mg cadmium/kg ds. Dit komt dus neer op een maximale dagelijkse inname van de standaardkoe van 15 mg Cd per dag en 0,026 mg per kg lichaamsgewicht. Wordt daarentegen de warenwet gevolgd, dan mag maximaal 0,0216 mg per kg lichaamsgewicht worden ingenomen. Hieruit blijkt dat grenzen bepaald op grond van de veevoedernorm niet overeenstemmen met die op basis van de warenwetnorm.

Chroom

Het voor de gezondheid gevaarlijke Cr(VI) is zo fytotoxisch, dat planten sterven voor er bedreigende concentraties naar eetbare delen van gewassen zijn getransporteerd. Onder normale omstandigheden (redoxpotentiaal in de bodem 0,6 V) komt vrijwel alleen Cr(III) voor en wordt Cr(VI) gereduceerd bij aanwezigheid van organische stof tot Cr(III). Vanuit fytotoxisch oogpunt dient het chroomgehalte in de bodem onder 50 mg/kg ds bij pH 7,8, 200 mg/kg ds bij pH 6,0 of 320 mg/kg ds bij pH 5,5 te blijven. Diertoxiciteit treedt op bij inname van 30 mg/kg lg voor schapen en bij 600 mg/kg lg bij de overige dieren.

Koper

Koper accumuleert in de wortels, maar wordt vrijwel niet in verhoogde mate in de plant verplaatst. Bij bodemconcentraties vanaf 100 – 200 mg/kg kunnen er bij gewassen ziekteverschijnselen optreden. Schapen zijn gevoeliger voor koper dan runderen. Diertoxiciteit treedt op bij overschrijding van 30 en 80 mg Cu per kg ds voer voor resp. schapen en runderen. Daarmee is de maximale toelaatbare dagelijkse inname door runderen 2,07 mg Cu per kg lichaamsgewicht.

Lood

Lood wordt onder bepaalde omstandigheden (synergisme met Cd, lage pH) door planten opgenomen, maar in de wortels gefixeerd. Alleen bij hoge bodemconcentraties (> 1500 mg/kg) zal translocatie optreden. Mitchell & Reith (1966) vermelden dat bij afwezigheid van atmosferische depositie en op niet-verontreinigde gronden, gehalten van 0,3 – 1,5 mg/kg ds lood in weideplanten normale waarden zijn op. Groeiremming treedt op bij gehalten > 500 mg/kg ds. Runderen verdragen een dagelijkse inname van 4,5 mg lood per kg lichaamsgewicht. Op basis van de warenwet (max. gehalte in rundervier) dient de dagelijkse inname echter beperkt te blijven tot 0,30 mg per kg lichaamsgewicht.

Nikkel

Nikkel wordt in planten gemakkelijk opgenomen en snel getransporteerd naar de bovengrondse delen. Er treedt accumulatie op. Nikkel is weinig toxisch voor zoogdieren en de mens, maar zeer giftig voor de plant. De fytotoxiciteit stelt dus grenzen aan de toelaatbare gehalten in de bodem (maximaal 20 mg/kg ds).

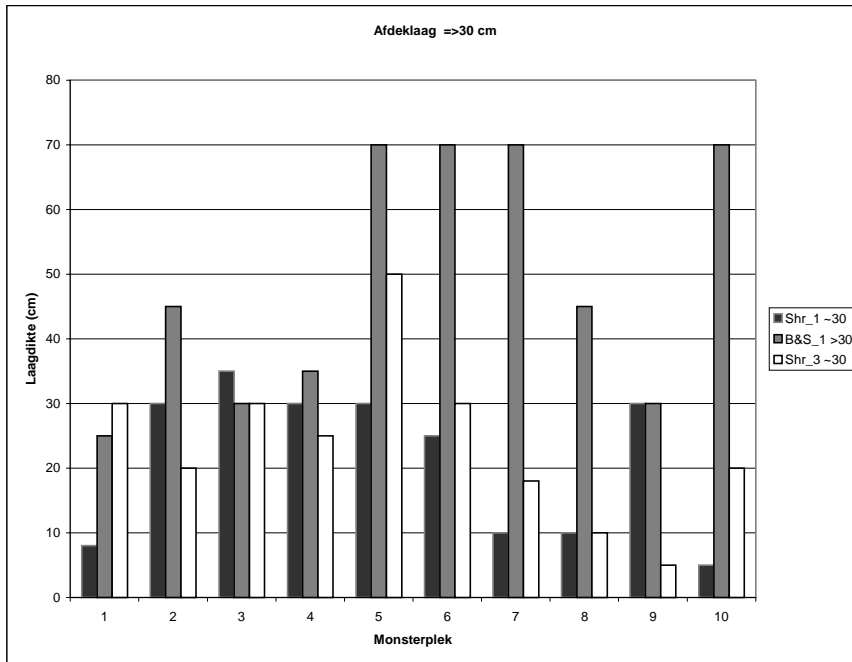
Zn

Zink wordt in het algemeen gemakkelijk door planten opgenomen en getransporteerd, waarbij accumulatie kan optreden. Natuurlijke vegetatie bevat ongeveer 20 mg/kg ds, (Fletcher & Brink, 1969), hoewel sommige planten een veel hogere minimale concentratie nodig hebben (Broekema, niet gedateerd). Runderen verdragen een dagelijkse inname van zink tot een hoeveelheid van 27 – 30 mg/kg lichaamsgewicht. Het Produktschap voor Vee en Vlees heeft in een verordening opgenomen dat het maximaal gehalte in ruwvoer niet hoger mag zijn dan 250 mg/kg ds. Dit betekent een maximale toelaatbare dagelijkse inname door vee van 7,4 mg per kg lichaamsgewicht.

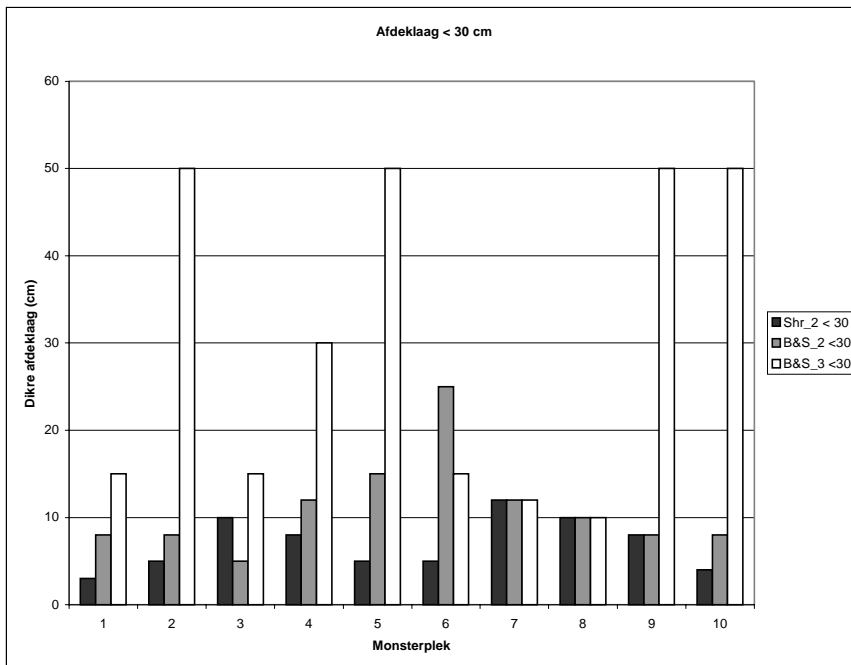
3.5 Dikte afdeklaag en aard dempingmateriaal

Op elke locatie is op tien plekken de dikte van de afdeklaag gemeten. De vastgestelde diktes zijn ingedeeld in twee groepen. De eerste groep bevat metingen van locaties waarvan a priori werd verondersteld dat de dikte van de afdeklaag 30 cm of meer zou zijn, de tweede groep omvat de locaties waar deze dikte kleiner zou zijn dan 30 cm.

De gemiddelde dikte van afdeklagen met een vermoede dikte van meer dan 30 cm van dempingen met bouw- en sloopafval (BGS-1) bedraagt 49 cm, die met shredder, aangeduid met Shr_1, 21,3 cm en van die met shredder, aangeduid met Shr_3, 23 cm, met resp. standaarddeviaties van 18.0, 11.0 en 11.9 cm (figuur 4).



Figuur 4. Verdeling gemeten laagdiktes op locaties met vermoede diktes van de afdeklaag gelijk of groter dan 30 cm



Figuur 5. Verdeling gemeten laagdiktes op locaties met vermoede diktes van de afdeklaag kleiner dan 30 cm

De gemiddelde waarde van afdeklagen met een vermoede dikte van minder dan 30 cm op dempingen aangeduid met Shr_2 bedraagt 7 cm, met B&S_2: 11,1 en B&S_3: 30 cm, met standaarddeviaties van respectievelijk 2,9, 5,4 en 17,3 cm (figuur 5).

De locaties zijn voorts onderzocht op het voorkomen van bijmengingen in de afdeklaag en op de aard van het dempingmateriaal (tabel 7).

Tabel 7. Herkenbare grove materialen in afdeklaag en aard dempingmateriaal

Laag	Locatiekenmerk					
	Shr_1 ~ 30	B&S_1 > 30	Shr_2 < 30	B&S_2 < 30	Shr_3 ~ 30	B&S_3 < 30
Top	W	O	Gl, W	Pu	O	O
Basis	O	H	O	Pu	Gr	Pl
Demping	Pl, Y, Ru	H, Pu, Si	Gl, Ru, Pu	Pu, Gl	Pu, Si, Gl, Pl	Ru, Pl, H, Gl

Verklaring: Gl = glas; Gr = grind; H = hout; O = niets; Pl = plastic; Pu = puin; Ru = rubber; Si = Sintels; W = wortelresten; Y = ijzer(draad). Top = 0–5 cm van afdeklaag I; Basis = basis van afdeklaag; Demping = bovenste 5 cm van demping; B&S = bouw- en sloopafval; Shr = shredder.

Uit tabel 7 blijkt dat in de toplaag van de afdeklaag (0-5 cm –mv) geen bijmengingen voorkomen op locaties waarvan de dikte van de afdeklaag groter werd vermoed dan 30 cm. Op de locatie met shredder als dempingmateriaal en een vermoede dikte van de afdeklaag kleiner dan 30 cm, komen bijmengingen voor (glas). Bij bouw- en sloopafval als dempingmateriaal is bijmenging met puin aangetroffen op één locatie met een dunne afdeklaag. In de monsters van de bovenste laag van het dempingmateriaal zijn grove stukken van diverse materialen aangetroffen. De hoeveelheid herkenbare grove delen varieert sterk en loopt uiteen van ca. 15 tot 65%. Dat betekent dus dat 35 tot 85% van het dempingmateriaal een aardachtig karakter zou kunnen hebben.

3.6 Bodemkwaliteit op enkele dempingen en referentielocaties

3.6.1 Textuur, organische stof, pH, CEC, EC en DOC

De grondsoort van zowel de afdeklaag op de dempingen als van de referentielocaties kan worden omschreven als een kleiige veengrond met gehalten aan organische stof variërend van ca. 25–70%. Tabel 8 bevat verschillende gegevens.

Op de locaties 1, 4 en 6 bestaat het dempingmateriaal uit shredder, de overige dempingen bevatten bouw- en sloopafval. Duidelijk valt op dat het elektrisch geleidingsvermogen van de bodemoplossing in het dempingmateriaal in het algemeen hoger is dan in de lagen daar boven. Uit de gehalten aan organische stof blijkt dat de grond in de afdeklaag in het algemeen overeenkomt met de grond op de referentieplekken. Er lijkt dus gebiedseigen afdek materiaal te zijn gebruikt. De gehalten aan opgeloste organische koolstof (DOC) zijn vrij hoog. In gronden met een organischstofgehalte van ca. 5% zijn gehalten van 4 – 10

mg/l gangbaar. De hier gemeten hoge waarden zijn het gevolg van het relatief hoge organischstofgehalte. De pH ligt op een gangbaar niveau.

Tabel 8. Karakterisering bodem op dempingen en referentielocaties

Locatie	EC (microS)	CEC meq/kg	pH	Klei %	OM %	DOC mg/l
Ref-1	698	1007	4.8	19	49.0	487.7
1-1	623	1100	8.0	17	52.4	487.9
1-2	1633	2308	5.9	21	48.9	87.0
1-3	2130	1484	5.6	10	36.4	104.6
Ref-2	714	1075	5.5	22	51.3	625.3
2-1	1475	933	6.6	17	42.3	293.6
2-2	867	1536	6.4	14	37.5	166.7
2-3	853	712	7.3	7	17.4	103.5
Ref-3	581	1008	5.5	33	45.3	368.6
3-1	1411	1261	5.1	21	53.2	335.0
3-2	1958	2413	5.1	14	72.2	201.5
3-3	1970	2268	5.4	12	52.2	185.0
Ref-4	467	879	5.4	33	26.8	324.1
4-1	881	1094	5.8	18	41.6	298.4
4-2	868	1034	6.6	12	28.8	122.3
4-3	1261	1147	6.6	12	35.4	52.3
Ref-5	555	1021	5.5	21	48.7	335.1
5-1	1164	1465	5.6	12	66.7	186.6
5-2	1553	2178	5.7	9	66.2	161.0
5-3	1655	1342	6.1	9	35.0	64.5
Ref-6	536	1085	4.9	27	43,1	342.0
6-1	273	821	5.2	11	54.2	240.5
6-3	490	729	6.5	5	26.8	69.0

Verklaring: Ref-1 = referentieplek op locatie 1; '1-1' = laag 0-5 cm -mv; '1-2' = onderste 5 cm van afdeklaag; '1-3' = bovenste 5 cm van dempingmateriaal; OM = organische stofgehalte; DOC = concentratie opgeloste organische koolstof; CEC = kationuitwisselingscapaciteit; EC = elektrisch geleidingsvermogen.

3.6.2 Gehalten aan zware metalen

De chemische samenstelling van de bodem is op drie manieren bepaald: het totaalgehalte op basis van extractie met koningswater, de maximale beschikbaarheid op basis van extractie met 0.43 M HNO₃ en de actuele beschikbaarheid (opgelost in bodemvocht) via extractie met 0.002 M CaCl₂ (Van Hooft, 1995). De gevonden waarden zijn weergegeven in bijlagen 2a t/m 2f.

3.6.3 Toetsing totale gehalten aan streef- en interventiewaarden

De totale gehalten van de bodem worden gebruikt om vast te stellen in hoeverre de streef- of interventiewaarden voor microverontreinigingen worden overschreden die zijn gepubliceerd in de ‘Circulaire Interventiewaarden Bodemsanering’ (Staatsblad, dinsdag 24 mei 1994). Deze circulaire geeft waarden voor een standaardbodem met 10% organische stof en 25% lutum (fractie < 2 µm) (zie tabel 9).

Tabel 9. Streef- en interventiewaarden voor standaard(land)bodems met 10% organische stof en 25% lutum

	Cd [mg/kg ds]	Pb [mg/kg ds]	Ni [mg/kg ds]	Cu [mg/kg ds]	Zn [mg/kg ds]	Cr [mg/kg ds]
Streefwaarde	0.8	85	35	36	140	100
Interventiewaarde	12	530	210	190	720	380

De streef- en interventiewaarden voor de onderzochte bodems (Wb) zijn uit bovenstaande tabel afgeleid via onderstaande omrekening:

$$Wb = Wst * \left[\frac{A + B \times \% \text{lutum} + C \times \% \text{org. stof}}{A + B \times 10 + C \times 25} \right] \quad [1]$$

De waarden voor de constanten zijn gegeven in tabel 10.

Tabel 10. Waarden van constanten voor omrekening van streef- en interventiewaarden van standaardbodems naar de actuele bodems

	Cd	Pb	Ni	Cu	Zn	Cr
A	0.4	50	10	15	50	50
B	0.007	1	1	0.6	3	2
C	0.021	1	0	0.6	1.5	0

De resultaten van de toetsing staan in tabel 11. Het dempingmateriaal van de locaties 1, 4 en 6 bestaat uit shredder. Op de overige locaties bestaat het dempingmateriaal uit bouw- en sloopafval.

Uit de metingen blijkt dat de gehalten in de toplaag van de afdeklaag en op de referentie-locaties voor vrijwel alle zware metalen tussen de streef- en interventiewaarden liggen. De totale gehalten in de bovenste laag van dempingen met shredder, liggen vrijwel voor alle zware metalen boven de interventiewaarde, voor dempingen met bouw- en sloopafval is dat slechts incidenteel het geval (zink op locatie 2). De totale gehalten in de dunne afdeklaag op locatie 6 (gemiddelde laagdikte van 7 cm) liggen vrijwel alle boven de interventiewaarden.

Tabel 11. Indeling metingen van totaalgehalten (extractie met koningswater) in de klassen 'kleiner dan streefwaarde' (<Sw), 'tussen streef- en interventiewaarde' (Sw – Iw) en 'groter dan interventiewaarde' (>Iw)

Locatie	Cd	Pb	Ni	Cu	Zn	Cr
Ref-1	Sw – Iw	< Sw	< Sw	Sw - Iw	Sw - Iw	< Sw
1-1	Sw – Iw	Sw - Iw	Sw - Iw	Sw - Iw	Sw - Iw	< Sw
1-2	Sw – Iw	Sw - Iw	Sw - Iw	< Sw	< Sw	< Sw
1-3	> Iw	> Iw	> Iw	> Iw	> Iw	Sw – Iw
Ref-2	Sw – Iw	< Sw	< Sw	Sw - Iw	Sw - Iw	< Sw
2-1	Sw – Iw	< Sw	< Sw	Sw - Iw	Sw - Iw	< Sw
2-2	Sw – Iw	Sw - Iw	< Sw	Sw - Iw	Sw - Iw	< Sw
2-3	Sw – Iw	Sw - Iw	Sw - Iw	Sw - Iw	> Iw	< Sw
Ref-3	Sw - Iw	< Sw	< Sw	< Sw	< Sw	< Sw
3-1	Sw - Iw	< Sw	< Sw	< Sw	< Sw	< Sw
3-2	Sw - Iw	< Sw	< Sw	Sw - Iw	< Sw	< Sw
3-3	Sw - Iw	< Sw	< Sw	< Sw	Sw - Iw	< Sw
Ref-4	Sw - Iw	< Sw	< Sw	Sw - Iw	< Sw	< Sw
4-1	Sw - Iw	Sw - Iw	Sw - Iw	Sw - Iw	> Iw	< Sw
4-2	Sw - Iw	Sw - Iw	Sw - Iw	> Iw	> Iw	< Sw
4-3	> Iw	> Iw	> Iw	> Iw	> Iw	Sw - Iw
Ref-5	Sw - Iw	< Sw	< Sw	Sw - Iw	Sw - Iw	< Sw
5-1	Sw - Iw	< Sw	Sw - Iw	Sw - Iw	Sw - Iw	< Sw
5-2	Sw - Iw	< Sw	Sw - Iw	< Sw	Sw - Iw	< Sw
5-3	> Iw	> Iw	> Iw	> Iw	> Iw	Sw - Iw
Ref-6	Sw - Iw	Sw - Iw	< Sw	Sw - Iw	Sw - Iw	< Sw
6-1	Sw - Iw	> Iw	> Iw	> Iw	> Iw	Sw - Iw
6-3	> Iw	> Iw	> Iw	> Iw	> Iw	Sw - Iw

Verklaring locatieaanduiding: Ref-1 = referentieplek op locatie 1; '1-1' = laag 0-5 cm –mv; '1-2' = onderste 5 cm van afdeklaag; '1-3' = bovenste 5 cm van dempingmateriaal, enz.

In tabel 12 is het aantal keren weergegeven waarmee de voor die grondsoort geldende interventiewaarde is overschreden. Grote uitschieters zijn de gehalten aan lood (maximum 6.3 keer interventiewaarde), koper (maximum 19,2 keer) en nikkel (maximaal 11,7 keer).

3.6.4 Maximaal beschikbare hoeveelheden zware metalen

De maximale beschikbare hoeveelheid bepaald via extractie met 0.43 M HNO₃ mag worden opgevat als de hoeveelheid die is geadsorbeerd aan de vaste fase en op termijn via transport van water door de bodem en opname door het gewas zal verdwijnen.

Uit de bijlagen 2a t/m 2f en de figuren 6a t/m 6f blijkt dat de maximaal beschikbare hoeveelheden geringer zijn dan de totaalgehalten. De aard van de verbindingen waarin de zware metalen voorkomen bepalen dit verschijnsel.

Tabel 12. Aantal keren waarmee de interventiewaarde is overschreden

Locatie	Cadmium	Lood	Nikkel	Koper	Zink
1-3	1,9	4,2	1,4	9,6	8,0
2-3	-	-	-	-	1,8
4-1	-	-	-	-	1,4
4-2	-	-	-	1,3	2,0
4-3	1,7	3,8	2,1	8,4	9,9
5-3	2,2	4,4	2,5	8,2	8,3
6-1	-	1,4	1,1	3,3	3,7
6-2	1,5	6,3	3,2	19,2	11,7

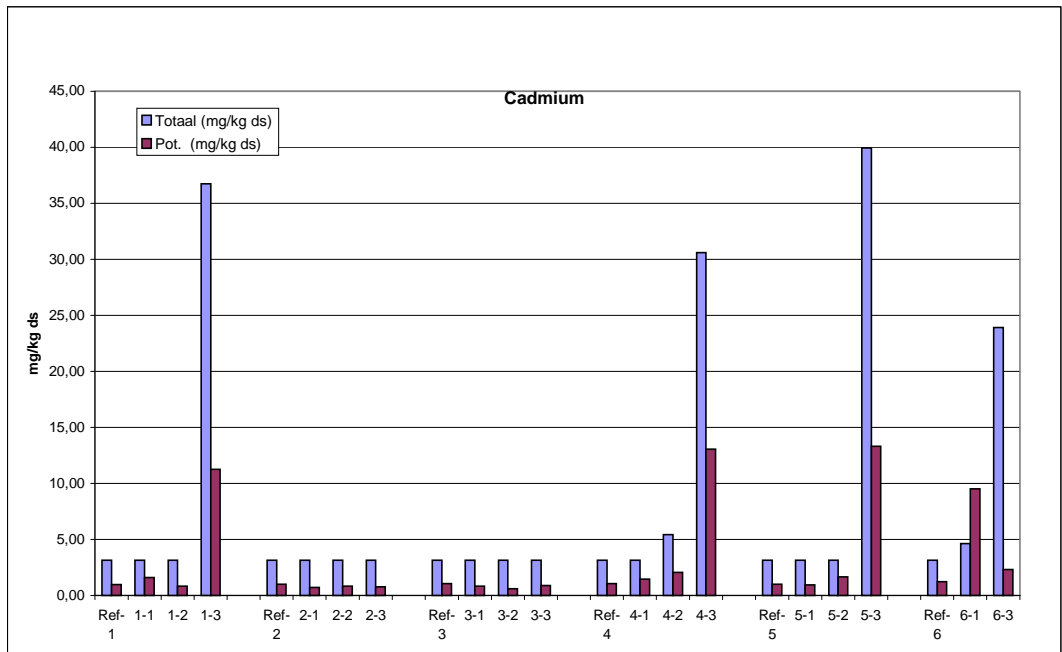
Verklaring locatieaanduiding: zie tabel 11.

De maximale beschikbaarheid van cadmium bedraagt gemiddeld 0,3 keer het totaalgehalte, met een maximum van 0,5 en een minimum van 0,25. Opgemerkt zij dat de verhouding voor de lage waarden enigszins vertekend is (te laag) aangezien de detectiegrens voor dit element 3,15 mg/kg ds is. Blijven deze waarden evenals een uitschieter buiten beschouwing, dan blijkt de gemiddelde verhouding nog steeds 0,3 te zijn.

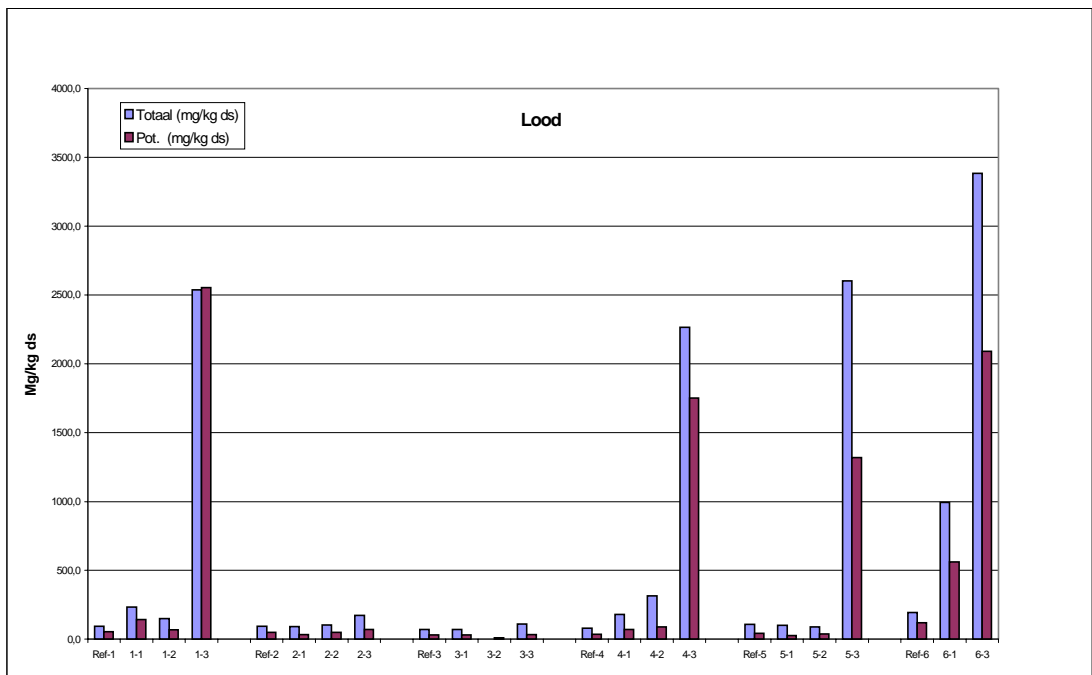
De verhouding voor lood is gemiddeld 0,48 met een variatie van 0,16 tot ca. 1,0. De variatie blijkt niet beperkt tot het dempingmateriaal, maar komt in eenzelfde mate voor in de afdeklaag en op de referentielocaties. Nikkel heeft een gemiddelde verhouding van 0,36 tussen de maximaal beschikbare hoeveelheid en het totaalgehalte. De variatie blijft beperkt: 0,24 – 0,52. Voor koper is de gemiddelde verhouding 0,46 met een variatie van 0,24 tot 0,60. De metingen bevatten één uitschieter (locatie 4, onderste laag afdeklaag: 4-2) die buiten beschouwing is gelaten. De verhouding voor zink is gemiddeld 0,60, waarbij uitschieters (4-1, 4-2) niet in de berekening zijn meegenomen. De geconstateerde variaties lopen uiteen van 0,3 tot ca. 1,0. Chroom ten slotte, blijkt vrijwel uitsluitend in een mobiele vorm voor te komen. De verhouding tussen de maximaal beschikbare hoeveelheid en het totaalgehalte bedraagt gemiddeld 0,07 met een variatie van 0,029 tot 0,16 (tabel 13).

Tabel 13. Gemiddelde verhouding tussen maximaal beschikbare hoeveelheid (extractie met 0,43 M HNO₃) en totaal gehalte (koningswaterextractie) van de vaste fase en de variatie (minimum, maximum)

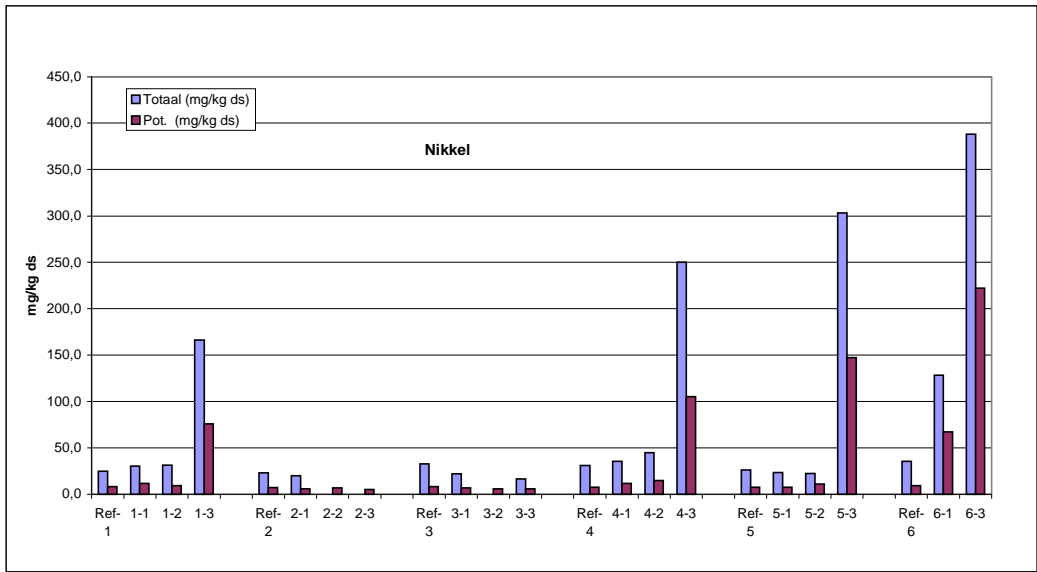
	Cadmium	Lood	Nikkel	Koper	Zink	Chroom
Gem.	0,30	0,48	0,36	0,46	0,60	0,07
Min.	0,25	0,16	0,24	0,24	0,30	0,029
Max.	0,50	1,0	0,52	0,60	1,0	0,16



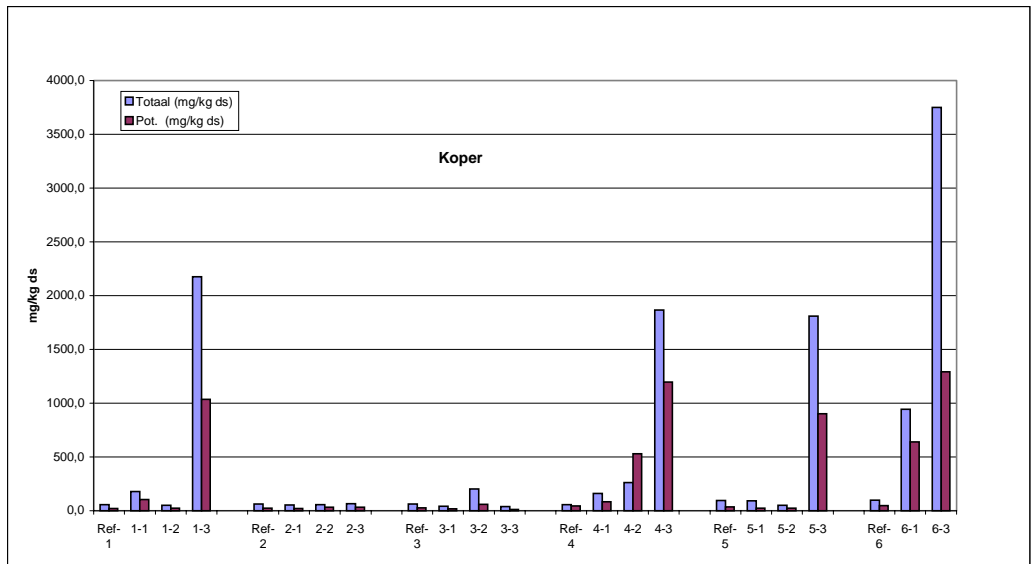
a



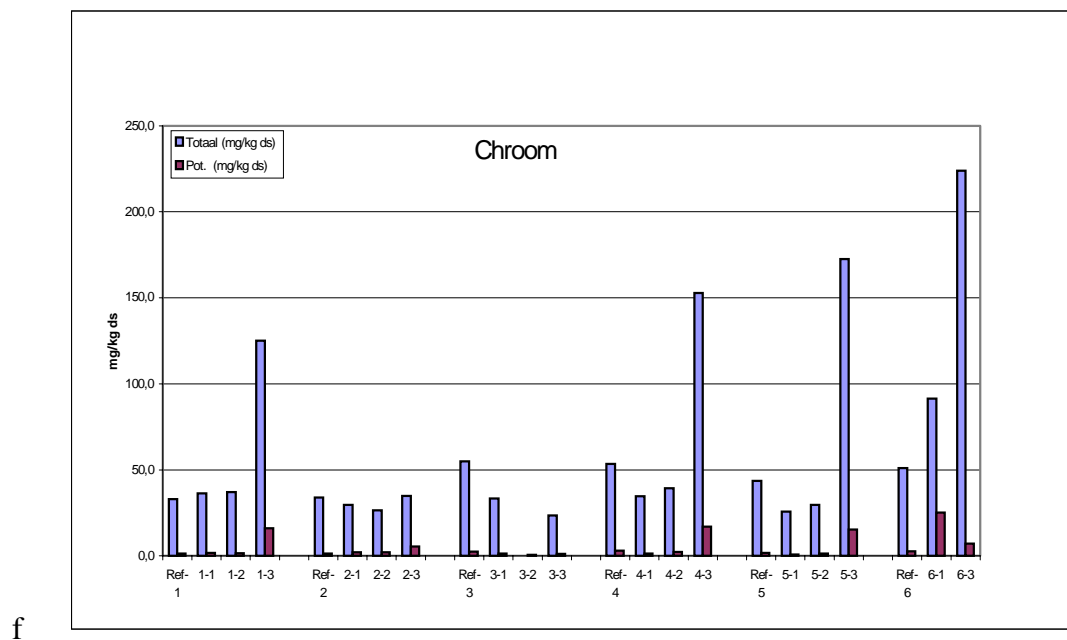
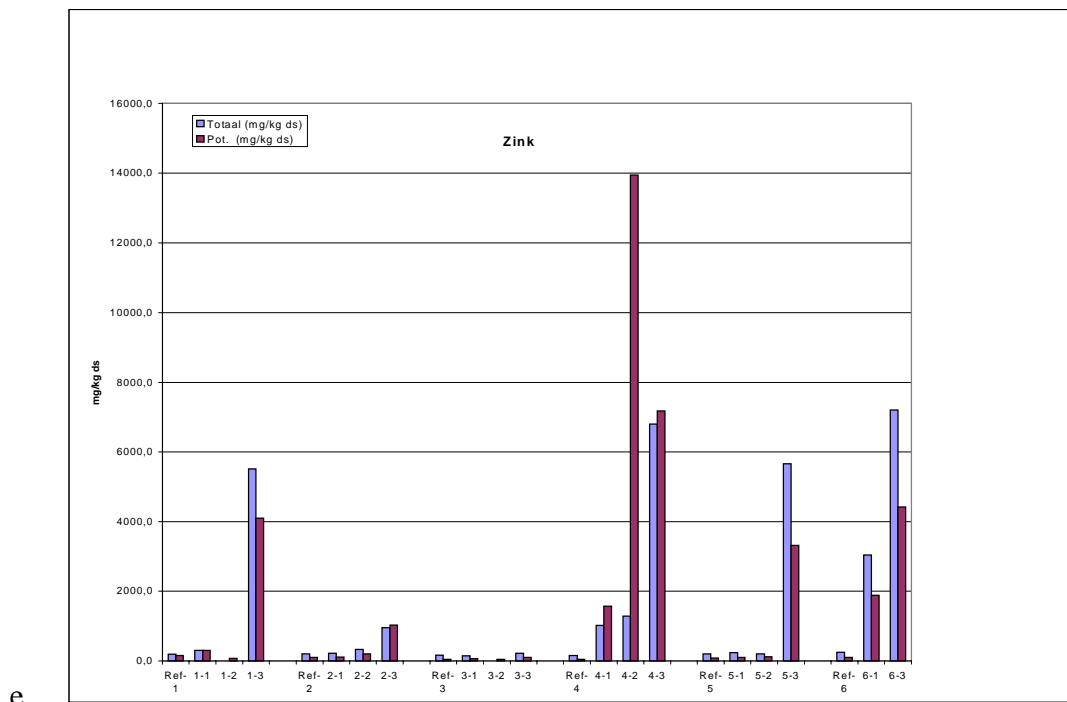
b



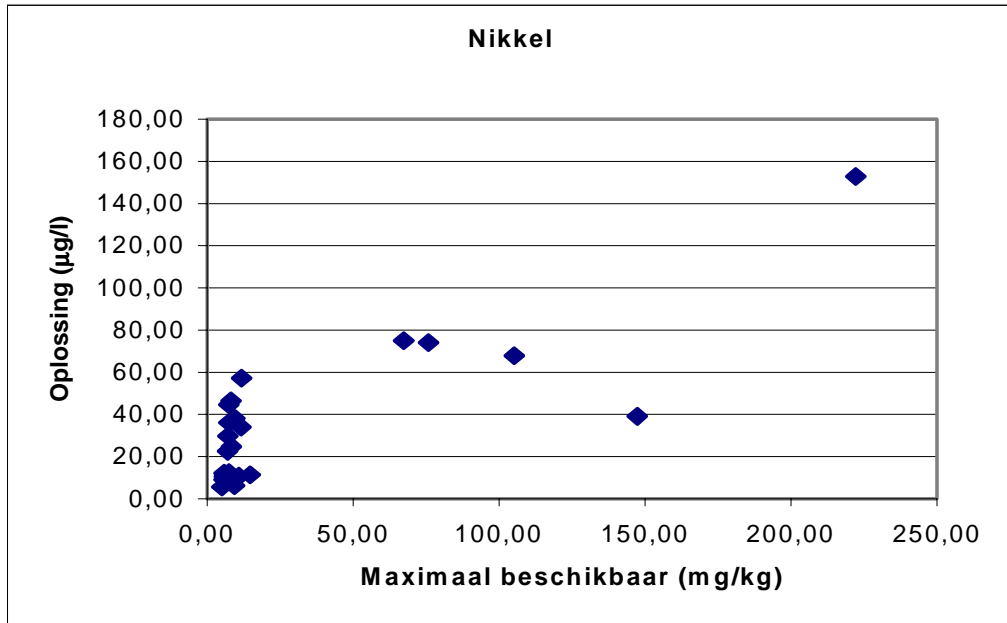
C



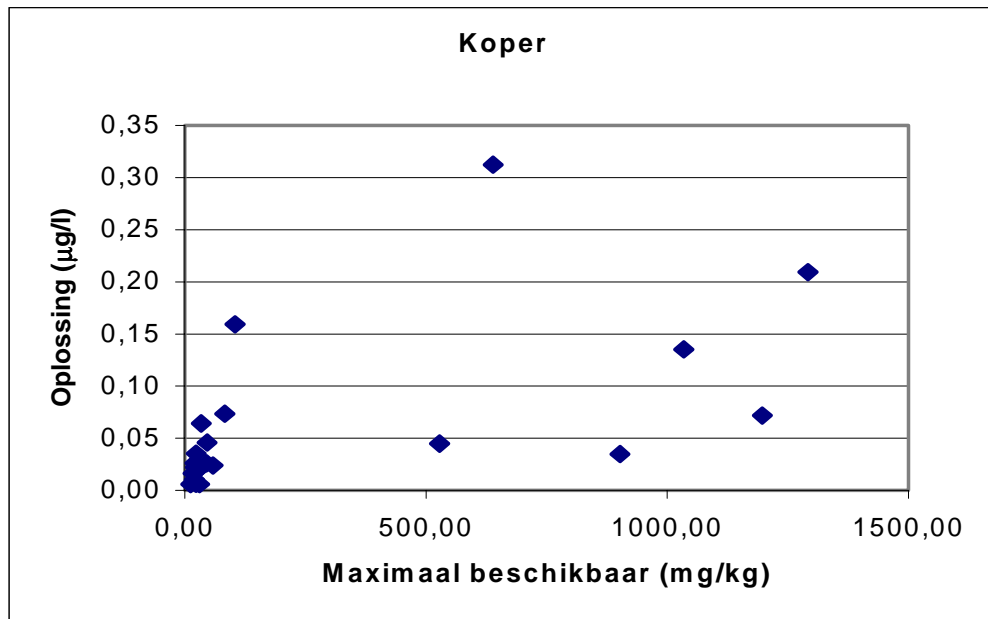
d



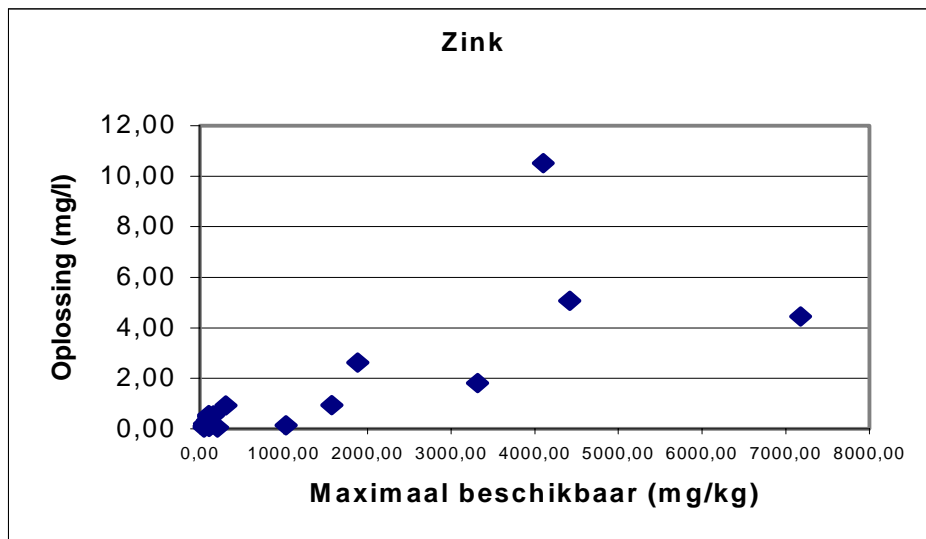
Figuur 6. Totale gehalten (koningswater) en potentieel beschikbare gehalten (0.43 M HNO₃) aan zware metalen voor de onderzochte locaties in de Krimpenerwaard voor Cd (a), Pb (b), Ni (c), Cu (d), Zn (e) en Cr (f)



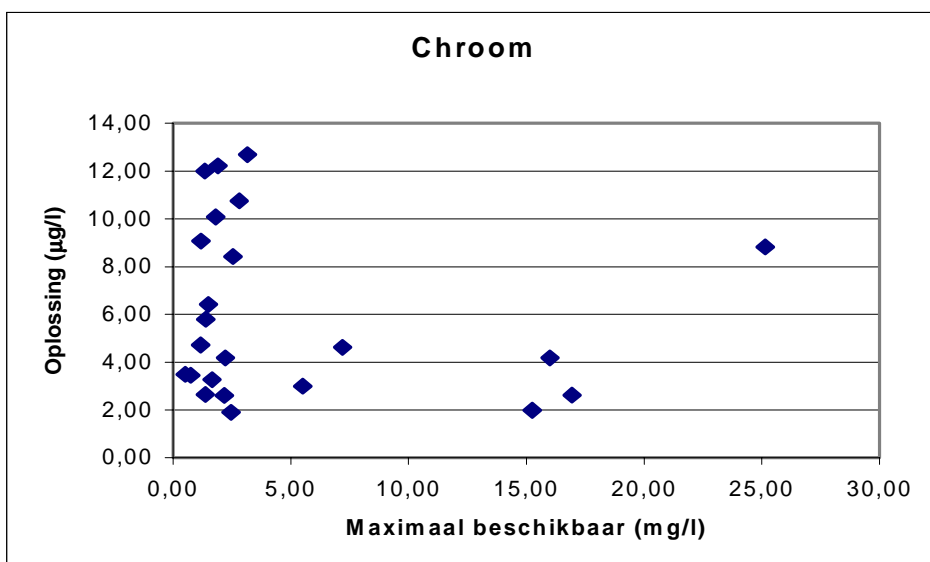
c



d



e



f

Figuur 7. Verband tussen de maximaal beschikbare hoeveelheden (0.43 M HNO_3) en de concentratie in de bodemoplossing (0.002 M CaCl_2) voor respectievelijk Cd (a), Pb (b), Ni (c), Cu(d), Zn (e) en Cr (f)

Er is nagegaan of er een verband is tussen de concentratie in het bodemvocht ($0,002\text{ M CaCl}_2$ -extractie) en de maximaal beschikbare hoeveelheid van dat metaal (bepaald m.b.v. 0.43 M HNO_3). Uit de figuren 7a t/m 7f blijkt dat er alleen voor zink een zekere samenhang bestaat. Voor de overige metalen blijkt een dergelijk verband nagenoeg of geheel afwezig. Voor de metalen cadmium en zink is de activiteit nogmaals berekend, maar nu op basis van empirische relaties door middel van adsorptie-isothermen van deze metalen. Uitgegaan is

van een Freundlich-isotherm, waarbij de totale hoeveelheid metaal in de bodem een functie is van de activiteit van het metaal in de bodemoplossing, en een aantal fysisch-chemische bodemkarakteristieken (naar Brill en Römken, mondeling mededeling; zie ook: Otte *et al.*, 2000), als volgt:

Cadmium:

$$\log Q_{\text{Cd}} = -3.15 + 1.0 * \log [\text{CEC}] + 0.5 * \text{pH} - 0.24 * \log [\text{klei}] + 0.82 * \log \left[\frac{a_{\text{Cd}}}{\{a_{\text{Ca}}\}^{0.5}} \right]$$

Zink:

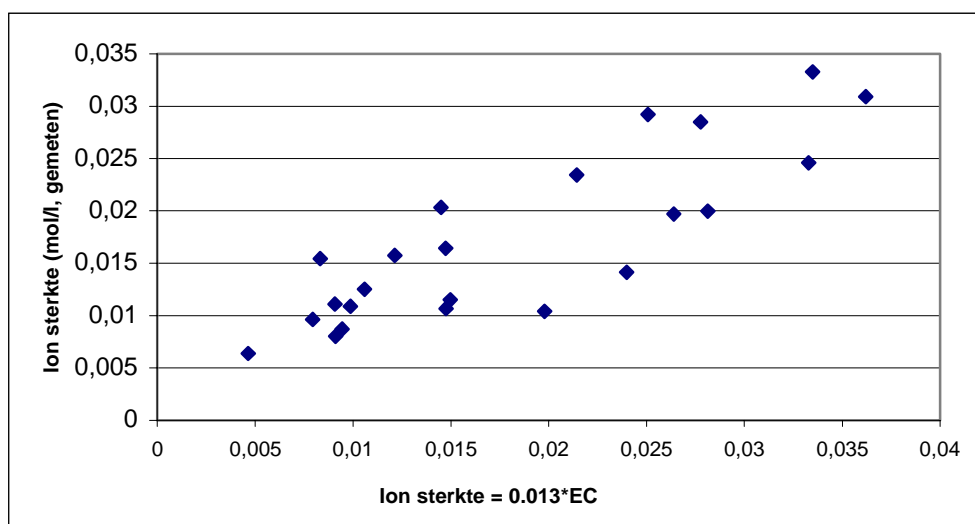
$$\log Q_{\text{Zn}} = -3.42 + 1.3 * \log [\text{CEC}] + 0.75 * \text{pH} + 0.75 * \log \left[\frac{a_{\text{Zn}}}{\{a_{\text{Ca}}\}^{0.5}} \right]$$

Hierin is: Q = totale hoeveelheid metaal in de bodem in mol kg⁻¹; CEC = kationen-uitwisselingscapaciteit in eq kg⁻¹ (Bascomb, gebufferde CEC meting bij pH 8.1); pH = pH bodemvocht of pH CaCl₂ (verdunde oplossing); OC = % organisch koolstof (~0,56 x gehalte organische stof); klei = % lutum (< 2µm); (aMe) = metaalactiviteit of Ca-activiteit in mmol L⁻¹; a = de activiteitcoëfficiënt (-).

De activiteitcoëfficiënt is bepaald met een Debye-Hückel-vergelijking (Lindsay, 1979):

$$\text{Log}(a) = -AZ_i^2 \sqrt{\mu}$$

Hierin is: A = constante (=0,509); Z_i = valentie ion; C_i = concentratie ion I (mol/l); μ = ionsterkte: μ = 0,5Σ c_i Z_i².

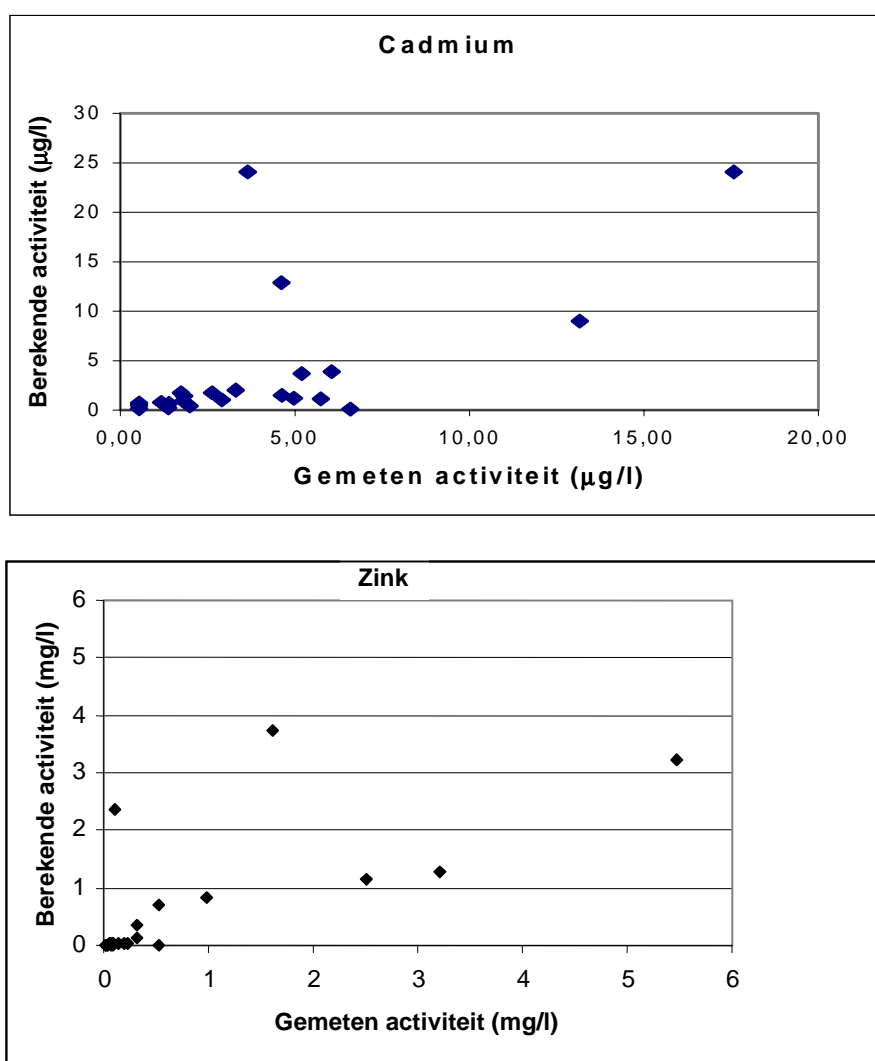


Figuur 8. Samenhang tussen ionsterkte volgens een empirische relatie (Lindsay, 1979) (= 0,013 x EC) en berekend uit analyses

De ionsterkte is berekend met gegevens uit bijlage 1. Deze waarden zijn vergeleken met waarden die zijn berekend met een empirische relatie tussen ionsterkte en het elektrisch geleidingsvermogen volgens Lindsay (1979), zie figuur 8.

Voor de berekening van de concentratie van zware metalen in de bodemoplossing met de hiervoor gegeven empirische relaties, is uitgegaan van de ionsterkte berekend uit het elektrisch geleidingsvermogen.

In figuur 9 zijn de activiteiten van cadmium en zink, zoals berekend uit de meetgegevens en met de hiervoor gepresenteerde empirische relaties weergegeven. Voor de overige metalen heeft de opgeloste organische koolstof een relatief grote invloed op de activiteit in de oplossing. De weergave hiervan is daarom achterwege gelaten.



Figuur 9. Gemeten en berekende activiteiten van cadmium en zink in de bodemoplossing

Figuur 9 toont duidelijke verschillen tussen de berekende en gemeten activiteiten van cadmium met enkele uitschieters. De berekende zeer lage waarde bij een gemeten activiteit van ca. 7 µg/l kan worden toegeschreven aan de hoge waarde van de (gemeten) pH: 8,0. Deze waarde is gelet op overige metingen erg hoog. In dezelfde bodem zijn waarden van pH 5,9 gangbaar. In dat geval zou een activiteit van 1,34 µg/l zijn berekend. De berekende hoge activiteit (12,9) bij een gemeten activiteit van 4,6 moet worden toegeschreven aan de relatief hoge maximale beschikbare hoeveelheid in het dempingmateriaal (shredder). De overige hoge waarden gelden eveneens voor shredder. In het traject met de lagere activiteiten, blijkt de berekende activiteit, waarbij geen rekening is gehouden met de verdeling tussen vloeistof en opgeloste organische koolstof, ca. 50% te bedragen van de gemeten cadmiumactiviteit.

Voor zink blijkt een goed verband te bestaan tussen de berekende en gemeten activiteit in de oplossing (figuur 9).

3.6.6 Gehalten in gras en de concentratie in de bodemoplossing

Plantenwortels nemen stoffen uit hun omgeving op in opgeloste vorm. Deze stoffen passeren het levende gedeelte (cytoplasma) van de wortelcellen, waarbij door verschillende processen de stoffen kunnen worden vastgelegd (fixatie, opslag) of afgebroken (detoxificatie). De stof kan verder actief van cel tot cel worden doorgegeven of vrij diffunderen: het symplastisch transport. Een andere route is buiten de cellen om, via intercellulaire ruimten en celwanden: het apoplastisch transport. Concentratiegradiënten spelen daarbij een rol. Daarbij treden geen fysiologische blokkade of detoxificatie op. Adsorptie aan celmembranen (plasmalemma) is ook mogelijk. Plasmalemmae hebben inwendig een lipoïde (olieachtig) karakter, waardoor deze hydrofobe stoffen binden.

Om naar de bovengrondse delen te kunnen worden getransporteerd (translocatie) dienen de stoffen de kern van de wortel te bereiken van waaruit ze via de xyleemvaten verder worden vervoerd. Dit transport is grotendeels passief en wordt bepaald door de transpiratie (en dus wateropname) van de plant. Voor de kern van de wortel wordt bereikt, moeten de stoffen echter een ring van cellen (endodermis) passeren, die het apoplastisch transport uitsluiten. Deze ring sluit de kern hermetisch af met behulp van de zogenaamde bandjes van Caspari. Een aantal stoffen wordt door het gedwongen symplastisch transport van verdere verplaatsing uitgesloten. Die stoffen kunnen dus wel in de buitenste schil van de wortel (epidermis en cortex) opgeslagen worden, maar bereiken niet het xyleem. In het xyleem worden de stoffen met de transpiratiestroom mee omhoog gevoerd en hopen zich op in de sterkst transpirerende gedeeltes van de plant (bladranden). Ook symplastisch transport door de epidermis is mogelijk, zij het dat de verplaatsing aanmerkelijk langzamer gaat.

Bladeren maken van de nutriënten die via het xyleem zijn aangevoerd stoffen die voor de verdere opbouw en ademhaling van de plant nodig zijn. Vanuit de bladeren worden deze stoffen via het phloem naar de overige delen van de plant vervoerd. Verontreinigingen kunnen ook op deze wijze worden getransporteerd. Bloemen, vruchten, bladknoppen en ook ondergrondse knollen worden van de benodigde stoffen via het phloem voorzien,

hetgeen verklaart waarom wortels soms wel en knollen geen verontreiniging bevatten (Broekema, niet gedateerd).

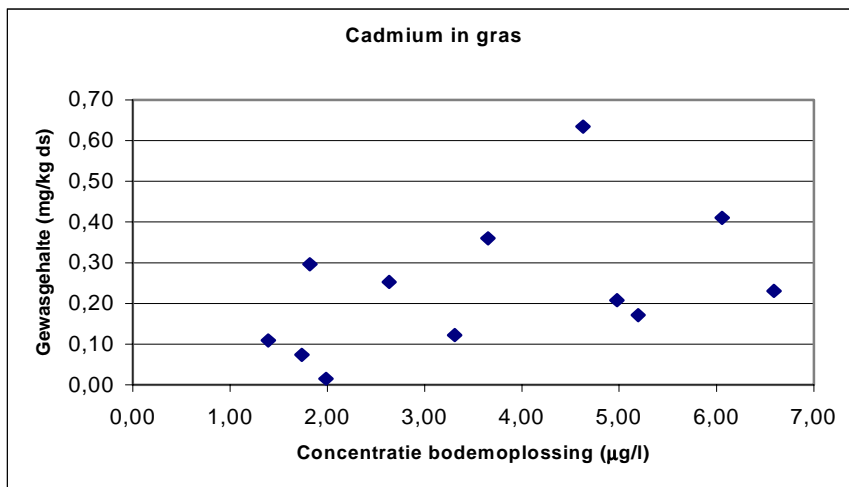
In figuur 10 is de samenhang weergegeven tussen de gemeten concentraties zware metalen in de bodemoplossing en de gemeten gehalten in het gras op basis van droge stof.

Het blijkt dat er voor de metalen cadmium, lood en zink een min of meer duidelijke samenhang bestaat tussen de concentratie van het metaal in de bodemoplossing en het gehalte in de droge massa van de bovengrondse grassdelen. Bij cadmium is er een ruime spreiding. De samenhang bij lood lijkt niet sterk, maar bedacht dient te worden dat de detectielimiet van de gebruikte analyseapparatuur ontoereikend is voor de geringe concentraties. De samenhang bij zink is zeer duidelijk. Bij de metalen nikkel, koper en chroom ontbreekt die. Een nadere analyse waarbij ook de invloed van de opgeloste organische verbindingen in de bodemoplossing (DOC) wordt betrokken, zou hierin wellicht verbetering kunnen brengen.

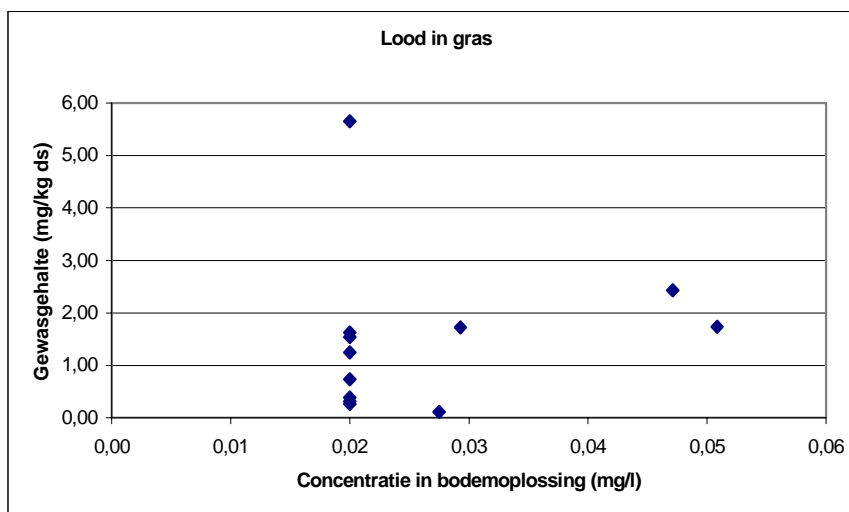
Hoewel fysiologisch gezien de concentratie (of activiteit) van stoffen in het bodemvocht de enige parameter is die bepalend is voor de opname door planten, heeft deze waarde beleidsmatig (nog) geen functie en gaat men (nog) uit van de totaalgehalten van de bodem. Ter illustratie zijn daarom de gehalten van gras in verband gebracht met zowel de totale gehalten in de bodem (op basis van extractie met koningswater), met de maximaal (= potentieel) beschikbare hoeveelheid (op basis van extractie met 0.43 M HNO₃) en met de actueel beschikbare hoeveelheid metalen (extractie met 0.002 M CaCl₂). Uitgaande van een (eenvoudig) logaritmisches verband tussen gehalten van gras en bodem [$\text{Log}(\text{geh. gewas}) = a \text{Log}(\text{geh. bodem}) + b$], zijn indicatieve correlatiecoëfficiënten gevonden (tabel 14).

Tabel 14. Correlatiecoëfficiënten (r) voor het verband tussen het zware metaalgehalte van de bodem en gehalte van gras voor de Krimpenerwaard en beschreven door de vergelijking $\log(\text{geh. gewas}) = a \log(\text{geh. bodem}) + b$

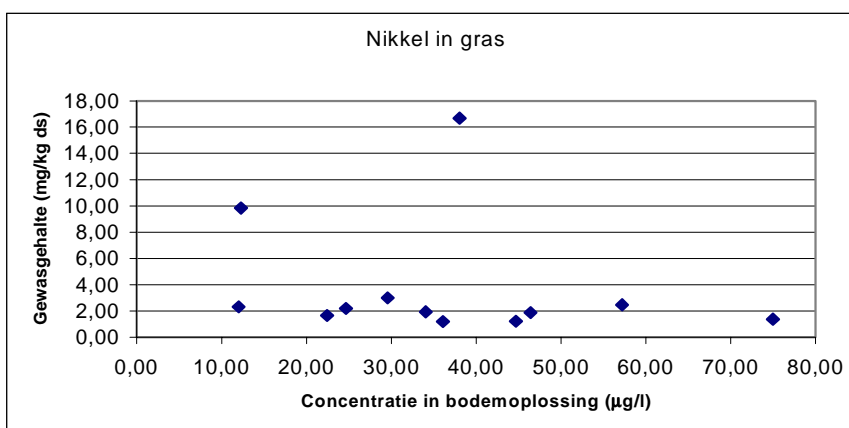
Metaal	Correlatiecoëfficiënt (r)		
	Totaal gehalte (koningswater-extract)	Maximaal beschikbaar (0.43 M HNO ₃ -extract)	Bodemoplossing (0.002 M CaCl ₂ -extract)
Cadmium	-	0.0093	0.54
Lood	0.42	0.37	0.23
Nikkel	-0.16	-0.18	-0.34
Koper	-0.54	-0.42	-0.35
Zink	0.82	0.84	0.70
Chroom	-0.52	-0.58	-0.27



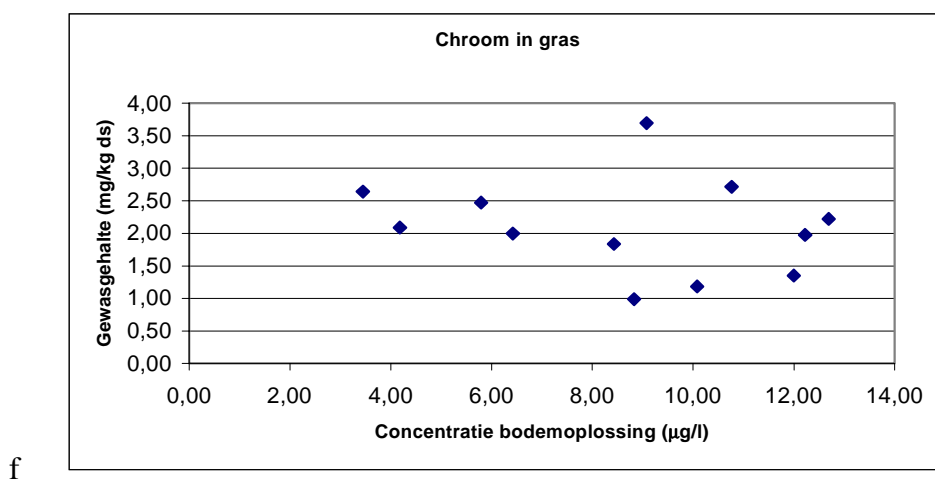
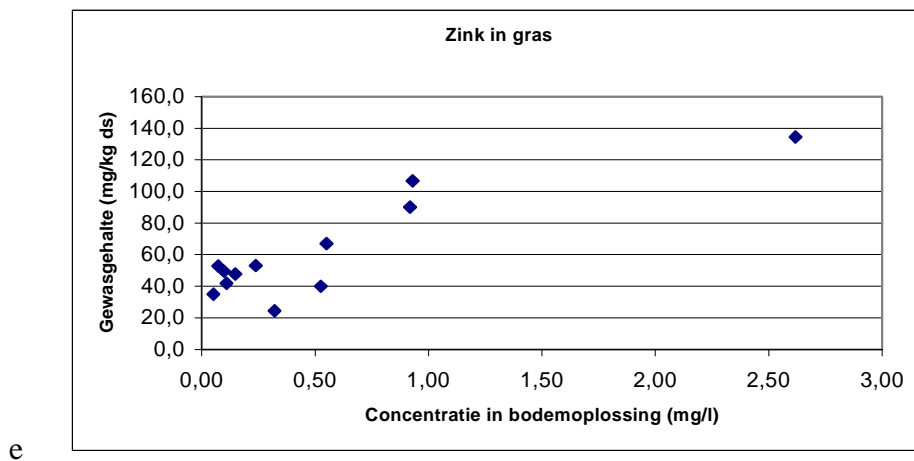
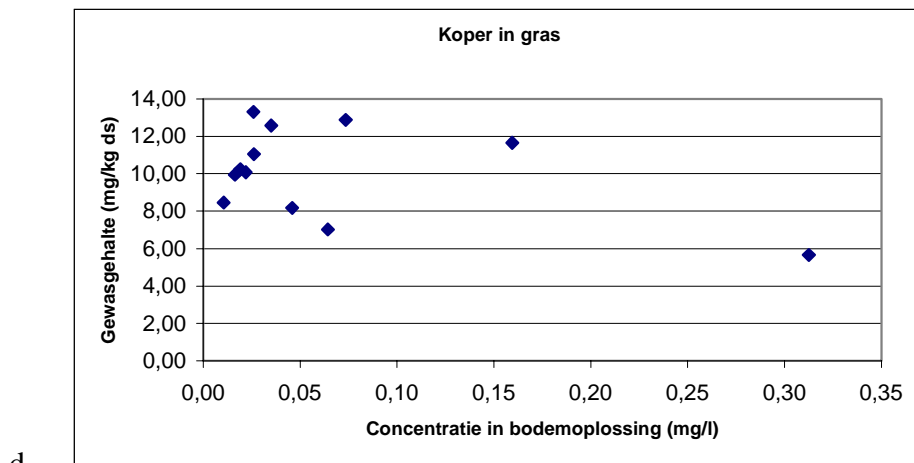
a



b



c



Figuur 10. Samenhang tussen de concentratie in de bodemoplossing en het gehalte in gras op basis van droge stof voor Cd (a), Pb (b), Ni (c), Cu (d), Zn (e) en Cr (f)

De gehalten van nikkel, koper en chroom in het gewas hebben kennelijk geen of een negatieve relatie met de aanwezige hoeveelheden in de bodem. Het cadmiumgehalte van gras laat een zekere samenhang zien met de concentratie in de bodemoplossing, terwijl het zinkgehalte een goede samenhang toont met zowel de totale, de maximaal beschikbare als met de actueel beschikbare hoeveelheid in de bodem. Opgemerkt zij dat de gehalten in het gewas betrekking hebben op ongewassen monsters. Stof afkomstig van atmosferische deposities en aangehechte grond kan daarom ook invloed hebben op de gevonden correlatie. Analyses van het RIVM, gerapporteerd in een brief rapport d.d. 18 september 1997 aan de Regionale Veterinaire Inspecteur van de Volksgezondheid Noord- en Zuid-Holland en Zeeland, laten zien dat de lood- en cadmiumgehalten van zorgvuldig gewassen gras, redelijk tot goed samenhangen met de totale gehalten in de bodem. Van Driel *et al.* (1975) daarentegen concluderen op grond van potproeven met verontreinigd havenslib, dat alleen bij cadmium en zink kan worden gesproken van een zekere samenhang met de totaalgehalten in de bodem. De beperkte relatie tussen gehalten van het gras en van de bodem heeft gevolgen voor de analyses ten behoeve van de bepaling van risico's. Er zal zelden kunnen worden volstaan met het bepalen van gehalten in gras alleen.

3.7 Totaalgehalten aan zware metalen op individuele monsterplekken per locatie

Een aantal locaties is geselecteerd waarvan de totale zware metalengehalten per monster zijn bepaald (bijlage 3, a t/m h).

Uit deze gegevens blijkt dat arseen onder de streefwaarde voor grond blijft, met uitzondering van de locatie 6, waar het gehalte ligt tussen streef- en interventiewaarde. De gewasgehalten blijven alle onder de 1,2 mg/kg ds. Bij de bepaling van het cadmiumgehalte van mengmonsters is apparatuur gebruikt met een beperkte detectiegrens (3,15 mg/kg). Bij de analyse van individuele monsters is apparatuur gebruikt met een veel lagere detectiegrens. De eerder vermelde waarden van < 3,15 mg/kg ds, blijken te liggen tussen 0,55 en 1,8 mg/kg ds. De chroomgehalten tonen grote uitschieters (tot ca. 700 gm/kg) in shredder. De gehalten in de toplaag liggen alle tussen streef- en interventiewaarde. Het gemiddeld gehalte aan koper van de individuele monsters ligt dicht bij het gehalte dat in de mengmonsters is bepaald. Op locatie 6 ligt koper aanzienlijk boven de interventiewaarde. Kwik ligt in de buurt van de streefwaarde, weer met uitzondering van locatie 6, waar deze waarde iets hoger is. De gemiddelde gehalten aan lood, nikkel en zink (bijlage 3, f t/m h) ligt in de buurt van de gehalten van de mengmonsters.

Op basis van de vastgestelde gemiddelde waarden en de standaarddeviaties per type demping, zal in het vervolgonderzoek een bemonsteringsstrategie worden ontworpen voor een uitgebreid verificatieonderzoek.

3.8 Beoordeling landbouwkundige risico van zware metalen op proefplekken

De resultaten van de verschillende analyses op de onderzochte locaties voor het gewas en voor de bovenste 5 cm van de afdeklaag zijn samengevat in de tabellen 15 t/m 17. Tabel 15 bevat een omschrijving van het dempingmateriaal, de dikte van de afdeklaag met standaardafwijking en verder de metaalgehalten van gras op verschillende dempingen. De cadmiumgehalten worden gebruikt voor de bepaling van het landbouwkundig risico. De tabellen 16 en 17 bevatten de metaalgehalten van de afdeklagen op basis van extractie met koningswater (totaal gehalte) respectievelijk 0,43 M HNO₃ (maximale beschikbaarheid). Aangezien het totaal cadmiumgehalte altijd hoger is dan de maximale beschikbare hoeveelheid, mag worden verwacht dat ook het niveau van het landbouwkundige risico, berekend op basis van totale gehalten hoger zal zijn dan wanneer dit wordt berekend op basis van de maximale beschikbaarheid. Berekening van het landbouwkundig risico vindt plaats volgens de in paragraaf 3.4 beschreven systematiek.

De bijdrage vanuit het oppervlaktewater aan de dagelijkse inname van zware metalen door vee is beperkt: < 0,00000283 ; < 0,0000283; 0,0000375; 0,0000446; 0,0000213; 0,0000128 en 0,0000758 mg per kg lichaamsgewicht voor respectievelijk kwik, cadmium, chroom, koper, nikkel, lood en zink (gegevens Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden over 1999). De gemiddelde waarden voor het oppervlaktewater in de Krimpenerwaard zijn gegeven in bijlage 5.

Tabel 15. Gehalten aan zware metalen in gewasmonsters (mg/kg ds) van verschillende locaties in de Krimpenerwaard en gemiddelde dikte van de afdeklaag met standaardafwijking

Locatie	Omschr.	Afdeklaag (gem.)	Demping-materiaal	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
1	Demping	21,3 (11,0)	Shredder	0,23	11,66	1,97	2,46	1,73	90,1
	Referentie			0,17	11,05	1,35	1,88	0,11	39,9
2	Demping	11,1 (5,4)	Bouw & sloop	0,02	8,46	2,09	2,31	1,54	52,8
	Referentie			0,63	12,58	3,69	2,99	5,65	53,1
3	Demping	49 (18,1)	Bouw & sloop	0,25	9,94	2,47	1,65	0,73	47,7
	Referentie			0,07	10,25	1,83	2,19	0,32	35,0
4	Demping	23,8 (11,9)	Shredder	0,30	12,88	2,00	1,95	1,25	106,7
	Referentie			0,12	13,3	2,22	1,22	0,39	41,8
5	Demping	29,7 (17,3)	Bouw & sloop	0,11	10,07	2,64	9,83	1,62	49,6
	Referentie			0,21	7,02	1,18	1,20	0,27	24,3
6	Demping	7,0 (2,9)	Shredder	0,36	5,67	0,99	1,38	2,43	134,4
	Referentie			0,41	8,17	2,71	16,68	1,72	67,0

Tabel 16. Totale gehalten aan zware metalen in de bodemlaag 0 – 5 cm (mg/kg ds extractie met koningswater) van verschillende locaties in de Krimpenerwaard en gemiddelde dikte van de afdeklaag met standaardafwijking

Locatie	Omschr.	Afdeklaag (gem.)	Demping-materiaal	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
1	Demping	21,3 (11,0)	Shredder	< 3.15	176.2	36.4	30.4	234.3	307
	Referentie			< 3.15	57.3	32.7	24.7	94.2	196.9
2	Demping	11,1 (5,4)	Bouw & sloop	< 3.15	52.4	29.8	20.0	91.6	224.2
	Referentie			< 3.15	61.5	33.9	23.2	94.7	205.8
3	Demping	49 (18,1)	Bouw & sloop	< 3.15	42.1	33.4	22.1	70.5	147.2
	Referentie			< 3.15	61.8	54.9	32.8	69.9	165.2
4	Demping	23,8 (11,9)	Shredder	< 3.15	158.6	34.7	35.5	180.1	1019
	Referentie			< 3.15	54.4	53.5	31.1	78.9	161.2
5	Demping	29,7 (17,3)	Bouw & sloop	< 3.15	90.1	25.8	32.5	101.1	237.2
	Referentie			< 3.15	95.1	43.5	26.1	108.7	206.6
6	Demping	7,0 (2,9)	Shredder	4.61	943.6	91.4	182.2	994.0	3046
	Referentie			< 3.15	93.3	51.1	35.5	193.2	249.2

Tabel 17. Maximale beschikbare hoeveelheid zware metalen in de bodemlaag 0 – 5 cm (mg/kg ds) van verschillende locaties in de Krimpenerwaard (extractie met 0.43 M HNO₃)

Locatie	Omschr.	Gehalte org. st. in grond	Demping-materiaal	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
1	Demping	52.4	Shredder	1.604	104.4	1.906	11.71	142.5	310.5
	Referentie	49.0		0.967	21.4	1.349	8.24	53.9	158.5
2	Demping	42.3	Bouw & sloop	0.732	19.84	2.234	5.76	32.8	110.3
	Referentie	51.3		1.007	23.68	1.193	7.17	50.0	106.7
3	Demping	53.2	Bouw & sloop	0.822	17.24	1.394	7.02	31.6	64.7
	Referentie	45.3		1.056	25.37	2.544	8.304	30.0	52.4
4	Demping	41.6	Shredder	1.473	83.52	1.512	11.63	70.9	1575.2
	Referentie	26.8		1.041	45.19	3.157	7.49	36.3	48.1
5	Demping	66.7	Bouw & sloop	0.938	22.06	0.759	7.48	25.7	107.4
	Referentie	48.7		1.017	34.18	1.807	7.44	45.5	88.6
6	Demping	54.2	Shredder	9.509	639.43	25.15		562.7	1884.9
	Referentie	43.0		1.214	46.67	1.214	9.55	118.0	107.4

In tabel 18 is de berekende dagelijkse inname door rundvee van zware metalen uit grond en gras gegeven. Hieruit blijkt tevens dat de bijdrage tot de dagelijkse opname uit het oppervlaktewater verwaarloosbaar is.

Tabel 18. Berekende dagelijkse inname van zware metalen door runderen op basis van maximale beschikbare hoeveelheden in de bodem en opname via het gewas, maar exclusief opname via drinkwater (mg/kg lichaamsgewicht)

Locatie	Corr. fact grondingestie	Dagelijkse inname runderen (mg/kg lichaamsgewicht)					
		Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
1-1	0,3	0,00774	0,40437	0,00112	0,07938	0,13476	2,83186
Ref-1	0,3	0,00561	0,33747	0,00079	0,06014	0,03488	1,26814
2-1	0,36	0,00096	0,26281	0,00158	0,07202	0,06849	1,63189
Ref-2	0,3	0,01925	0,38394	0,00070	0,09230	0,19564	1,62464
3-1	0,25	0,00783	0,30092	0,00068	0,05189	0,03711	1,43450
Ref-3	0,33	0,00285	0,31776	0,00165	0,06970	0,02871	1,06299
4-1	0,51	0,01020	0,46238	0,00151	0,06884	0,10759	4,71244
Ref-4	0,36	0,00434	0,42324	0,00223	0,04114	0,03705	1,26439
5-1	0,22	0,00362	0,30577	0,00033	0,29240	0,05877	1,50379
Ref-5	0,3	0,00671	0,22649	0,00106	0,03953	0,03288	0,76708
6-1	0,25	0,01525	0,48009	0,01233	0,07370	0,34719	4,87738
Ref-6	0,35	0,01291	0,27243	0,00193	0,49712	0,13164	2,04286
Toelaatbaar		0,02	2	1,9	-	0,2907	27 - 30

Uit tabel 18 blijkt dat als wordt uitgegaan van maximale beschikbare hoeveelheden zware metalen in de bodem en de gehalten van het gewas, in de huidige situatie alleen op locatie 6-1 (dunne afdeklaag op shredder) de maximaal toelaatbare dagelijkse inname van zware metalen door runderen voor lood wordt overschreden. De dagelijkse inname van cadmium op referentielocatie 2 nadert de maximaal toelaatbare inname. Zie hiervoor ook figuur 11 (A).

Omdat het niet zeker is of de genoemde maximaal toelaatbare dagelijkse innamen van zware metalen door runderen zijn gebaseerd op beschikbare hoeveelheden dan wel op totale hoeveelheden zware metalen in grond, is ook getoetst of er risico's aanwezig zijn wanneer in plaats van de maximale beschikbare hoeveelheden (0.43 M HNO₃), wordt uitgegaan van de totale gehalten zware metalen van de grond (koningswaterextractie) die in tabel 16 zijn gegeven.

Uit tabel 19 blijkt dat ook in dit geval de toelaatbare dagelijkse inname door runderen, behoudens voor cadmium op referentielocatie 2 en lood op locatie 6-1 (dunne afdeklaag op shredder) de toegestane grenswaarden niet overschrijdt.

De berekende landbouwkundige risico's op basis van cadmiumgehalten die zijn verkregen door extractie met koningswater zijn ca. 10 - 20% hoger dan die op basis van extractie met 0.43 M HNO₃ (zie tabellen 18 en 19). Verder blijkt dat de bijdrage aan het landbouwkundig risico van cadmium in de bodem ca. 10% bedraagt, van koper 90% en

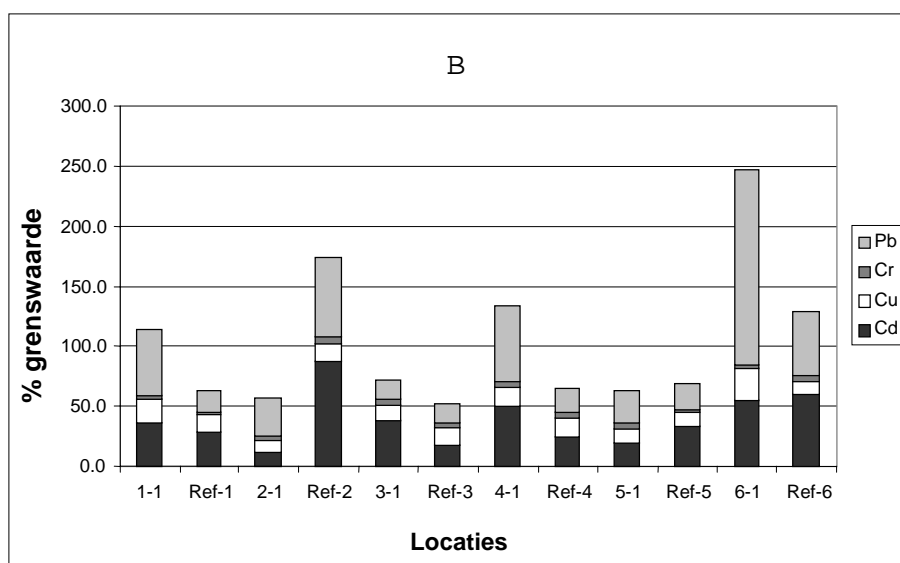
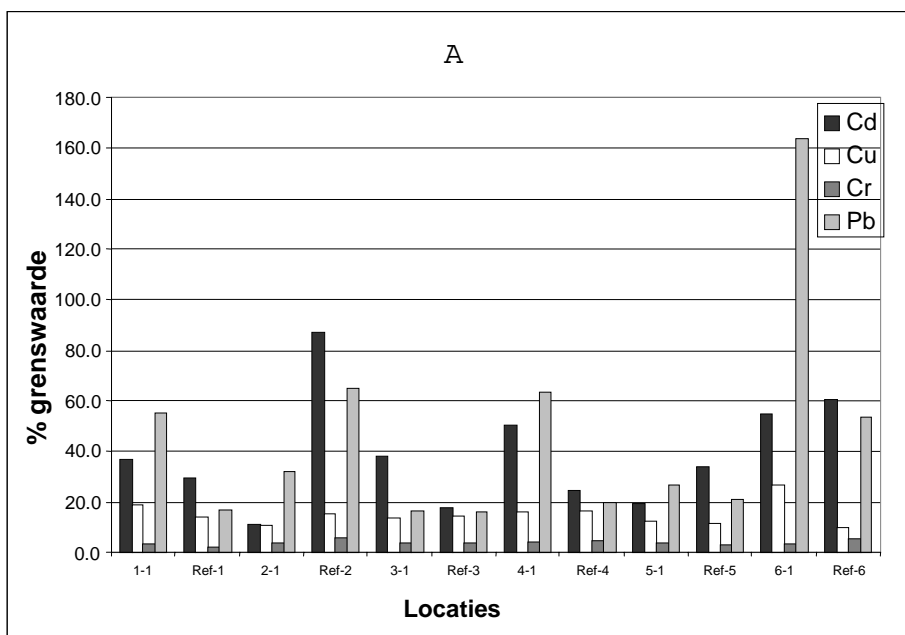
Tabel 19. Berekende dagelijkse inname van zware metalen door runderen (mg/kg lichaamsgewicht) op basis van de totale gehalten zware metalen in de grond

Locatie	Corr. fact. grond-ingestie	Dagelijkse inname runderen (mg/kg lichaamsgewicht)					
		Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
1-1	0.3	0.00865	0.44658	0.07948	0.09036	0.18880	2.82979
Ref-1	0.3	0.00689	0.35857	0.05907	0.06985	0.05857	1.29074
2-1	0.36	0.00267	0.28578	0.08246	0.08209	0.10997	1.71226
Ref-2	0.3	0.02051	0.40619	0.12855	0.10176	0.22195	1.68292
3-1	0.25	0.00897	0.31309	0.08912	0.05927	0.05617	1.47491
Ref-3	0.33	0.00420	0.34133	0.08951	0.08553	0.05449	1.13611
4-1	0.51	0.01188	0.53745	0.09341	0.09270	0.21677	4.15702
Ref-4	0.36	0.00583	0.42977	0.10305	0.05778	0.06772	1.34426
5-1	0.22	0.00458	0.33514	0.08879	0.29931	0.09128	1.55981
Ref-5	0.3	0.00796	0.26234	0.06032	0.05051	0.07183	0.83651
6-1	0.25	0.01285	0.62920	0.07386	0.10354	0.55861	5.44640
Ref-6	0.35	0.01424	0.30646	0.11485	0.51492	0.18325	2.14014
Toelaatbaar		0.0200	2.0	1.9	-	0.2907	27 - 30

van lood en zink respectievelijk 99% en 50%. Deze variatie betekent dat vrijwel altijd de bodem en het gewas geanalyseerd moeten worden. Ook blijkt hieruit dat de veevoedernorm sec, geen goed beoordelingscriterium is voor de gebruikskwaliteit van grasland.

Combinatie van de dagelijkse inname van alle metalen tot een somparameter ('Toxic units'), laat zien dat de dagelijkse inname overal meer bedraagt dan 50% van de toelaatbaar geachte hoeveelheid. De somparameter op locaties met shredder als dempingmateriaal (locaties 1, 4 en 6) overschrijdt op deze wijze berekend de toelaatbare grenswaarde en zou een onaanvaardbaar risico vormen (zie figuur 11 (B)).

Wegens het ontbreken van voldoende inzicht in de concentratieadditie van zware metalen bij rundvee, wordt hier echter uitgegaan van de eisen van de warenwet (geen overschrijding van gehalten van individuele elementen). Voor de onderzochte locaties kan worden geconcludeerd dat de aanname dat een onverdachte afdeklaag van 0,3 m of meer geen landbouwkundig risico vormt (Bodembeheerplan Krimpenerwaard), juist is. Gelet op het beperkt aantal onderzochte locaties kan van deze conclusie geen betrouwbaarheid worden gegeven. Een dunnere afdeklaag op het dempingmateriaal shredder vormt wel een risico.



Figuur 11. Relatieve dagelijkse inname van zware metalen door grazend vee op dempingen en referentielocaties in de Krimpenerwaard op basis van maximale hoeveelheden zware metalen in de bodem (extractie met 0.43 M HNO₃) en de gehalten in het gewas. A: voor afzonderlijke metalen; B: voor de somparameter (Pb+Cr+Cu+Cd)

3.9 PAK-gehalten

De PAK-gehalten zijn uitsluitend bepaald in het bodemmateriaal. In tabel 20 zijn de zogenaamde PAK-10 van VROM weergegeven.

Tabel 20. PAK-gehalten (mg/kg ds) van geselecteerde bodems in de Krimpenerwaard, 1999

Locatie	Referentie	Laag 1	Laag 2	Laag 3
1	4.184	4.591	8.205	10.414
2	6.755	8.930	28.956	49.219
3	4.572	4.608	9.466	14.844
4	1.120	3.979	4.479	6.615
5	4.377	5.079	6.298	11.907
6	26.541	3.798		28.40

Verklaring: Referentie = midden van perceel grenzend aan demping; laag 1 = 0 – 5 cm –mv; laag 2 = onderste 5 cm van afdeklaag; laag 3 = bovenste 5 cm van dempingmateriaal.

Uit tabel 20 blijkt dat de gehalten in de bovenste 5 cm van de afdeklaag systematisch geringer zijn dan in de onderste 5 cm. Niet zeker is of dat moet worden toegeschreven aan de invloed van het dempingmateriaal. De gehalten in het dempingmateriaal zijn meestal hoger dan in de afdeklaag. Het PAK-gehalte in de toplaag op de referentielocaties is behoudens voor locatie 6 (naast shredder met een dunne afdeklaag) niet significant verschillend van de toplaag van de afdeklaag. De gehalten liggen op alle locaties boven de streefwaarde (1 mg/kg ds), maar onder de interventiewaarde (40 mg/kg ds).

3.10 Conclusies

Uit het verkennend onderzoek kan een aantal (voorlopige) conclusies worden getrokken:

a) Gehalten van de afdeklaag

Uit de analyses blijkt dat de gehalten van zware metalen in de afdeklagen en de bijbehorende referentielocaties onderling niet duidelijk verschillen. Alleen op shredder met een dunne afdeklaag lijkt er een invloed te zijn van de ondergrond op de bovengrond, die tot uiting komt in een verhoogd gehalte aan zware metalen in het afdek materiaal.

In dit onderzoek is als referentie voor het midden van de percelen naast de dempingen gekozen. Daarbij is ervan uitgegaan dat de afdeklagen op de dempingen dezelfde samenstelling hadden als de toplaag in de omgeving ten tijde van het aanbrengen van het dempingmateriaal en de latere invloeden van atmosferische depositie en toevoer van zware metalen via kunst- en stalmest eveneens gelijk zijn. Niet uitgesloten is echter dat zoals in cultuurtechnische werken gebruikelijk is, vooraf aan het dempen van sloten de aanwezige bagger verwijderd is en deze naderhand als afdeklaag op het dempingmateriaal is gebruikt.

In dat geval zou het logisch zijn geweest om de kwaliteit van de waterbodem als referentie te kiezen. Overigens kan ook in dat geval niet worden uitgesloten dat de samenstelling van de toplaag op de percelen overeenkomt met die van de slootbagger omdat deze traditioneel wordt verspreid over de aangrenzende akkers. Omdat de samenstelling van de afdekklagen die direct na de slootdempingen zijn aangebracht onbekend is, blijft voor wat betreft de vergelijking van dempingen met een referentie in de directe omgeving enige onzekerheid bestaan.

Het PAK-gehalte blijkt in de toplagen systematisch hoger dan in dieper gelegen lagen. Er kon geen significant verschil tussen de gehalten in de toplagen van de afdekklagen en referentielocaties worden aangetoond. De gehalten overschrijden alle de streefwaarde, maar blijven aanzienlijk onder de interventiewaarde.

b) Gehalten van gras

Behoudens voor zink en in mindere mate voor cadmium en lood, blijkt uit dit onderzoek geen betrouwbare samenhang tussen de gehalten in de bodem en die in het gras.

Analyse van omvangrijke datasets door Römken (2000 data) leidde tot dezelfde conclusie, zij het dat in zijn onderzoek ook bij lood de relatie afwezig lijkt te zijn.

Op grond hiervan moet worden geconcludeerd dat, behoudens voor zink en cadmium, een duidelijk verband tussen de gehalten aan zware metalen in de grond en die in het gras ontbreekt en voor de gehalten aan zware metalen in het gras voortaan zou kunnen worden uitgegaan van gemiddelde waarden, onafhankelijk van de locatie en eventueel nog gecorrigeerd voor aanhangende verontreinigingen door atmosferische depositie en aangehechte grond. In het vervolgonderzoek lijkt dan te kunnen worden volstaan met de analyse van de metalen zink en cadmium. Aangezien in het verkennend onderzoek zink in geen enkel geval de grenswaarde bleek te overschrijden, zou ook dit metaal niet meer geanalyseerd behoeven te worden. Blijft over cadmium.

c) Dikte afdeklaag

De meting van de dikte van de afdekklagen was bedoeld om te toetsen of de werkelijke dikte op onverdachte locaties (dikte afdeklaag > 0,3 m) inderdaad gelijk of meer is dan 0,3 m. De dikte van de afdekklagen op shredder blijkt amper aan deze eis te voldoen, terwijl op dempingen met bouw- en sloopafval deze dikte ruimschoots wordt gehaald.

d) Landbouwkundige risico's

Op basis van de benadering dat dierproducten geen humane risico's mogen vormen en moeten voldoen aan de warenwetnorm, blijkt dat er geen actuele landbouwkundige risico's bestaan op dempingen met een onverdachte afdeklaag. Wel is zo'n risico aangetroffen op de dempingen met shredder (dikte afdeklaag < 0,3 m). De overschrijdingen van de somparameter van zware metalen voor de toelaatbare dagelijkse inname is hiervoor een aanwijzing. Het aantal onderzochte locaties is echter onvoldoende om deze conclusies statistisch te onderbouwen.

Gebleken is dat de bijdrage van zware metalen in het oppervlaktewater aan de dagelijkse inname door runderen verwaarloosbaar is.

De veevoedernorm voor ruwvoer wordt op geen enkele locatie, ook niet op locaties met een verdachte afdeklaag, overschreden en op basis van deze norm mag ruwvoer dus vrij worden verhandeld. Gelet op de variatie in de bijdrage van verschillende zware metalen in de bodem aan het landbouwkundige risico voldoet de veevoedernorm sec niet als beoordelingscriterium voor de gebruikskwaliteit van grasland en zal men daarvoor altijd de bodem en het gewas moeten analyseren en hun gemeenschappelijk effect op het bedreigde object (dier, mens) moeten beoordelen. Op dit moment ontbreekt inzicht in de dosis-effectrelatie van meerdere, gelijktijdig voorkomende zware metalen en zal men moeten volstaan met de beoordeling van de effecten van de individuele metalen.

4. Bepaling veilige dikte schone afdeklaag

4.1 Methode

De dikte van een leeflaag op een verontreinigde bodem wordt bepaald door de kans op aanvoer van verontreiniging vanuit dempingmateriaal naar de wortelzone van de afdeklaag en opname daarvan door het gewas. De dikte dient zodanig te worden gekozen, dat bij gegeven bewortelingsdiepte en grondgebruik, de verontreiniging in het dempingmateriaal geen invloed heeft op de kwaliteit van het gewas. Bij deze benadering wordt aangenomen dat in de toplaag geen verandering of (mechanische) menging optreedt.

Verontreiniging kan volgens enkele transportmechanismen worden verplaatst:

1. in opgeloste vorm via vochttransport in de bodem;
2. via de route: opname door wortels uit diepere bodemlagen, transport naar bovengrondse delen van de planten (gras), opname van gras door vee, uitscheiding via mest en gier door vee, uitrijden (verspreiden) van (stal)mest en gier over het grasland;
3. als bulk via grondverplaatsing door grondbewerking, insporing, vertrapping door vee en de activiteit van wormen en bodemdieren.

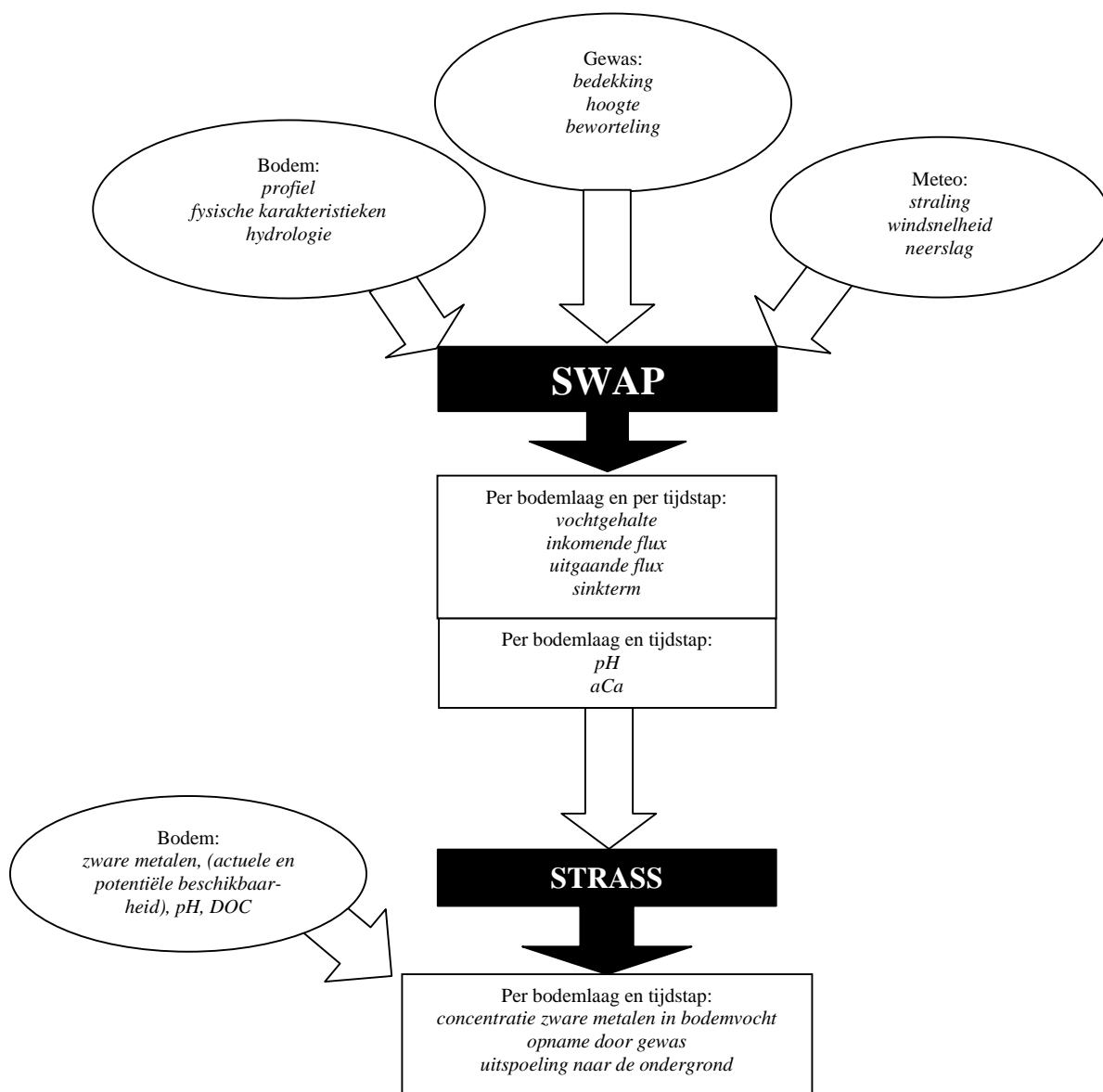
In dit rapport wordt alleen ingegaan op het transport via het bodemvocht en (2) via de route gewas-vee-mest.

De transportrichting verschilt in de tijd en met de hoogte in het bodemprofiel. In perioden zonder enige verdamping en met een neerslagoverschot (neerslag > verdamping) is de transportrichting naar beneden gericht. In perioden met een neerslagtekort (verdamping > neerslag) wordt bodemvocht vanuit lagen onder de wortelzone capillair omhoog gevoerd tot ver in de wortelzone, waar het door de plantenwortels wordt opgenomen. Opgeloste verontreinigingen kunnen met deze stroom in opwaartse richting worden verplaatst.

Verplaatsing via het gewas verloopt via opname door en doorgifte van de verontreiniging van de wortels naar de bovengrondse delen, die door vee worden opgenomen (begrazing of als ruwvoer) (zie 3.6.6). Hiervan wordt een fractie vastgelegd in het lichaamsweefsel, de rest komt terug in de (stal)mest en gier. Verontreinigd oppervlaktewater kan ook een externe bron zijn als het wordt gebruikt voor beregening of veedrenking evenals kunstmest en atmosferische depositie.

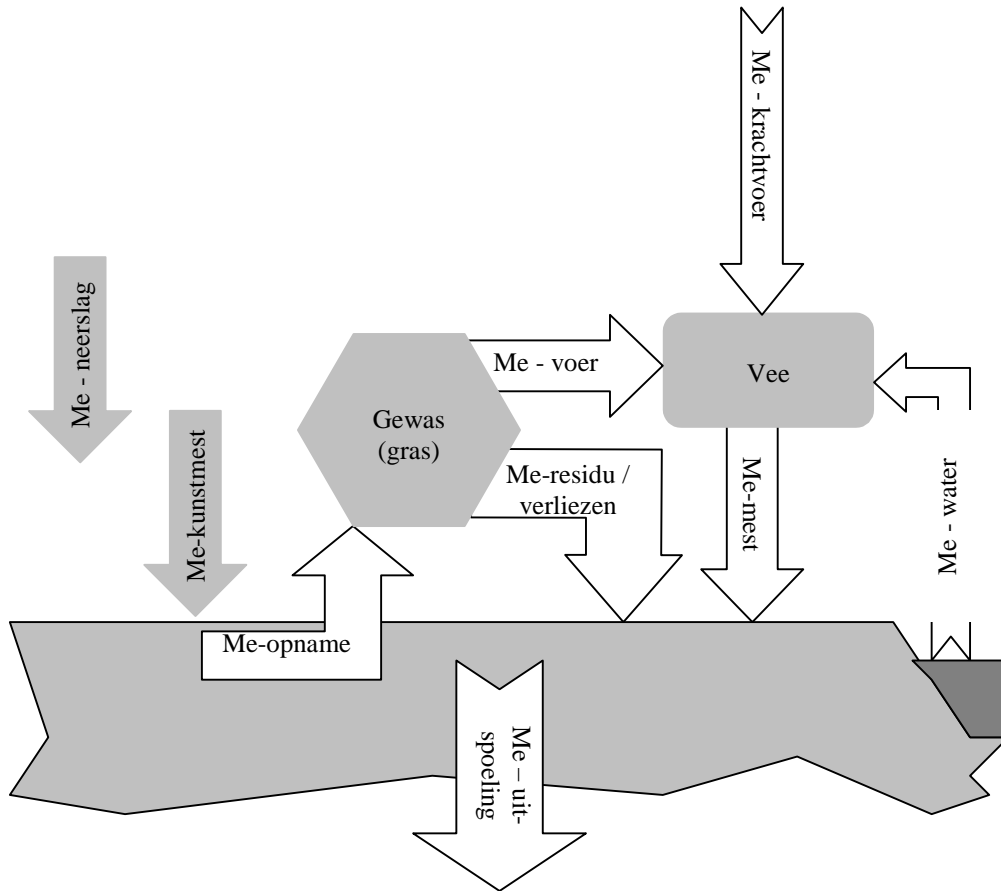
De benadering van de dikte van de schone afdeklaag berust op het berekenen van de verplaatsing van verontreinigingen en de benadering van de daaraan verbonden risico's. Om risico's van dempingen expliciet te maken wordt uitgegaan van representatieve bodemprofielen die bestaan uit een afdeklaag van een zekere dikte (variabel) en een dempinglaag met de daarin gemeten gehalten aan zware metalen, organische stof en klei, pH, EC, CEC en de calciumactiviteit (aCa). De eerste stap in de berekening betreft het transport van vocht in de bodem op verschillende dieptes en tijdstippen met behulp van een rekenmodel. Vervolgens wordt het transport van de verontreiniging in de bodem berekend en de opname ervan door het gewas. De opname wordt vergeleken met die in een referentiesituatie. Voor de berekening zijn een aantal modellen nodig (zie fig. 12):

1. model SWAP voor kwantificering van het vochttransport in de bodem en wateropname door gras, afhankelijk van bodemkarakteristieken, verdamping, neerslag en afvoer naar het oppervlaktewater;
2. STRASS voor de kwantificering van het verloop van de concentratie en activiteit van zware metalen in de bodem, de opname door het gewas en de uitspoeling naar de ondergrond in afhankelijkheid van het sorptiegedrag van de bodem, de concentratie van macroparameters, de pH en het vochttransport in de bodem.



Figuur 12. Schematische weergave van de samenhang van modellen voor de berekening van het transport van verontreinigingen in dempingen in de Krimpenerwaard

De simulatie volgt dus de kringloop van zware metalen, die in figuur 13 schematisch is weergegeven.



Figuur 13. Schematische weergave van metaalkringloop

Denken we de bodem opgebouwd uit een aantal hypothetische lagen, dan kan het gehalte van metaal M (= massa) in een willekeurige bodemlaag, i , op tijdstip $t + \Delta t$ voor bijvoorbeeld cadmium worden berekend volgens:

$$M(i, t + \Delta t) = M(i, t) + Q_{in}(i,t) + In_{ext}(i,t) - Q_{out}(i,t) - Sink(I,t)$$

Hierin is:

$$M(i,t) = \text{massa op tijdstip } t = Cd(i, t) * \{\theta(i,t) + a*K*\rho\} * d$$

$$Q_{in}(i,t) = Cd(i-1, t) * F(in) * \Delta t \quad [=instroom]$$

$$Q_{out}(i,t) = Cd(i, t) * F(out) * \Delta t \quad [=uitstroom]$$

$$Sink(I,t) = \epsilon * Cd(i, t) * S * \Delta t \quad [=opname door gras]$$

en:

$$Cd(i, t + \Delta t) = M(i, t + \Delta t) / [\{\theta(i,t+\Delta t) + a*K*\rho\} * d]$$

Hierin is: a = activiteitcoëfficiënt; C_d = concentratie cadmium in oplossing (mmol/l); d = laagdikte (dm); ε = overdrachtsfactor bodem – gewas (< 1), F = fluxen (in en uit(out)) (dm/dag); S = wateropname door plant uit die laag (dm/d); In_{ext} = input metaal vanuit externe bron (mmol/d/dm²); K = partiticoëfficiënt = $K_f(aCd)^{N_f}$; K_f = Freundlich-constante; N_f = exponent in Freundlich-vergelijking; θ = volume vochtgehalte (-); ρ = droog volume gewicht bodem.

De Freundlich-constante K_f wordt na elke tijdstap opnieuw berekend daar deze samenhangt met zowel de activiteit van calcium als van cadmium in de bodemoplossing.

4.2 Invoergegevens

Uitgangspunten voor de simulaties

Cadmium is gekozen omdat dit metaal als het meest kritische naar voren kwam. Het uitgangspunt voor de benadering van de veilige dikte van de afdeklaag betreft een veebedrijf met een veebezetting van 2,5 gve per ha (Thijs, 1990). De stal mest die wordt geproduceerd, wordt ook uitgereden op het bedrijf. Er vindt aanvullende bemesting met kunstmest plaats. Als fosfaatmeststof wordt 100 kg zuivere P₂O₅ per ha toegediend, waarvoor 220 kg meststof nodig is. Verder is aangenomen dat de jaarlijkse drogestof-opbrengst van grasland 12 ton per ha bedraagt. Bij de gekozen veebezetting wordt snijmaïs aangekocht gemiddeld 2 kg per gve per dag. De belasting van de bodem met cadmium is afkomstig van het gras, snijmaïs, kunstmest en verder nog van atmosferische depositie. Aanvoer van cadmium uit het oppervlaktewater is verwaarloosbaar klein en wordt genegeerd.

Beweidingsverliezen worden genegeerd. Daarvoor in de plaats wordt aangenomen dat de hoeveelheid door het gras opgenomen cadmium volledig via de stal mest terugkomt op het land. In deze simulatie wordt verder uitgegaan van een gemiddeld Cd-gehalte van gras, overeenkomstig de samenstelling op de referentielocaties.

Bodemeigenschappen

De bodemopbouw waarvoor berekeningen zijn uitgevoerd bestaat uit een afdeklaag met een variabele dikte (0 tot 35 cm) op een demping met shredder. De bodeminvoergegevens zijn samengevat in tabel 21. Als effectieve bewortelingsdiepte is 0,25 m aangehouden.

Vochtkarakteristieken

De fysische eigenschappen van de bodem (vochtkarakteristiek en onverzadigde doorlatendheid) zijn ontleend aan Wösten *et al.* (1987). Deze zijn geverifieerd in het Lickebaert-gebied (Boels *et al.*, 1990) en komen goed overeen met de daar gevonden waarden. De bodems in dat gebied zijn gelet op de textuur en profielopbouw nagenoeg gelijk aan die in de Krimpenerwaard.

Voor de berekening van het vochttransport is een gemiddeld jaar gekozen. Hiervoor geldt een gewastranspiratie van 350 mm, een netto-neerslag (neerslag minus oppervlakkige afstroming,

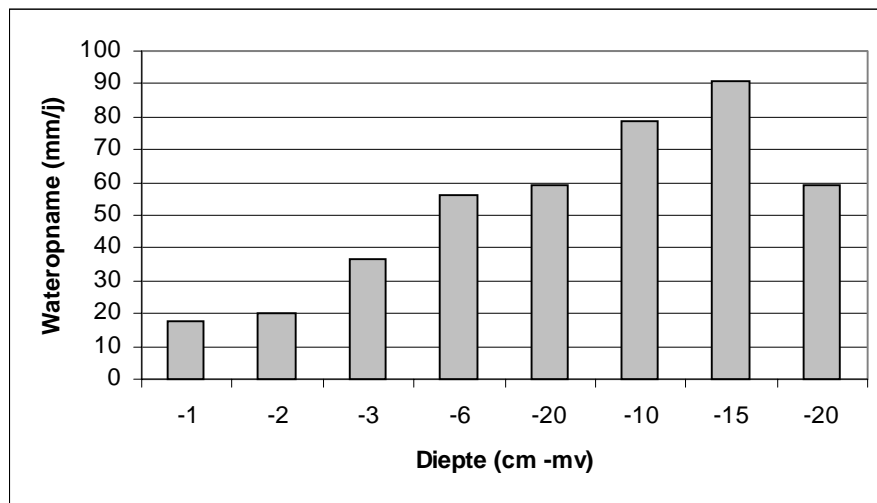
interceptie van regen door gras en bodemverdamping) van 650 mm en een afvoer naar de sloten van 300 mm. Gedurende het groeiseizoen ontstaat een neerslagtekort dat deels wordt opgevangen door de vochtvoorraad in de wortelzone en deels door vochtaanvoer naar de wortelzone vanuit daaronder gelegen bodemlagen via capillair transport in opwaartse richting. De totale capillaire aanvoer bedraagt gemiddeld 50 - 100 mm. Met die stroom kan verontreiniging vanuit het dempingmateriaal in opwaartse richting worden verplaatst. Tijdens de periode met neerslagoverschot wordt het tekort weer aangevuld en komt weer een neerwaartse stroming op gang.

Tabel 21. Invoergegevens met betrekking tot de simulatie van het stoftransport in de afdeklaag van een demping met shredder voor cadmium

	Afdeklaag	Dempingmateriaal
pH	5,3	6,2
CEC (eq/kg)	1,01	1,12
Klei (%)	26	9
Calcium (mg/l)	155	385
EC	592	1295
Cd-bodemvocht ($\mu\text{g/l}$)	4,3	12,6
Netto-neerslag (mm/j)	650	
Gewasverdamping (mm/j)	350	
Capillaire aanvoer naar wortelzone (mm/j)	50	
Effectieve bewortelingsdiepte (m)	0,25	
Cd-aanvoer (g/ha/j)		
* stalmest/gras	0,8-7,6 (gem. 3,2)	
* stalmest (snijmais)	0,055	
* kunstmest (fosfaat)	6,0	
* atmosferische depositie	1,2	
Totale cd-aanvoer (g/ha/j)		
* minimum	8,1	
* gemiddeld	10,4	
* maximum	14,8	

Water- en Cd-opname door gras

De wateropname door de wortels van het gras is niet uniform, zoals uit figuur 14 blijkt. De grootste opname vindt plaats op een diepte van 15 cm en neemt zowel in op- als neerwaartse richting af.



Figuur 14. Verdeling van de wateropname gedurende een jaar door wortels van gras

Met het water wordt een deel van de daarin opgeloste zware metalen opgenomen. Als maat voor de opgenomen fractie wordt een overdrachtsfactor gehanteerd, die uit de metingen is afgeleid. Uitgangspunt daarbij is een grasproductie van 12 ton droge stof en een wateropname van 3500 m^3 per ha. Het gemiddelde Cd-gehalte in gras op referentieplekken is $0,2683 \text{ mg/kg ds}$; omgerekend is dat een jaarlijkse opname van $3,22 \text{ g Cd per ha}$. Het gemiddelde gehalte van de bodemoplossing in de toplaag ($0 - 5 \text{ cm}$) bedraagt $4,32 \text{ } \mu\text{g/l}$, hetgeen neerkomt op een hoeveelheid in het opgenomen water van $15,12 \text{ g per ha}$. De overdrachtsfactor van cadmium in de bodemoplossing naar de bovengrondse delen van gras bedraagt dus $0,213 (=3,22/15,12)$.

Externe bronnen van cadmium

De invoergegevens met betrekking tot de hoeveelheden cadmium die jaarlijks worden aangevoerd via atmosferische depositie, fosfaatbemesting, stalmest en gier en uitscheiding via de mest tijdens het grazen door vee zijn ontleend aan de tabel 22.

De atmosferische depositie wordt onderverdeeld in een droge en natte depositie. De droge depositie maakt voor cadmium $60 - 87\%$ (gem. 74%) van het totaal uit (naar bewerkte gegevens van de Provincie Zuid-Holland, 1999). De depositie van de zware metalen lood, cadmium en nikkel toonde in de periode 1992 t/m 1996 overigens een significante afname.

4.3 Resultaten

Simulaties van verplaatsing van cadmium in de bodem en opname door gras zijn uitgevoerd voor verschillende diktes van de afdeklaag om te bepalen bij welke dikte geen invloed van

Tabel 22. Gegevens omtrent externe bronnen van verontreiniging

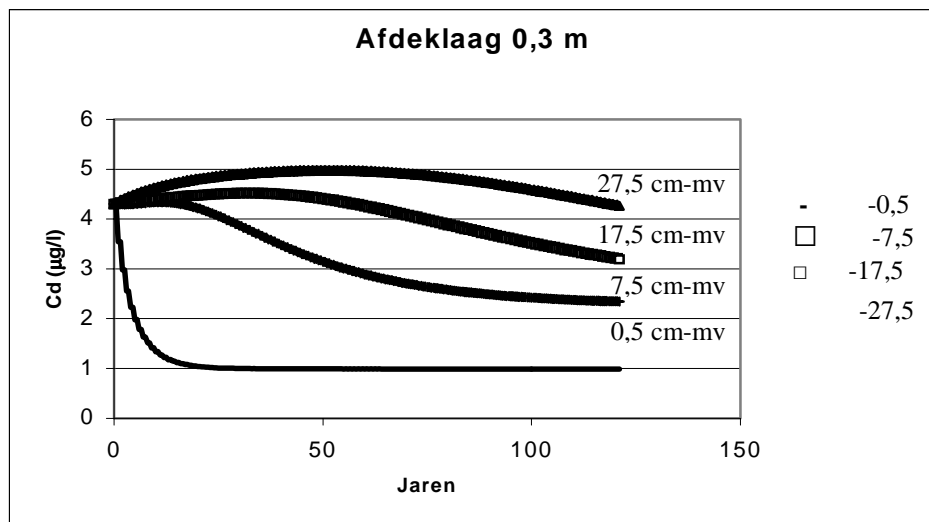
	Metaal			Bron
	Cd	Cu	Pb	
Atmosferische depositie (g/ha)	2 1,21	17	100 10.6	Hovmand, M.F., 1984 Prov. Zuid-Holland, 1999
% atm. depositie op gewas	15	2,8	-	Hovmand, M.F., 1984
Metaaluitscheiding door vee (% van inname)	98,6	99,6	99,4	Hovmand, M.F., 1984
Veevoer (mg/kg)	0,09	32	0,87	Hovmand, M.F., 1984
Fosfaat (mg/kg)	32	32	4,7	Hovmand, M.F., 1984
Superfosfaat	12-36			Smilde en Van Luit, 1983
Triple superfosfaat	9-60			(periode 1947 – 1964)
Metalen in NPK-meststof (mg/kg)	3,6	13,3	1,5	Hovmand, M.F., 1984
Oppervlaktewater (µl) (gem. Krimpenerwaard)	< 1	1,58	0,45	Zuiveringsschap Hollandse eilanden en waarden, gem. Krimpenerwaard, 1999

het dempingmateriaal meer waarneembaar is. De dikte van de afdeklaag wordt veilig genoemd, wanneer die invloed afwezig is. Berekeningen zijn uitgevoerd voor (1) een situatie waarin geen afdeklaag aanwezig is, welke geldt voor de maximale invloed en (2) een situatie waarbij geen dempingmateriaal aanwezig is (geen invloed). Vervolgens is uitgaande van een situatie zonder afdeklaag, de dikte in stappen van 5 cm vergroot. De invloed van het dempingmateriaal wordt uitgedrukt als de verhouding tussen de extra opgenomen hoeveelheid cadmium door gras boven de opname op de referentielocatie (geen dempingmateriaal) en de opname van cadmium door gras bij afwezigheid van een afdeklaag boven de opname op de referentielocatie. Deze verhouding wordt uitgedrukt in een percentage en kan dus variëren van 0 tot 100%. Ter controle daarop is het landbouwkundige risico voor elke situatie berekend conform de benadering in dit rapport. Dit risico, dat kan variëren tussen 0 en meer dan 100%, wordt verkregen door de berekende dagelijkse inname van cadmium door grazend rundvee (standaardkoe) uit te drukken als een percentage van de in dit rapport berekende maximaal toelaatbare dagelijkse inname op basis van de warenwetnorm voor rundervier.

Verloop van de concentratie

Het verloop van de cadmiumconcentratie in verschillende bodemlagen is berekend. Voor een afdeklaag van 0,3 m is de gemiddelde situatie weergegeven in figuur 15. Uit deze figuur blijkt dat er daadwerkelijk cadmium wordt verplaatst vanuit het dempingmateriaal naar het diepste deel van de afdeklaag (-27,5 cm). Na ruim 50 jaar (gemiddelde situatie) is de maximale concentratie bereikt. Daarna neemt deze weer af als gevolg van voortgaande uitspoeling van cadmium. Na 100 jaar is de uitgangskoncentratie vrijwel weer bereikt. De toplaag (0-5 cm)

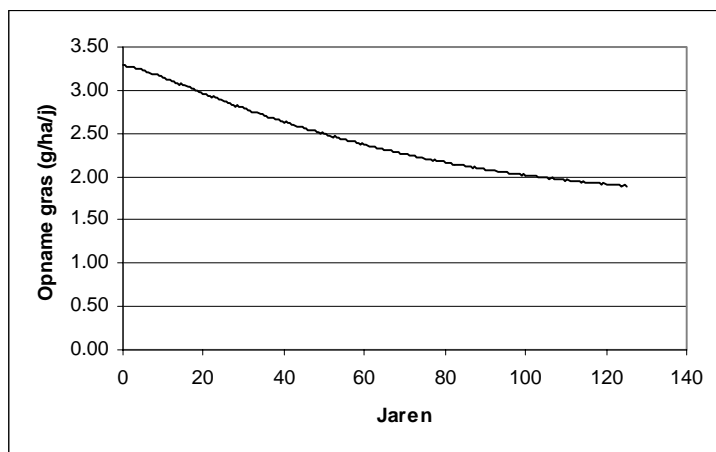
verliest het cadmium vrij snel en bereikt al na 10 à 20 jaar een concentratie die in evenwicht is met de externe aanvoer en opname door gras. De dieper gelegen lagen reageren vertraagd op de uitspoeling.



Figuur 15. Verloop van de cadmiumconcentratie op verschillende dieptes in een afdeklaag van 30 cm dikte op shredder

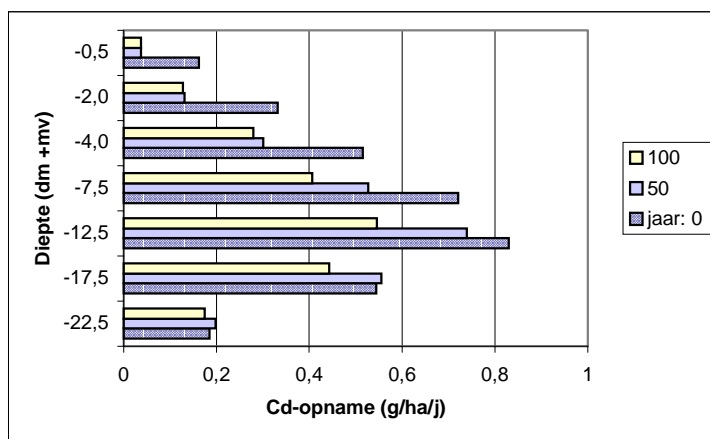
Cadmiumopname door gras

De opname van cadmium door het gewas is berekend uit de wateropname, de concentratie in de bodemplossing en met behulp van de hiervoor besproken overdrachtsfactor bodemgras.



Figuur 16. Verloop van de cadmiumopname door gras op shredder bij een dikte van de afdeklaag van 0,3 m

Uit figuur 16 valt af te leiden dat de totale onttrekking vanaf het allereerste begin afneemt. Dit valt te verklaren uit (1) de verdeling van de opname van water in de wortelzone, en (2) de afname van de opname uit de bovenste lagen die groter is dan de toename van de opname uit de diepere lagen (fig. 17).



Figuur 17. Verdeling Cd-opname door gras bij een afdeklaag van 0,3 m dikte op shredder op verschillende tijdstippen (uitgedrukt in jaren, T) na aanbrengen

Uit de figuren 15 en 17 valt af te leiden dat de relatie tussen het cadmiumgehalte in de bovengrondse delen van gras en het bodemgehalte niet eenduidig kan zijn. De wijze van bemonsteren (diepte), de historie van de locatie en de verdeling van de opname van water door het wortelstelsel hebben een niet te verwaarlozen invloed. Deze aspecten verdienen nader te worden onderzocht om beter zicht te krijgen op deze relatie.

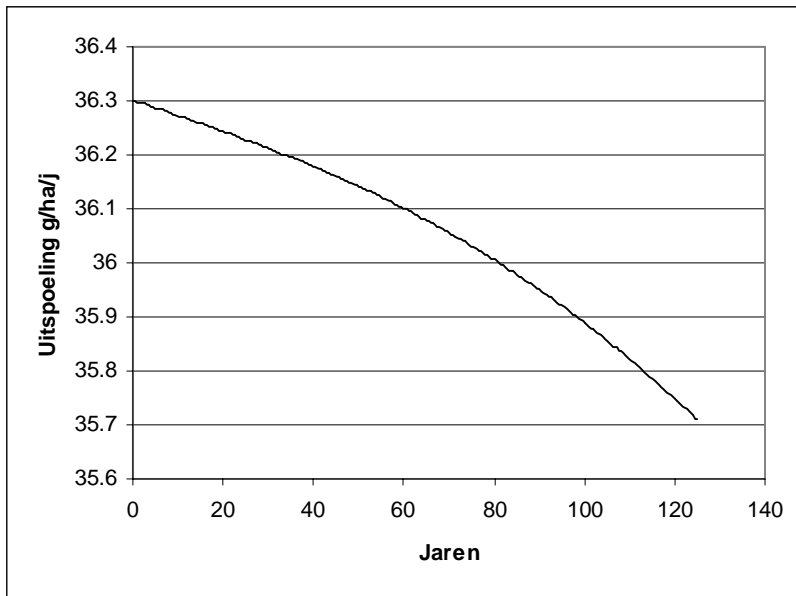
Uitspoeling Cd naar de ondergrond

Het verloop van de uitspoeling naar de ondergrond is bepaald op een diepte van 1 m onder maaiveld en weergegeven in figuur 18. Deze hoeveelheid zal voor het merendeel in de richting van het oppervlaktewater worden afgevoerd. Afhankelijk van de lokale hydrologische situatie komt ook een deel in de diepere ondergrond terecht.

De uitspoeling van cadmium uit de toplaag van 1 m dikte neemt in 125 jaar af, zij het relatief gering. De oorzaak is dat de voorraad in het dempingmateriaal vergeleken met de jaarlijkse uitspoeling erg groot is. De netto-uitspoeling uit het profiel is jaarlijks wegens de atmosferische depositie, aanvoer via de fosfaatmeststof en aankoop van krachtvoer ca. 7 gram cadmium geringer dan de uitspoeling op 1 m onder maaiveld.

Veilige dikte afdeklaag

De berekende opname van cadmium door gras en de daarmee verbonden landbouwkundige risico's zijn in tabel 23 weergegeven.



Figuur 18. Uitspoeling van cadmium naar de ondergrond (bepaald op 1 m-mv)

Tabel 23. Opname van cadmium door gras op drie tijdstippen na het aanbrengen van een afdeklaag op shredder en daarmee verbonden landbouwkundige risico's

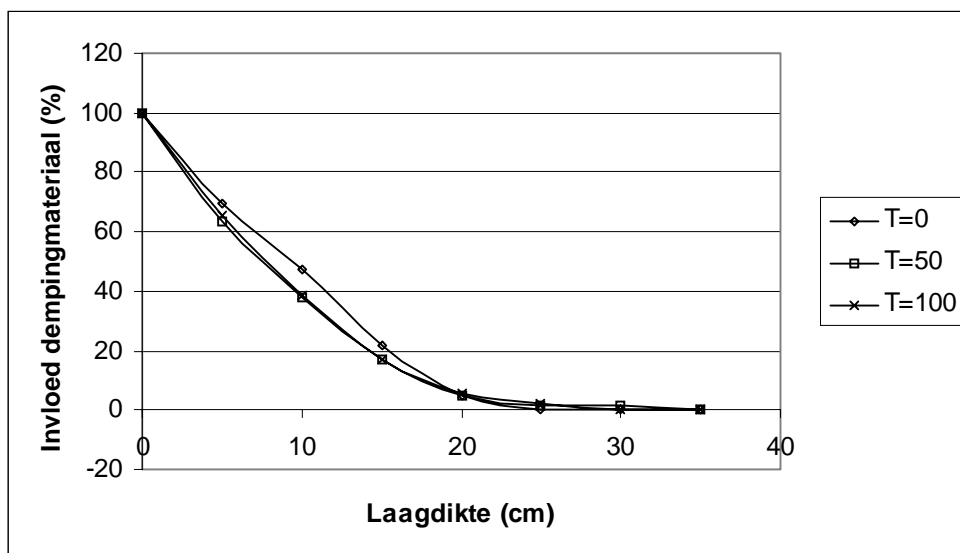
Laagdikte (cm)	Opname Cd (g/ha/j)			Risico (% van grenswaarde)		
	T=0	T=50	T=100	T=0	T=50	T=100
0	9.2	8.0	6.8	56	38	25
5	7.4	5.9	5.0	13.7	9.2	8.0
10	6.1	4.4	3.6	12.1	7.3	6.9
15	4.6	3.2	2.5	10.3	5.8	4.7
20	3.6	2.5	1.9	9.0	4.9	4.0
25	3.3	2.3	1.7	8.6	4.6	3.7
30	3.3	2.3	1.6	8.6	4.5	3.7
35	3.3	2.2	1.6	8.6	4.5	3.7
Referentie	3.3	2.2	1.6	8.6	4.5	3.7

Uit deze tabel blijkt dat op basis van de gegevens waarmee de berekeningen zijn uitgevoerd, de risico's bij afwezigheid van een afdeklaag weliswaar relatief hoog zijn (56%), maar toch nog aanzienlijk onder de grenswaarde liggen. Na verloop van tijd neemt de opname van cadmium door het gras geleidelijk af. De afname van landbouwkundige risico's is relatief sterker dan de teruggang in de opname door het gewas. Dit kan worden verklaard door de

relatief sterke afname van het gehalte aan cadmium in de bovenste centimeters van de bodem, waardoor het aandeel van de opname uit aanhangende grond vrij snel daalt.

Uit tabel 23 blijkt tevens dat de laagdikte vanuit het oogpunt van landbouwkundige risico's niet erg kritisch is en als men een risico van maximaal 10% van de grenswaarde accepteert, volstaan zou kunnen worden met een laagdikte van 15 tot 20 cm. Ook uit het verkennend onderzoek blijkt dat hoewel de dikte van de afdeklaag op shredder nauwelijks meer is dan 20 cm, de risico's van cadmium niet in het oog springend afwijken van die op de referentielocaties.

Het uitgangspunt is echter een afdeklaag die voldoende dik is om de invloed van het dempingmateriaal uit te sluiten. Als criterium is de opname van cadmium door gras in de situatie met dempingmateriaal boven die van de referentielocatie genomen ten opzichte van de situaties zonder dempingmateriaal. In figuur 19 is de relatieve invloed van dempingmateriaal op de opname weergegeven. Uit deze figuur (en ook uit tabel 23), is nu af te leiden dat de invloed op enig tijdstip afwezig is bij een laagdikte van minstens 0,3 m.



Figuur 19. Invloed dempingmateriaal op cadmiumopname door gras bij verschillende diktes van de afdeklaag op verschillende tijdstippen na aanbrengen

4.4 Conclusies

Simulatie van verplaatsing van cadmium in de bodem en opname door het gewas laat zien dat dit langzaam verlopende processen zijn. De invloed van tijdelijk opwaarts transport met capillair water naar de wortelzone heeft een aantoonbaar effect op het verloop van de concentratie op verschillende diepten in de bodem. In het afdekmateriaal boven het dempingmateriaal kan daardoor de concentratie tot boven de aanvankelijke waarde

oplopen. Uitspoeling van cadmium heeft al in korte tijd na het aanbrengen van de afdeklaag een sterk effect in de bovenste paar centimeter van de bodem. Pas na lange tijd (> 50 jaar) heeft uitspoeling ook effect op de diepere lagen. De opname van cadmium door gras toont vanaf het moment van aanbrengen van de afdeklaag een dalend verloop. De verdeling van de opname met de diepte laat ook een verschuiving zien. De opname uit de bovenste paar centimeter van de bodem neemt relatief het sterkst af. Geconcludeerd is dat wegens de niet-uniforme verdeling van de cadmiumopname door gras uit de verschillende bodemlagen als gevolg van een niet-uniforme verdeling van de wateronttrekking, er geen eenduidige relatie tussen het gehalte in het gras en de bodem (gemeten aan monsters met een beperkte laagdikte) kan bestaan. Aanbevolen wordt om dit fenomeen nader te onderzoeken en na te gaan in hoeverre een bemonsteringsstrategie hieraan tegemoet kan komen.

Uit de simulaties blijkt verder dat als van landbouwkundige risico's wordt uitgegaan, de dikte van de afdeklaag niet erg kritisch is. Bij een beperking van het landbouwkundig risico tot 10% zou al kunnen worden volstaan met een laagdikte van 15 tot 20 cm. Wordt daarentegen geëist dat het dempingmateriaal geen enkele invloed mag hebben op de opname van Cd door het vee (vergeleken met de referentiesituatie), dan is een dikte van de afdeklaag van minstens 30 cm noodzakelijk.

De uitspoeling naar de ondergrond, berekend door een vlak op 1 m onder maaiveld, vanuit het dempingmateriaal, blijkt gedurende 100 jaar na aanleg van de afdeklaag slechts weinig af te nemen (minder dan 2%).

5. Literatuur

- Aben, J.M.M., J.G.H. Laan, A.J. Frantzen en P.J.M. van der Veer, 1995a. Landelijk meetnet Regenwatersamenstelling. Meetresultaten 1990. RIVM Rapport 722101017, Bilthoven.
- Aben, J.M.M. en J.G.H. Laan, 1995b. Landelijk meetnet Regenwatersamenstelling. Meetresultaten 1991. RIVM Rapport 722101018, Bilthoven.
- Anonymus, 1984. Cadmium-belasting van rundvee en kultuurgrond in Budel e.o. c Centraal Diergeneeskundig Instituut (nu ID-DLO), Rapport 1929, Bilthoven.
- Anonymus, 1998. Uitvoeringsprogramma BEVER. Ministerie van VROM, Programmabureau BEVER, Den Haag.
- Asijee, K. (eindred.), 1993. Handboek voor de runveehouderij. Informatie en Kennis Centrum Veehouderij, Afdeling Rundvee-, Schapen en Paardenhouderij. ISBN 90-8009999-2-9, Ede.
- Berglund, S., R.D. Davis and P.L. L'Hermite (eds.), 1984. Utilisation of sewage sludge on land: Rates of application and long-term effects of metals. Proceedings of a seminar held at Uppsala, June 7-9, 1983. D. Reidel Publishing Company (229 p.), Dordrecht.
- Boels, D., F.J.E van der Bolt, A. Scholten, R. Wiebing en P.E. Rijtema, 1990. Mogelijkheden voor en effecten van sanering van het Lickebaertgebied. SC-DLO, 1990. Rapport 84 (60 p.), Wageningen.
- Boels, D. and G. Fleming, 1993. Chemical timebombs from landfills: appraisal and modelling. *Land degradation & Rehabilitation*, 4:399-405.
- Boels, D. *et al.*, 1999. Kwaliteitsverbetering van baggerspecie op basis van extensieve biorestauratie in combinatie met energieteelt. NOBIS rapport 96-1-02, Gouda.
- Broekema J.W., niet gedateerd. Bodemverontreiniging en voedingsgewassen. Provincie Zuid-Holland, Provinciale Waterstaat, Afd. Milieu. (~1983), Den Haag.
- Dobben, H.F. van, en J.H. Faber, 1997. Natuurontwikkeling op vervuilde bodems. Programma Geïntegreerd bodemonderzoek, Rapporten PBGO, deel 11, Wageningen.
- Driel, W. van, B.J. van Goor en K.W. Smilde, 1975. Zware metalen in havenslib en enkele daarop verbouwde gewassen; Interim rapport. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Nota 15, Groningen.
- Fleming, G.A., 1985. Soil ingestion by grazing animals; a factor in sludge-treated grassland. In: R.D. Davis, H. Heani and P.L. Hermite (eds). Factors influencing

- sludge utilisation practices in Europe. Elsevier Applied Science Publishers (pp. 43-50).
- Fletcher, K. and V.C. Brink, 1969. Content of certain trace elements in range forages from south central British Columbia. *Can. J. Plant Sci.* 49:517 – 520.
- Häni, H. and S. Gupta, 1985, Chemical methods for the biological characterization of metal in sludge and soil. *Proc. 4th Int. Symp. Proceedings and use of organic sludge and liquid agricultural wastes*, Rome, Italië, 8-11 oktober 1985.
- Harmsen, J., G.D. Vermeulen, J.Hoeks, K. Otten, M.C.G. Klaus, J. Joziasse en L. Feenstra, 1997. ?Definitiestudie biologische reiniging baggerspecie?. NOBIS, rapport 96-1-02, Gouda.
- Healy, W.B., 1973. Nutrition aspects of soil ingestion by grazing animals. *Chemistry and Biochemistry of Herbage* 1:567-588.
- Herlin, H.H and I. Andersson, 1996. Soil ingestion in farm animals; a review. Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. Agric. Biosystems and Technology. Report 105, Lund.
- Hinton, T.G., J.M. Stoll and L. Tobler, 1995. Soil contamination of plant surfaces from grazing and rainfall interactions. *J. Environ. Radioactivity* 29:11-26.
- Hooft, W.F. van, 1995. Risico's voor de volksgezondheid als gevolg van blootstelling van runderen aan sporenelementen bij beweiding. RIVM Rapport 693810001 (123 p.), Bilthoven.
- Hovmand, M.F., 1984. Cycling of Pb, Cd, Zn, and Ni in Danish agriculture. In: S. Berglund, R.D. Davis, and P. l'Hermitage (eds.), *Utilisation of sewage sludge on land: rates of application and long-term effects of metals*. Proceedings of a seminar held at Uppsala, June 6-9, 1983. Dordrecht, P. Reidel Publ. Company.
- IWACO, 1997. Rangschikking landbodems SBB/DLG percelen. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Directie Groene Ruimte en Recreatie. Rapport 1070230.003, Den Haag.
- Japenga, J, P.F.A.M. Römkes en J. Dolfing, 1997. Het concept bodemkwetsbaarheid als uitgangspunt bij het nemen van beslissingen op het gebied van de ruimtelijke ordening en bodemsanering? Programma Geïntegreerd bodemonderzoek, Rapporten PBGO, deel 12, Wageningen.
- Kirby , D.R. and J.W. Stuth, 1980. Soil-ingestion rates of steers following brush management in central Texas. *J. Range Management.* 33:207-209.
- Kreulen, D.A., 1985. Lick use by large herbivores: a review of benefits and banes of soil consumption. *Mammal revue* 15:107-123.

- Landbouwadviscommissie milieukritische stoffen, Werkgroep verontreinigde gronden, LAC, 1991. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Directoraat-Generaal Landelijke Gebieden en Kwaliteitszorg, Den Haag.
- Lagas, P., H. Snelting, en R. van den Berg, 1990. Verspreiding van stoffen bij bodemverontreiniging. RIVM Rapport nr. 725201002, Bilthoven.
- Leenaers, H., J. de Boer, D. Boels, M. Hoogerwerf en A. Weenk, 1999. Bodemkwaliteitsbeeld 2005: de lokale en regionale informatiebehoefte. Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek, Rapporten PGBO, deel 25 (89 p.), Wageningen.
- Lindsay, W., 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley & Sons, Inc.
- Meulen-Smidt, G.R.B. ter, T.P. Traas, J. Kros, J. Bril, H. Baveco, H. Siepel en J.H. Faber, 1997. Gedrag van zware metalen en nutriënten bij natuurontwikkeling in het Beerze-Reusel stroomgebied: een probleemverkenning. RIVM Rapport nr. 711401002, Bilthoven.
- Mitchell, R.L., and J.W.S. Reith, 1966. The lead content in pasture herbage. J. Sci. Food Chem. 17(10):437-440.
- Otte, J.G., P.F.A.M. Römkens, A. Tiktak en W. de Vries, 2000. Partitierelaties voor zware metalen (Cd, Cu, Pb, Zn) voor diffuus verontreinigde Nederlandse bodems. Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek, Rapporten PGBO, deel 30 (44 p.), Wageningen.
- Projectgroep Veterinaire Milieuhygiëne, 1997. Veterinaire Milieuhygiënewijzer. Veterinaire Inspectie van de Volksgezondheid.
- Provincie Zuid-Holland, 1999. Verontreinigde neerslag in Zuid-Holland 1998. Provincie Zuid-Holland, Directie Water en Milieu, Afd. Lucht, Veiligheid en Geluid (134 p.), Den Haag.
- Reinds, G.J., J. Bril, W. de Vries, J.E. Groenenberg, and A. Breeuwsma, 1995. Critical loads and excess loads of cadmium, copper and lead for European forest soils. DLO Staringcentrum, Report 96, Wageningen.
- RIVM/KNMI, 1989. Landelijk meetnet Regenwatersamenstelling. Meetresultaten 1988. KNMI, publ. 156-11; RIVM Rapport 228703012, De Bilt/Bilthoven
- Smilde, K. W., and B. van Luit, 1983. The effect of phosphate fertilizer cadmium on cadmium in soils and crops. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, rapport 6-83 (17 p.), Haren (GR).
- Stuyfzand, P.J., 1991. De samenstelling van regenwater langs de Hollandse kust. KIWA, Hoofdafdeling Speurwerk (70 p.), Nieuwegein.

Thijs, H.M.E., 1990. Resultaten van het Bedrijfsmodellen-onderzoek Krimpenerwaard. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Landinrichtingsdienst, Mededelingen 195 (ISSN: 0920-8992), Utrecht.

Vreman, K. en N.G. van der Veen, 1981. Overdracht van lood, cadmium, kwik en arseen van diervoeders naar dierlijke produkten van mestlammeren. Instituut voor Veevoedingsonderzoek, Rapport I.V.V.O. 136, Lelystad.

Weltje, L., L.Posthuma, F.C. Mogo, E.M. Dirven-van Breemen en R.P.M. van Veen, 1995. Toxische effecten van combinaties van cadmium, zink en koper op terrestrische oligochaeten in relatie tot bodem-chemische interacties. RIVM Rapport nr. 719102043, Bilthoven.

Wösten, J.H.M., M.H. Bannink en J. Beuving, 1987. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: De Staringreeks. DLO-Staring Centrum, ICW-rapport 18 STIBOKA-rapport 1932, Wageningen.

Zuiveringsschap Hollandse eilanden en waarden; mondelinge mededeling.

Niet gepubliceerde bronnen

Dolfing, J., J. Bril en J. Japenga, 1997. Risico-evaluatie bodemverontreiniging Krimpenerwaard. DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheids-onderzoek (AB-DLO), Haren.

Grontmij, 1996. Schoon bodembeheer; inventarisatie en aanzet strategisch plan bodemverontreiniging bij Staatsbosbeheer, Afd. Milieu, De Bilt.

Harmsen, J. en R.H. Kampf, 1998. Kwaliteitsverbetering van baggerspecie op basis van extensieve biorestauratie in combinatie met energieteelt: toetsings- en evaluatiemethodiek voor bepaling aanbod baggerspecie. NOBIS Onderzoekverslag 1, 96-1-02, Gouda.

IWACO, 1993. Financiële omvang nazorg Stortplaatsen. Regionale Vestiging Zuid, rapport 332.3910, 's-Hertogenbosch.

Pilotproject Krimpenerwaard, 1998. Bestuursovereenkomst, Bodembeheerplan, Achtergronddocument. Stolwijk, Stichting Beheer Krimpenerwaard.

Projectgroep bodemverontreiniging gronden Staatsbosbeheer en de Dienst Landelijk Gebied, 1997. Een inventarisatie van verdachte waterbodems en een voorstel voor een onderzoek- en saneringsprogramma 1998-2003 voor verdachte en verontreinigde landbodems. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Directie Groene Ruimte en Recreatie, Den Haag.

Projectgroep FBS, 1999. Functiegerichte BodemkwaliteitSystematiek; 2 Functiegerichte bodemkwaliteitswaarden. IKC-landbouw, Ede.

Versteegde, H., 1993. Notitie over de omvang van land- en waterbodemonverontreiniging in landinrichtingsprojecten. Dienst Landelijk gebied, Afdeling Hydrologie en Bodem, Utrecht.

**Bijlage 1. Samenstelling vloeistof bij extractie met 0,002 mol CaCl₂/l
(mengmonsters)**

Bijlage 1. Samenstelling vloeistof bij extractie met 0,002 mol CaCl₂ / l (mengmonsters)

Locatie	Al [mg/L]	As [ug/L]	Ca [mg/L]	Cd [ug/L]	Cr [ug/L]	Cu [mg/L]	Fe [mg/L]	K [mg/L]	Mg [mg/L]	Mn [mg/L]	Na [mg/L]	Ni [ug/L]	P [mg/L]	Pb [mg/L]	S [mg/L]	Zn [mg/L]
Ref-1	3.34	52.12	165.10	5.20	12.00	0.03	39.73	12.07	27.29	6.27	9.61	46.40	11.63	0.03	81.87	0.52
1-1	3.41	70.13	193.29	6.59	12.22	0.16	47.50	12.80	25.62	6.90	14.94	57.19	4.22	0.05	115.42	0.92
1-2	0.06	20.00	506.19	0.54	3.27	0.01	1.77	7.93	27.93	7.12	27.35	6.13	0.34	0.02	280.20	0.03
1-3	0.07	< 20	510.60	17.58	4.19	0.14	1.20	17.90	47.00	8.68	31.94	74.01	0.24	< 0.020	414.50	10.51
Ref-2	3.60	< 20	214.38	4.63	9.08	0.04	21.99	46.10	48.31	3.80	15.12	29.57	9.88	< 0.020	64.86	0.24
2-1	0.45	< 20	452.42	1.98	4.18	0.01	15.18	102.44	58.20	3.71	18.75	12.00	3.55	< 0.020	223.45	0.07
2-2	0.16	< 20	264.91	1.38	2.61	0.01	12.61	56.18	25.94	1.73	13.08	9.54	2.35	< 0.020	86.53	0.04
2-3	0.18	< 20	318.35	< 0.54	2.99	0.02	0.36	92.18	36.04	0.66	12.71	5.56	0.49	< 0.020	180.12	0.13
Ref-3	2.64	< 20	156.80	1.74	8.43	0.02	19.72	11.84	32.25	2.28	7.45	24.66	3.51	< 0.020	41.42	0.05
3-1	1.10	< 20	207.25	2.63	5.79	0.02	24.14	35.42	36.24	2.63	12.19	22.41	3.77	< 0.020	138.46	0.15
3-2	0.36	< 20	412.61	1.17	3.50	0.02	7.28	29.52	37.34	2.59	20.32	9.02	0.80	< 0.020	256.70	0.20
3-3	0.21	< 20	538.80	2.91	4.73	0.01	21.58	46.53	61.50	5.50	23.86	10.71	0.74	< 0.020	460.70	0.49
Ref-4	5.75	< 20	143.34	3.31	12.69	0.03	34.52	7.11	25.01	3.16	9.48	44.68	2.04	< 0.020	29.49	0.11
4-1	2.34	< 20	160.18	1.82	6.43	0.07	15.99	40.39	31.10	2.66	13.75	34.07	2.98	< 0.020	77.40	0.93
4-2	0.16	< 20	180.85	0.54	1.90	0.04	0.18	18.25	15.39	0.06	6.56	11.25	0.23	< 0.020	55.86	0.17
4-3	0.03	< 20	379.16	13.16	2.62	0.07	0.03	29.23	44.35	2.04	12.16	67.79	0.08	< 0.020	304.02	4.45
Ref-5	3.24	< 20	120.65	4.98	10.08	0.06	20.32	27.59	22.85	2.85	14.74	36.09	14.06	< 0.020	40.11	0.32
5-1	0.83	< 20	142.97	1.39	3.45	0.02	9.72	50.03	26.24	1.24	19.51	12.29	2.76	< 0.020	88.72	0.10
5-2	0.24	< 20	295.40	1.81	2.65	0.01	16.29	71.84	38.47	1.90	36.83	10.56	1.21	< 0.020	190.50	0.14
5-3	0.03	< 20	313.92	4.62	1.99	0.03	0.11	61.75	35.74	0.14	24.14	38.95	0.15	< 0.020	205.30	1.81
Ref-6	3.44	35.47	132.42	6.06	10.76	0.05	41.90	8.36	12.35	2.52	7.94	38.03	1.54	0.03	71.77	0.55
6-1	2.20	< 20	89.84	3.65	8.83	0.31	14.56	18.90	15.14	2.75	9.95	74.98	1.64	0.05	36.24	2.62
6-3	0.25	< 20	263.48	5.75	4.62	0.21	1.09	13.64	20.80	2.32	7.48	152.86	0.09	0.05	113.10	5.07

Bijlage 2. Gehalten aan zware metalen (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn) in bodem- en grasmonsters (mengmonsters)

Cadmium

Locatie	Cadmium			
	Totaal (mg/kg ds)	Pot. (mg/kg ds)	Act. (µg/l)	Gras (mg/kg ds)
Ref-1	3.15	0.97	5.20	0.17
1-1	3.15	1.60	6.59	0.23
1-2	3.15	0.83	0.54	
1-3	36.75	11.25	17.58	
Ref-2	3.15	1.01	4.63	0.63
2-1	3.15	0.73	1.98	0.02
2-2	3.15	0.83	1.38	
2-3	3.15	0.77	0.54	
Ref-3	3.15	1.06	1.74	0.07
3-1	3.15	0.82	2.63	0.25
3-2	3.15	0.61	1.17	
3-3	3.15	0.90	2.91	
Ref-4	3.15	1.04	3.31	0.12
4-1	3.15	1.47	1.82	0.30
4-2	5.42	2.06	0.54	
4-3	30.59	13.05	13.16	
Ref-5	3.15	1.02	4.98	0.21
5-1	3.15	0.94	1.39	0.11
5-2	3.15	1.63	1.81	
5-3	39.95	13.30	4.62	
Ref-6	3.15	1.21	6.06	0.41
6-1	4.61	9.51	3.65	0.36
6-3	23.91	2.30	5.75	

Totaal = extractie met koningswater; Pot.= extractie met 0.43 M HNO₃; Act. = bodemoplossing.

Koper

Locatie	Koper Totaal (mg/kg ds)	Pot. (mg/kg ds)	Act. (µg/l)	Gras (mg/kg ds)
Ref-1	57.3	21.39	0.03	11.05
1-1	176.2	104.44	0.16	11.66
1-2	49.9	21.96	0.01	
1-3	2176.8	1034.11	0.14	
Ref-2	61.5	23.68	0.04	12.58
2-1	52.4	19.84	0.01	8.46
2-2	54.6	30.48	0.01	
2-3	65.4	31.29	0.02	
Ref-3	61.8	25.37	0.02	10.25
3-1	42.1	17.24	0.02	9.94
3-2	200.7	58.33	0.02	
3-3	37.7	12.52	0.01	
Ref-4	54.4	45.19	0.03	13.31
4-1	158.6	83.52	0.07	12.88
4-2	260.0	528.34	0.04	
4-3	1867.2	1196.62	0.07	
Ref-5	95.1	34.18	0.06	7.02
5-1	90.1	22.06	0.02	10.07
5-2	48.7	23.32	0.01	
5-3	1809.8	902.20	0.03	
Ref-6	96.3	46.67	0.05	8.17
6-1	943.6	639.43	0.31	5.67
6-3	3751.7	1292.02	0.21	

Chroom

Locatie	Chroom			
	Totaal (mg/kg ds)	Pot. (mg/kg ds)	Act. (µg/l)	Gras (mg/kg ds)
Ref-1	32.9	1.35	12.00	1.35
1-1	36.4	1.91	12.22	1.97
1-2	37.1	1.65	3.27	
1-3	125.1	16.01	4.19	
Ref-2	33.9	1.19	9.08	3.69
2-1	29.8	2.23	4.18	2.09
2-2	26.5	2.17	2.61	
2-3	34.9	5.50	2.99	
Ref-3	54.9	2.54	8.43	1.83
3-1	33.4	1.39	5.79	2.47
3-2	< 14.38	0.52	3.50	
3-3	23.6	1.17	4.73	
Ref-4	53.5	3.16	12.69	2.22
4-1	34.7	1.51	6.43	2.00
4-2	39.5	2.46	1.90	
4-3	152.8	16.94	2.62	
Ref-5	43.5	1.81	10.08	1.18
5-1	25.8	0.76	3.45	2.64
5-2	29.7	1.37	2.65	
5-3	172.5	15.25	1.99	
Ref-6	51.1	2.82	10.76	2.71
6-1	91.4	25.15	8.83	0.99
6-3	223.9	7.19	4.62	

Nikkel

Locatie	Nikkel			
	Totaal (mg/kg ds)	Pot. (mg/kg ds)	Act. (µg/l)	Gras (mg/kg ds)
Ref-1	24.7	8.24	46.40	1.88
1-1	30.4	11.71	57.19	2.46
1-2	31.4	9.38	6.13	
1-3	166.1	75.82	74.01	
Ref-2	23.2	7.17	29.57	2.99
2-1	20.0	5.75	12.00	2.31
2-2	< 20.9	7.00	9.54	
2-3	< 20.9	5.02	5.56	
Ref-3	32.8	8.30	24.66	2.19
3-1	22.1	7.02	22.41	1.65
3-2	< 20.9	5.81	9.02	
3-3	16.6	5.92	10.71	
Ref-4	31.1	7.49	44.68	1.22
4-1	35.5	11.63	34.07	1.95
4-2	44.7	14.72	11.25	
4-3	250.0	105.24	67.79	
Ref-5	26.1	7.44	36.09	1.20
5-1	23.5	7.48	12.29	9.83
5-2	22.5	10.86	10.56	
5-3	303.3	147.31	38.95	
Ref-6	35.5	9.55	38.03	16.68
6-1	128.2	67.38	74.98	1.38
6-3	388.0	222.19	152.86	

Lood

Locatie	Lood			
	Totaal (mg/kg ds)	Pot. (mg/kg ds)	Act. (µg/l)	Gras (mg/kg ds)
Ref-1	94.2	53.91	0.03	
1-1	234.3	142.47	0.05	
1-2	149.8	69.44	0.02	
1-3	2538.0	2553.72	< 0.020	
Ref-2	94.7	49.97	< 0.020	
2-1	91.6	32.83	< 0.020	
2-2	103.0	49.18	< 0.020	
2-3	173.2	71.18	< 0.020	
Ref-3	69.9	30.02	< 0.020	
3-1	70.5	31.63	< 0.020	
3-2	< 61.7	9.92	< 0.020	
3-3	110.6	33.45	< 0.020	
Ref-4	79.8	36.34	< 0.020	
4-1	180.1	70.94	< 0.020	
4-2	315.2	89.00	< 0.020	
4-3	2266.0	1752.22	< 0.020	
Ref-5	108.7	42.52	< 0.020	
5-1	101.1	25.71	< 0.020	
5-2	89.7	39.09	< 0.020	
5-3	2602.1	1319.92	< 0.020	
Ref-6	193.2	118.01	0.03	
6-1	994.0	562.70	0.05	
6-3	3383.2	2090.57	0.05	

Zink

Locatie	Zink			
	Totaal (mg/kg ds)	Pot. (mg/kg ds)	Act. (µg/l)	Gras (mg/kg ds)
Ref-1	196.9	158.51	0.52	39.9
1-1	307.0	310.51	0.92	90.1
1-2	< 159.2	81.27	0.03	
1-3	5517.2	4101.18	10.51	
Ref-2	205.8	106.73	0.24	53.1
2-1	224.2	110.34	0.07	52.8
2-2	331.3	209.67	0.04	
2-3	960.8	1028.16	0.13	
Ref-3	165.4	52.36	0.05	35.0
3-1	147.2	64.73	0.15	47.7
3-2	< 159.2	54.48	0.20	
3-3	226.8	102.50	0.49	
Ref-4	161.2	48.09	0.11	41.8
4-1	1019.7	1575.15	0.93	106.7
4-2	1289.8	13947.46	0.17	
4-3	6799.8	7177.17	4.45	
Ref-5	206.6	88.56	0.32	24.3
5-1	237.2	107.38	0.10	49.6
5-2	198.9	120.40	0.14	
5-3	5659.0	3314.69	1.81	
Ref-6	249.2	107.41	0.55	67.0
6-1	3045.7	1884.85	2.62	134.4
6-3	7202.9	4417.94	5.07	

Bijlage 3. Totaalgehalten aan zware metalen (mg/kg ds) per monster voor een aantal geselecteerde locaties en diepten (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Zu, Pb)

Arseen

Locatie	Grond (mg/kg ds)				Gras(mg/kg ds)			
	Min.	Max.	Gem.	Stdv. Mengm.	Min.	Max.	Gem.	Stdv. Mengm.
Ref-3			10.46				1.09	
3-1	5.64	14.38	8.48	2.93	0.35	1.80	1.00	0.42
3-3	4.07	10.86	7.70	2.31				
Ref-4			12.11				1.20	
4-1	4.73	17.23	8.90	3.41	0.05	1.73	0.76	0.40
4-3	4.98	31.51	10.22	8.94				
Ref-5			10.22				0.53	
5-1	4.97	12.85	6.96	2.09	0.00	1.12	0.44	0.33
5-2	5.67	26.81	14.96	8.63				
Ref-6			17.31				0.91	
6-1	3.81	40.52	16.30	9.32	0.12	1.91	0.82	0.61
6-2	17.53	50.66	33.19	9.83				

Cadmium

Locatie	Grond (mg/kg ds)					Gras(mg/kg ds)				
	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.
Ref-3			1.11		< 3.15			0.10		0.07
3-1	0.44	0.89	0.66	0.12	< 3.15	0.02	0.36	0.18	0.10	0.25
3-3	0.17	1.32	0.55	0.31	< 3.15					
Ref-4			0.98		< 3.15			0.44		0.12
4-1	0.42	6.40	1.80	2.10	< 3.15	0.10	0.86	0.35	0.21	0.30
4-3	0.66	52.32	1.05	18.81	30.59					
Ref-5			1.05		< 3.15			0.06		0.21
5-1	0.34	5.29	1.44	1.48	< 3.15	0.06	1.07	0.25	0.28	0.11
5-2	0.19	96.03	26.09	32.29	39.95					
Ref-6			1.07		< 3.15			0.12		0.41
6-1	1.02	9.68	3.92	2.43	4.61	0.07	0.60	0.28	0.18	0.36
6-3	4.05	79.19	30.96	27.35	23.91					

Chroom

Locatie	Grond (mg/kg ds)					Gras(mg/kg ds)				
	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.
Ref-3			49.61		54.90			6.43		1.83
3-1	19.70	58.81	30.61	12.17	33.40	0.95	13.54	4.48	3.72	2.47
3-3	11.98	37.29	22.63	8.17	23.60					
Ref-4			51.00		53.50			4.12		2.22
4-1	24.47	70.81	39.39	12.58	34.70	0.79	48.30	7.01	13.79	2.00
4-3	28.44	378.97	42.74	141.40	152.80					
Ref-5			42.74		43.50			1.47		1.18
5-1	18.94	38.46	26.08	7.21	25.80	1.11	22.57	5.23	6.27	2.64
5-2	12.70	442.75	150.57	161.12	172.50					
Ref-6			45.71		51.10			2.20		2.71
6-1	15.19	203.99	81.08	62.85	91.40	0.79	37.07	14.98	13.40	0.99
6-3	78.77	706.79	249.68	165.43	223.90					

Koper

Locatie	Grond (mg/kg ds)					Gras(mg/kg ds)				
	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.
Ref-3			62.35		61.80			12.96		10.25
3-1	27.03	65.69	42.70	10.98	42.10	7.73	14.45	12.04	2.15	9.94
3-3	11.91	87.57	29.39	20.46	37.70					
Ref-4			55.37		54.40			18.08		13.31
4-1	40.10	406.99	152.20	122.29	158.60	11.36	20.18	15.95	2.88	12.88
4-3	25.26	3059.19	69.54	1033.78	1867.20					
Ref-5			69.54		95.10			8.19		7.02
5-1	38.07	317.77	112.55	91.96	90.10	8.99	23.36	12.89	3.77	10.07
5-2	14.83	15079.11	2487.28	4373.00	1809.80					
Ref-6			104.40		96.30			11.76		8.17
6-1	36.38	3570.47	827.87	1060.54	943.60	4.48	36.38	13.24	9.04	5.67
6-3	408.35	7386.52	3093.01	2269.26	3751.70					

Kwik

Locatie	Grond (mg/kg ds)					Gras(mg/kg ds)				
	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.
Ref-3			0.29					0.10		
3-1	0.14	0.34	0.23	0.06		0.01	0.04	0.02	0.01	
3-3	0.08	0.31	0.17	0.07						
Ref-4			0.39					0.02		
4-1	0.18	2.53	0.62	0.65		0.01	0.08	0.04	0.02	
4-3	0.12	2.45	0.53	0.71						
Ref-5			0.53					0.05		
5-1	0.22	0.29	0.25	0.03		0.03	0.08	0.04	0.01	
5-2	0.12	1.40	0.50	0.39						
Ref-6			13.88					0.11		
6-1	0.29	17.29	4.95	5.42		0.01	0.13	0.05	0.03	
6-3	1.35	26.17	6.44	7.42						

Nikkel

Locatie	Grond (mg/kg ds)					Gras(mg/kg ds)				
	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.
Ref-3			31.14		32.80			16.04		2.19
3-1	16.21	35.43	22.51	5.63	22.10	0.31	2.94	1.62	0.00	1.65
3-3	10.39	26.51	17.21	5.17	16.60					
Ref-4			28.77		31.10			0.59		1.22
4-1	23.28	62.67	36.28	11.76	35.50	0.00	36.53	6.06	10.01	1.95
4-3	24.82	395.43	28.21	135.38	250.00					
Ref-5			28.21		26.10			0.00		1.20
5-1	17.01	43.13	22.58	7.55	23.50	1.14	10.39	4.62	0.00	9.83
5-2	7.08	731.04	224.47	250.28	303.30					
Ref-6			31.22		35.50			0.41		16.68
6-1	13.45	573.18	120.33	160.65	128.20	0.89	41.81	19.43	6.96	1.38
6-3	79.44	2664.13	816.27	829.19	388.00					

Zink

Locatie	Grond (mg/kg ds)					Gras(mg/kg ds)				
	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.
Ref-3			68.40		69.90			1.89		
3-1	35.81	201.43	93.31	55.47	70.50	0.00	11.00	2.96	3.85	
3-3	5.62	285.53	71.56	79.25	110.60					
Ref-4			91.21		79.80					
4-1	52.65	469.11	191.32	146.71	180.10	0.00	4.34	1.89	1.48	
4-3	68.67	7516.13	2503.05	2333.13	2266.00					
Ref-5			98.98		108.70					
5-1	56.66	308.05	105.73	82.84	101.10	0.19	37.68	7.11	10.23	
5-2	5.18	4655.28	1631.92	1812.30	2602.10					
Ref-6			211.53		193.20			2.80		
6-1	70.29	2871.86	878.58	919.61	994.00	0.88	8.23	3.72	2.70	
6-3	883.37	7406.84	3603.78	2266.47	3383.20					

Lood

Locatie	Grond (mg/kg ds)					Gras(mg/kg ds)				
	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.	Min.	Max.	Gem.	Stdv.	Mengm.
Ref-3			165.97		165.40			62.31		35.00
3-1	82.32	322.69	152.90	66.99	147.20	53.75	149.75	78.30	26.11	47.70
3-3	15.90	475.80	150.81	128.37	226.80					
Ref-4			178.23		161.20			59.80		41.80
4-1	154.78	6364.75	1012.01	1812.74	1019.70	61.01	410.49	168.07	111.88	106.70
4-3	159.54	17861.36	168.75	5432.87	6799.80					
Ref-5			168.75		206.60			34.42		24.30
5-1	140.77	516.86	254.00	115.84	237.20	35.96	103.51	54.33	19.79	49.60
5-2	24.28	13400.81	3455.83	3954.77	5659.00					
Ref-6			237.18		249.20			78.45		67.00
6-1	280.13	11118.19	2380.92	3077.68	3045.70	154.31	332.44	216.64	54.56	134.40
6-3	1620.8	23108.08	8343.84	5573.50	7202.90					
	9									

Bijlage 4. Grenswaarden voor organismen

Bijlage 4. Grenswaarden voor organismen

	Fytotoxisch	Diertoxisch schaap	Wetgeving mg/kg vers prod. (rundvee)						
			rundvee	gras	aanv.rv	lever	nier	vlees	melk
Cd	5 mg/kg zand			1	0,5	0,5	2,5	0,05	0,005
Cu	50 mg/kg zand	500 mg/ dag 30 mg/kg voer	80mg/kg voer				15/35(schaap/overige)		
Hg	1 mg/kg zand			0,1	0,1	0,05	0,05	0,05	0,01
Pb	500mg/kg zand	50 mg/kg voer		40	10	1	1	0,3	0,05
Ni	20mg/kg zand (pH5.3, O.S. 4%, / L 1%)								
Zn	200mg/kg dr grond (gras) 100 mg /kg dr. grond (overige gewassen)		500 mg/kg lever		250				
As	30 mg/kg zand	5 mg/kg lg		2	2-4				
Cr	50 mg op zand pH7,8 200 bij pH 6,0 320 bij pH 5,5	30 mg/kg lg 600 mg/kg voer							
Aldrin/ Dieldrin							-----0,2(vet)-----		0,15 v
Endrin							-----0,05(vet)-----		0,02 v
DDT/DDE						0,1	0,1	0,1	0,1/0,07 v
αHCH			0,05mg/kg voer	0,02	0,02	0,2	0,2	0,2	0,1 v
βHCH			0,0003 mg / kg voer			0,1	0,1	0,1	0,075 v
γHCH			0,013mg/kg voer	0,2	0,2	1	1	1	0,2 v
Heptachloor						0,2	0,2	0,2	0,01
PCB	0,05mg/kg grond								
Dioxinen x10 ⁻⁹ TEC		10 mg/kg kippenvoer			0,3		-----0,02 à 0,05 op vetbasis-----		6 v

Sinds verbod op gebruik Eldrin en ontdekking dat alleen γHCH als insecticide werkzaam is, is de verspreiding van Eldrin en α/βγHCH-bijen sterk verminderd.

