

RIVM rapport 711701 024 / 2001

**Accumulatie van metalen in planten**  
Een bijdrage aan de technische evaluatie van de  
interventiewaarden en de locatiespecifieke  
risicobeoordeling van verontreinigde bodem

C.W. Versluijs en P.F. Otte

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van VROM, DGM  
(directie DWL), in het kader van project 711701, Risico's i.r.t. bodemkwaliteit



## Abstract

The human intake of contaminants by the consumption of crops grown on contaminated land is one of the exposure routes considered in the standard calculation of the Dutch Intervention Values for soil remediation. For soil contaminated with metals, this is a major exposure route in the standard calculation of the human risks of a contaminated site. The literature study reported here deals with the bioconcentration of contaminating metals in crops. The bioconcentration factors (BCF) of As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn were calculated from field data of consumed parts of crops grown in home gardens. For the Intervention Value the BCF value estimated is related to an average consumption basket of crops, standard soil and a soil concentration near the current Intervention Value. The study contributed to the possibilities of a location-specific actual risk analysis by providing relationships of the BCF for individual crops with the soil parameters and soil concentration. More focus on the effects of the contaminant matrix is recommended.



## Voorwoord

*Net als de zoete appel hoog hangt aan de hoogste,  
de allerhoogste tak, vergeten door de appelplukkers -  
nee niet vergeten, ze konden er niet bij  
Sappho*

Bij de bepaling van de interventiewaarden spelen inschattingen van humane en ecotoxicologische risico's een rol. De potentiële humane risico's van metalen worden in de berekening met CSOIL (scenario wonen met tuin) voor een groot deel bepaald door de blootstellingsroute van consumptie van gewassen geteeld op verontreinigde grond. Voor de metalen die bij bodemsanering een grote rol spelen (zie paragraaf 3.2): As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn wordt in de huidige generieke berekening (CSOIL v.1995) het humane risico voor 40-95% bepaald door deze blootstellingsroute (Versluijs et al., 1998a).

De overdracht van de verontreiniging van de bodem naar de plant en de resulterende accumulatie in de geconsumeerde delen van de geteelde gewassen waren ingeschat voor de huidige CSOIL berekening door Bockting en Van den Berg (1992). Gezien het gebrek aan gegevens waren de inschattingen gebaseerd op een beperkt aantal gewassen en zonder te differentiëren naar bodemtype. Het kan echter verwacht worden dat de accumulatie in het gewas sterk door het bodemtype wordt beïnvloed. Gezien de toenemende belangstelling voor een locatie-specifieke aanpak, met name bij de urgentie-systematiek en bodemgebruiks-waarden is in het RIVM-project 711701 GG een inschatting gedaan van de invloed van het bodemtype op gehalten aan metalen in het gewas. Hierbij is uitsluitend van bekende literatuurgegevens uitgegaan. Ook bij deze locatie-specifieke benadering wordt een inschatting van gemiddelde waarden voor het plantgehalte nagestreefd, uitsluitend gedifferentieerd naar het totaalgehalte in de bodem en het bodemtype. Aangezien de opname per type gewas sterk kan verschillen, zijn berekeningen in eerste instantie per gewas uitgevoerd. Voor de generieke risicobeoordeling is een consumptiegemiddelde BCF berekend die is gebaseerd op de individuele gewassen. Een alternatief zou kunnen zijn om het meest kritische gewas als maatstaf te nemen. Om in specifieke situaties de mogelijkheid te geven om te differentiëren naar gewas zijn in dit rapport ook de gegevens van afzonderlijke gewassen opgenomen.

Het mechanisme van de opname is bij het onderzoek buiten beschouwing gebleven. Uit het onderzoek blijkt dat de accumulatie in de plant niet lineair met de concentratie verloopt, zoals eerder wel is verondersteld door Bockting en Van den Berg (1992) en anderen. De beschikbare gegevens geven niet voor iedere combinatie van gewas en metaal een duidelijk en consistent beeld. Seizoensinvloeden, de verontreinigingsmatrix, de redoxpotentiaal, de aanwezigheid van andere metalen, anionen en complexvormers, gesuspendeerde deeltjes kunnen ook een rol spelen. Voornamelijk vanwege het gebrek aan voldoende systematische gegevens zijn deze factoren niet anders dan als ruis in de beschouwingen meegenomen. Voor een generieke inschatting wordt een gemiddelde over deze situaties nagestreefd, evenals over de geconsumeerde hoeveelheden.

Een valkuil bij dit type onderzoek is met name dat het zich makkelijk beperkt tot een bepaalde verontreinigingsmatrix en de conclusies uitbreidt tot andere verontreinigings-matrices. Bij een recent EPA onderzoek (EPA, CEA, 1999, zie hierin p. 5-29) bleek bijv. dat de biobeschikbaarheid van metalen in bodems met opgebracht zuiveringsslib significant lager is dan bij andere onderzochte verontreinigingsmatrices (waarschijnlijk door de verhoogde

aanwezigheid van ijzer, aluminium en mangaan in het opgebrachte biologische materiaal) en dat terwijl andere vooraanstaande onderzoekers op dit gebied (Lübben en Sauerbeck, 1991) hun algemene conclusies voornamelijk baseren op de situatie met opgebracht zuiveringsslib. Op basis van eerdere ervaringen met monsters uit diverse verontreinigingssituaties (Van Gestel et al., 1992b) twijfelden de auteurs in de beginfase al aan de mogelijkheid van de realisatie van een algemeen bruikbare beschrijving van de accumulatie in de plant, gezien enerzijds het gebrek aan gegevens voor de vele voorkomende verontreinigingssituaties en anderzijds de wens niet te differentiëren naar verontreinigingssituatie of speciatie van stoffen.

In dit rapport zijn gegevens voornamelijk gebaseerd op een dwarsdoorsnede van licht verontreinigde gronden in Nederland (Wiersma et al., 1986) en opgebracht havenslib op volkstuinen (Torn van der et al., 1994). Toevoeging van gegevens uit andere bronnen leidde voornamelijk tot een verlaging van de significantie van afgeleide relaties. Ook bij de FBS-systematiek (Functiegerichte Bodemkwaliteit Systematiek, Huinink et al., 1999) wordt om deze reden aanbevolen om zich te beperken tot een samenhangende reeks waarnemingen. Een goede benadering zou dan ook zijn om te monitoren welke verontreinigingssituaties in de praktijk een rol spelen en op basis daarvan een differentiatie te maken. In dit project was daar geen tijd voor beschikbaar.

In dit licht bezien moeten de gepresenteerde resultaten niet anders worden opgevat dan als een voorlopige pragmatische inschatting voor de benodigde generieke, breed toepasbare risicobeschouwing. Een gedetailleerde toepassing op specifieke situaties kan altijd door metingen “overruled” worden. Een systematische gegevensverzameling voor verdere evaluaties wordt aanbevolen. Als meer van een experimentele werkwijze zou worden uitgegaan kan ook gedacht worden aan  $\text{CaCl}_2$ -extractie (Sauerbeck en Styperek, 1985).

De bijdrage van dit rapport vergeleken met de benadering van Bockting en Van den Berg (1992) betreft voornamelijk de analyse van de invloed van gewastype, bodemtype en niveau van totaalgehalte in de bodem op de accumulatie van metalen in het gewas.

# Inhoudsopgave

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>VOORWOORD.....</b>	<b>5</b>
<b>INHOUDSOPGAVE.....</b>	<b>7</b>
<b>SAMENVATTING.....</b>	<b>11</b>
<b>1. INLEIDING .....</b>	<b>13</b>
1.1 DOELSTELLING.....	13
1.2 HET CSOIL-MODEL .....	13
1.2.1 <i>Consumptie van gewassen in het CSOIL-model.....</i>	13
1.2.2 <i>Beschrijving metaalopname door gewassen in CSOIL .....</i>	14
1.2.3 <i>Evaluatie BCF-waarden uit huidige CSOIL versie .....</i>	15
1.2.4 <i>CSOIL i.r.t. potentiële en actuele risicobeoordeling.....</i>	17
1.3 AANPAK VAN HET ONDERZOEK .....	18
1.3.1 <i>Schematische aanpak .....</i>	18
1.3.2 <i>Conclusies van de haalbaarheidsstudie .....</i>	19
1.3.3 <i>De blootstellingsroute bodem, plant, mens .....</i>	20
<b>2. AANDACHTSPUNTEN BIJ DE UITWERKING.....</b>	<b>23</b>
2.1 DE UITWERKING IN HOOFDLIJNEN.....	23
2.2 VARIATIES DOOR NIET BESCHOUWDE OORZAKEN (RUIS) .....	23
2.3 KANTTEKENINGEN BIJ HET GEBRUIK VAN DE FREUNDLICH-ISOTHERMEN .....	24
2.4 DE INVLOED VAN ESSENTIELE METALEN EN FYTOTOXICITEIT.....	26
2.5 VERGELIJKING MET FBS .....	27
<b>3. DATAVERZAMELING PLANTENOPNAME METALEN.....</b>	<b>29</b>
3.1 GEHANTEERDE CRITERIA VOOR BRUIKBARE DATA .....	29
3.2 BIJ BODEMSANERING VOORKOMENDE METALEN .....	29
3.3 GEBRUIKTE LITERATUUR.....	30
3.4 OVERIGE LITERATUUR PLANTENOPNAME .....	31
<b>4. OVERZICHT VELDDATA BCF WAARDEN EN GEHALTEN IN DE PLANT .....</b>	<b>35</b>
4.1 VERZAMELDE DATA: GEMIDDELDEN EN RANGES PER METAAL EN GEWAS VAN BCF, GEHALTEN IN BODEM EN GEWAS, BODEMtypen.....	36
4.1.1 <i>Arseen.....</i>	36
4.1.2 <i>Cadmium .....</i>	37
4.1.3 <i>Koper.....</i>	38
4.1.4 <i>Kwik .....</i>	39
4.1.5 <i>Nikkel .....</i>	40
4.1.6 <i>Lood .....</i>	41
4.1.7 <i>Zink .....</i>	42
4.2 BCF-WAARDEN GEBASEERD OP GEOMETRISCH GEMIDDELDEN .....	43
4.3 RANGSCHIKKING GEWASSEN NAAR NIVEAU VAN METAALOPNAME .....	45
4.4 OVERZICHT GEMIDDELDEN EN RANGES VAN DE VELDDATA VOOR ALLE METALEN .....	47
4.4.1 <i>Generieke BCF waarden (consumptiegemiddeld).....</i>	47
4.4.2 <i>Ranges van generieke plant gehalten en BCF-waarden .....</i>	48
4.4.3 <i>Ranges totaalgehalten bodem en bodemparameters .....</i>	48
<b>5. MODELLERING BCF PER METAAL EN PER GEWAS.....</b>	<b>51</b>
5.1 RELATIE OPNAME IN HET GEWAS EN HET BODEMTYPE .....	51
5.1.1 <i>Freundlichvergelijking voor gehalte in het gewas .....</i>	51
5.1.2 <i>Overeenkomsten en verschillen met de poriewatervergelijking .....</i>	51
5.1.3 <i>De verontreinigingsmatrix .....</i>	52
5.1.4 <i>Depositie vanuit de lucht en achtergrondniveau in de bodem .....</i>	52
5.2 RESULTATEN VAN BEREKENING VAN COËFFICIËNTEN .....	53

5.2.1	<i>Arseen</i> .....	53
5.2.2	<i>Cadmium</i> .....	53
5.2.3	<i>Koper</i> .....	54
5.2.4	<i>Kwik</i> .....	54
5.2.5	<i>Nikkel</i> .....	54
5.2.6	<i>Lood</i> .....	55
5.2.7	<i>Zink</i> .....	55
5.3	OVERZICHT SIGNIFICANTIE VAN RELATIES PER GEWAS.....	56
6.	<b>MODELLERING GENERIEKE CONSUMPTIEGEMIDDELDE BCF PER METAAL .....</b>	<b>59</b>
6.1	CONSUMPTIEGEMIDDELDE .....	59
6.2	UITGANGSPUNTEN BEREKENING GENERIEKE BCF .....	60
6.3	OORZAKEN VARIATIES IN BCF, DISCUSSIE CORRELATIE-COËFFICIËNTEN .....	61
6.4	GENERIEKE BCF-WAARDEN BIJ INTERVENTIEWAARDE EN STANDAARDBODEM .....	62
7.	<b>BCF VOOR ACTUELE RISICOINSCHATTING - INVLOED VAN BODEM TYPE.....</b>	<b>67</b>
7.1	BEREKENING BIJ RANGE VAN NEDERLANDSE BODEMTYPEN.....	67
7.2	META-MODEL .....	73
8.	<b>VERGELIJKING MET ANDERE MODELLEN.....</b>	<b>81</b>
8.1	PLANTOPNAME IN HUIDIGE CSOIL (v. 1995).....	81
8.2	GEGEVENEN VAN ANDERE STUDIES.....	82
8.2.1	<i>Relaties van Lübben en Sauerbeck, 1991 en UMS</i> .....	82
8.2.2	<i>Relaties van DoE / Bechtel Jacobs, 1998</i> .....	84
8.2.3	<i>Relaties FBS-systematiek</i> .....	86
8.3	VERGELIJKING VAN DE RESULTATEN VAN DEZE STUDIE MET RELATIES UIT DE LITERATUUR .....	88
8.3.1	<i>Vergelijking met amerikaanse studies</i> .....	88
8.3.2	<i>Vergelijking met duitse studies</i> .....	90
8.3.3	<i>Vergelijking met resultaten FBS</i> .....	91
8.3.4	<i>Vergelijking met resultaten van Van Gestel et al. (1992)</i> .....	92
9.	<b>CONCLUSIES.....</b>	<b>93</b>
9.1	HET REKENSHEMA.....	94
9.2	DE GENERIEKE BCF WAARDEN VOOR BEREKENING INTERVENTIEWAARDEN .....	96
9.3	DE BCF-WAARDEN VOOR INSCHATTINGEN VAN ACTUEEL RISICO .....	99
9.4	VELDPROEVEN BIJ BEOORDELING VERONTREINIGDE BODEMS .....	100
9.5	AANBEVELINGEN.....	100
	<b>LITERATUUR.....</b>	<b>103</b>
	<b>BIJLAGE 1: VERZENDLIJST .....</b>	<b>107</b>
	<b>BIJLAGE 2: PORIEWATER RELATIES VOLGENS R. KOOPS OP BASIS VAN SELECTIE VERONTREINIGDE BODEMS UIT JANSSEN-HOOP DATASET .....</b>	<b>109</b>
	<b>BIJLAGE 3: GELDIGHEIDS RANGE VERKLARENDE PARAMETERS PER METAAL PER GEWAS .....</b>	<b>113</b>
	<b>BIJLAGE 4: VOORSTEL VOOR MANIER VAN CORRECTIE VAN DE DATASET VOOR DE VERONTREINIGINGSMATRIX.....</b>	<b>115</b>
	<b>BIJLAGE 5: MONTE CARLO ANALYSE ONZEKERHEID FREUNDLICH RELATIES PER GEWAS .....</b>	<b>117</b>
	<b>BIJLAGE 6: PHYTOTOXICITY .....</b>	<b>119</b>
	<b>BIJLAGE 7: GEMIDDELDE BCF-WAARDEN VOOR ANDERE METALEN MET BEPERKTE GEGEVENS .....</b>	<b>122</b>
	<b>BIJLAGE 8: RELATIES UIT GEGEVENS MAASOEVERGRONDEN .....</b>	<b>127</b>

<b>BIJLAGE 9: INSCHATTINGEN BODEMTYPEAFHANKELIJKHEID BCF VOLGENS UMS.....</b>	<b>135</b>
<b>BIJLAGE 10: BCF -WAARDEN UIT POTPLOEVEN VAN GESTEL .....</b>	<b>139</b>
<b>BIJLAGE 11: ANDERE MODELCONCEPTEN UIT DE LITERATUUR.....</b>	<b>140</b>
<b>BIJLAGE 12: OVERZICHT FIGUREN EN TABELLEN .....</b>	<b>145</b>



## Samenvatting

De inschatting van de gemiddelde gehalten aan verontreinigende stoffen in gewassen geteeld op verontreinigde bodem is een onderdeel van de standaardberekening van de interventiewaarden. Bij metalen bepaalt de blootstelling via de consumptie van gewassen voor een belangrijk deel het humantoxicologische risico van verontreinigde bodems. In dit rapport zijn de gemiddelde metaalgehalten ingeschat in gewassen geteeld in moestuinen met verontreinigde bodems. Hiertoe is een dataset opgebouwd van literatuurgegevens. De data zijn beperkt tot velddata van bestaande verontreinigingssituaties, gewassen voor menselijke consumptie en de geconsumeerde delen van deze gewassen. Potproeven en kunstmatige verontreiniging zijn hierbij uitgesloten. De bioconcentratiefactoren (BCF) zijn berekend voor afzonderlijke gewassen en voor een gemiddeld consumptiekarakter.

De velddata zijn bepaald bij verschillende bodemeigenschappen en om vergelijkbaar te zijn moeten ze bewerkt worden. Om de correcties naar de standaardbodem te kunnen maken, die gebruikelijk zijn bij de berekening van interventiewaarden, zijn per gewas relaties afgeleid voor de variaties van de BCF-waarden van As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb en Zn met het totaalgehalte in de bodem, zuurgraad en gehalten aan organisch koolstof en lutum. Deze kunnen ook gebruikt worden bij een locatiespecifieke benadering.

Bij de berekening resteren nog een aantal onzekerheden: het gewenste traject van totaalgehalten en bodemparameters werd niet altijd afgedekt door de data. In dit geval is niet geëxtrapoleerd maar is een conservatieve inschatting gedaan. Ook konden op het bekende traject van data soms geen significante relaties afgeleid worden. In dat geval is uitgegaan van geometrisch gemiddelden. De resultaten van verschillende rekenwijzen zijn vergeleken.

Een aantal factoren die een rol spelen kunnen door gebrek aan systematische data niet in de relaties worden meegenomen. Met name de invloed van de verontreinigingsmatrix lijkt van belang te zijn. Ook effecten van de redoxpotentiaal, de competitie van metalen, de depositie uit de lucht en de distributie van de verontreinigende stoffen konden niet worden beschreven. Het uitmiddelen van dergelijke effecten en van seizoensinvloeden is onzeker omdat de data hiervoor waarschijnlijk onvoldoende representatief zijn. Om de rol van dergelijke factoren te kunnen achterhalen zijn meer systematische metingen of een verdergaand literatuuronderzoek nodig.



# 1. Inleiding

## 1.1 Doelstelling

De interventiewaarden zijn gebaseerd op een generieke risicobenadering voor het bodemgebruik: wonen met tuin. De generieke benadering houdt in dat de inschatting geldig moet zijn voor een gemiddelde situatie met gemiddelde gewassen, voor de standaardbodem en geldig voor een verontreinigingsniveau op basis van een totaalgehalte rond de interventiewaarde.

Doelstelling van het project is om als onderdeel van de berekening van de interventiewaarden bodemsanering een inschatting te maken voor de accumulatie van metalen in consumptie-gewassen die groeien op verontreinigde (standaard)bodems.

Een tweede doelstelling van het project is om ten behoeve van een actuele risicobenadering, gerelateerd aan de urgentiesystematiek, de accumulatie van metalen in consumptiegewassen bij het actuele bodemtype in te schatten.

Een randvoorraarde was dat deze doelstellingen gerealiseerd moesten worden op basis van beschikbare gegevens uit de literatuur. Er zijn geen aanvullende metingen voorzien in het kader van dit project en waar nodig zouden pragmatische inschattingen gedaan moeten worden.

## 1.2 Het CSOIL-model

### 1.2.1 Consumptie van gewassen in het CSOIL-model

De potentiële risico's ten gevolge van het gebruik van een verontreinigde bodem worden berekend met behulp van het CSOIL model (Van den Berg, 1995; Otte et al., 2001; Lijzen et al., 2001). Eén van de belangrijkste humane blootstellings-routes bij een met metalen verontreinigde bodem is volgens het CSOIL-model de consumptie van groenten en aardappels uit eigen tuin. Daarbij wordt verondersteld dat (gemiddeld) 10% van de geconsumeerde groenten op de verontreinigde locatie wordt verbouwd (of als beleidsmatig uitgangspunt aangenomen dat dit zonder risico's mogelijk zou moeten zijn).

Bij de beoordeling van de actuele risico's van verontreinigde bodems, de urgentie van sanering en bij de vaststelling van saneringsdoelen (de bodemgebruikswaarden) speelt de consumptie van groenten en aardappels uit eigen tuin een rol in de scenario's "wonen met tuin" en "wonen met moestuin".

Het CSOIL-model berekent de accumulatie van metalen in consumptiegewassen met behulp van een bioconcentratiefactor (BCF). Vervolgens wordt de humane blootstelling aan metalen berekend, gebaseerd op de gemiddelde consumptiehoeveelheid van groenten en aardappels. De BCF is hierdoor een kritische factor voor de bepaling van het risico bij het gebruik van met metalen verontreinigde grond.

Met CSOIL wordt het potentiële risico (het risico bij standaardomstandigheden in het standaard blootstellingsscenario) vastgesteld. Om het bodemtype in rekening te brengen wordt een algemene en globale correctie voor het bodemtype toegepast (zie paragraaf 1.2.4). Het zou voor de hand liggen de correctie wel te baseren op variaties in de blootstelling met het bodemtype. De gebruikte bodemtypecorrectie is echter *niet* gerelateerd aan een variatie

van de mate van blootstelling door de invloed van het bodemtype, zoals die o.a. bij de consumptie van gewassen optreedt. Dit rapport levert een bouwsteen om dit wel te realiseren. In dit rapport wordt echter alleen ingegaan op de variaties van BCF waarden met het bodemtype, niet op de correctie voor het bodemtype in relatie tot het gehele CSOIL-model en ook niet op actualisatie van andere parameters die voor de CSOIL berekening i.r.t. consumptie van gewas worden gebruikt (zie hiervoor Otte et al., 2001 en Lijzen et al., 2001).

De accumulatie van metalen in groenten geteeld op verontreinigde bodems is onderzocht door Bockting en van den Berg (1992), ter verbetering van eerdere CSOIL-versies. Op grond van deze literatuurstudie werden voor de verschillende metalen een aantal BCF waarden vastgesteld. Met deze BCF (hierna te noemen de "CSOIL-BCF") berekent men de opname van metalen door een "*gemiddeld consumptiegewas*" op een zogenaamde "*standaardbodem*" onder "*normale of gemiddelde*" (milieu)omstandigheden op een bodem met een metaalverontreiniging waarvan bron en karakter *onbekend* en concentratieniveau *variabel* zijn. Het mag duidelijk zijn dat een dergelijke globale en generieke benadering grote onzekerheden met zich meebrengt voor wat betreft de bepaling van het potentiële risico en voor de vaststelling van de SRC-humaan. Bovendien kan met de huidige methodiek, slechts zeer beperkt invulling worden gegeven aan de actuele risicobenadering.

### 1.2.2 Beschrijving metaalopname door gewassen in CSOIL

Voor de potentiële risicobeoordeling van de blootstelling door een met metalen verontreinigde bodem wordt gebruik gemaakt van een bioconcentratiefactor vastgesteld op basis van experimentele gegevens in een situatie zonder depositie (Bockting en van den Berg, 1992).

$$\text{BCF} = \text{C}_{\text{plant}} / \text{C}_{\text{bodem}}$$

Het metaalgehalte in de plant wordt vervolgens met het CSOIL model (versie 1995) als volgt berekend:

$$\text{C}_{\text{plant}} = \text{BCF} \cdot \text{C}_{\text{bodem}} + \text{C}_{\text{depositie}}$$

C <sub>plant</sub> :	De metaal concentratie in het (niet nader omschreven) groentegewas.
BCF:	De CSOIL-BCF
C <sub>bodem</sub> :	Het totaal metaalgehalte in de bodem
C <sub>depositie</sub> :	Het metaalgehalte in de plant ten gevolge van depositie van bodemdeeltjes op de plant

De BCF heeft in de eerste plaats betrekking op opname via de wortel. Dit proces is voor metalen meestal maatgevend. Maar de bijdrage van depositie op de plant van buiten de locatie of vanaf de locatie zelf is zonder hierop toegespitst onderzoek niet van de wortelopname te onderscheiden. Het CSOIL-model houdt zich uitsluitend bezig met risico's van de locale bodemverontreiniging. Dit betekent dat depositie van metalen van buiten de locatie in principe niet wordt meegerekend. De depositie-term heeft daarom uitsluitend betrekking op depositie door opwaaiing en het opspatten van bodemdeeltjes (soil resuspension). Door Bockting en Van den Berg (1992) wordt de bijdrage door opwaaien en opspatten van bodemdeeltjes apart berekend met de formule van Hetrick-McDowell-Boyer (1984). Dit is nodig omdat men ten dele uitgaat van de resultaten van proeven met voedingsoplossingen. De berekende bijdrage (in CSOIL, v.1995) van de depositie vanaf de locatie zelf is echter gering:  $C_{\text{depositie}} = 1,1 \cdot 10^{-3} C_{\text{bodem}}$ , zie Verslujs et al., 1998a). Bij de toepassing van de beschrijving van Hetrick-McDowell-Boyer spelen verder de onzekerheden bij de keuze van parameters en de moeilijkheid om bij de experimentele gegevens

onderscheid te maken in opname via de wortels of via depositie, dan wel onderscheid te maken in depositie van buiten de locatie of vanaf de locatie zelf. In de beschrijving van dit rapport wordt uitgegaan van veldproeven. Hierbij is de depositie bij de meting inbegrepen. In dit rapport wordt de depositieterm dan ook niet onderscheiden en uitsluitend de eenvoudiger eerst gemelde vorm van de formule gebruikt. De variatie in depositie van buiten de locatie wordt als ruis beschouwd (zie nadere analyse depositie van buiten de locatie voor Cd en Pb in bijlage 11). Bij het literatuuronderzoek zijn gegevens uitgesloten als depositie van buiten de locatie een rol heeft gespeeld.

De depositie is van belang omdat door contact van de aanhangende bodemdeeltjes met de bovengrondse delen van de plant overdracht plaats vindt van de verontreinigende bodem naar de plant en een complicatie zou de consumptie van aanhangende verontreinigde bodemdeeltjes kunnen zijn. De aanhangende bodemdeeltjes worden voor de consumptie en ook voor de analyse (groot)deels afgewassen. De variaties in dit proces zijn niet apart onderzocht en zullen als ruis op de metingen worden opgevat (zie ook Otte et al., 2001, sectie 4.3.7).

Bij wortelopname wordt ook geen onderscheid gemaakt in een achtergrondconcentratie in de plant bij niet verontreinigde grond t.o.v. verontreinigde grond, zelfs niet bij voor de plant essentiële metalen.

Een belangrijk verschil tussen de benadering van Bockting en Van den Berg (1992) en dit rapport is wel dat de eersten de BCF als een constante beschouwen en in dit rapport de BCF wordt opgevat als een functie van het totaalgehalte in de bodem en van de bodemtype-parameters. In het rapport van Bockting en Van den Berg (1992) werd deze afhankelijkheid al wel gesignaleerd maar deze kon door gebrek aan gegevens niet operationeel worden gemaakt.

Voor een zo goed mogelijke vaststelling van nieuwe BCF-waarden voor CSoIL is het van essentieel belang vat te krijgen op de verschillende factoren die de accumulatie van metalen beïnvloeden en begrijpen als “*gemiddeld consumptie gewas*” of “*standaardbodem*” zodanig te omschrijven dat duidelijk gemaakt kan worden hoe men tot de vaststelling van een CSoIL-BCF waarde kan komen.

### 1.2.3 Evaluatie BCF-waarden uit huidige CSoIL versie

De huidige bioconcentratiefactoren voor metalen zijn gebaseerd op een literatuurstudie (Bockting en van den Berg, 1992). Hierin werd geconcludeerd dat de metaalgehalten in de verschillende groenten sterk kunnen verschillen. Zelfs indien de verschillende factoren die de metaalopname bepalen constant werden gehouden (één metaal, één gewassoort en één bodemtype) werden grote verschillen geconstateerd.

Er werden voorstellen gedaan voor generieke waarden voor bioconcentratiefactoren ten einde een inschatting te kunnen maken van de risico's ten gevolge van de consumptie van gewassen geteeld op verontreinigde bodems. Deze BCF-waarden worden momenteel gebruikt in het CSoIL model. Met betrekking tot deze CSoIL-BCF-waarden zijn de volgende opmerkingen te maken:

- De CSoIL-BCF-waarden voor de metalen cadmium, zink, nikkel, lood, chroom en koper zijn gebaseerd op slechts één dataset (Sauerbeck en Styperek, 1988)
- Er is geen relatie met de CSoIL-standaardbodem.
- Een deel van de CSoIL-BCF-waarden zijn gebaseerd op potproeven en hebben dus beperkte vertaalbaarheid naar de praktijk.

- Voor sommige metalen waren nauwelijks geschikte gegevens beschikbaar (barium, kobalt)
- Het aantal verschillende groentengewassen in de datasets was beperkt. De spreiding in BCF-waarden t.g.v. gewastype is slechts globaal onderzocht.
- Er is geen rekening gehouden met de consumptiehoeveelheden van individuele gewassen (m.u.v. aardappels).
- Voor sommige metalen zijn ook BCF-waarden van “*niet-moestuin gewassen*” in beschouwing genomen.
- Er is geen rekening gehouden met de concentratie afhankelijkheid van de bioconcentratiefactoren.
- Vanwege gebrek aan data kon de BCF voor aardappels niet worden geschat op basis van experimentele gegevens. In die gevallen werd de BCF voor aardappels vastgesteld op 50 % van de BCF groenten.
- De gronden voor de uiteindelijke keuzes voor de verschillende CSOIL-BCF waarden bleken niet volledig traceerbaar.

Bockting en van den Berg (1992) geven op basis van hun onderzoek het bereik aan waartussen de BCF-waarden zich kunnen bewegen (Tabel 1.1). De voor de risicoschatting voorgestelde BCF-waarden (de CSOIL-BCF-waarden) berusten grotendeels op geometrisch gemiddelden, met beredeneerde afwijkingen. De uiteindelijke keuze voor een bepaalde waarde voor de CSOIL-BCF is, gezien de grootte van deze ranges en het geringe aantal beschikbare meetpunten, een problematische- en subjectieve kwestie.

Tabel 1.1: Minimum en maximum waarden voor bioconcentratiefactoren (Bockting en Van den Berg, 1992)

	Bereik bioconcentratiefactor		CSOIL-BCF	
	Minimum	Maximum	Groenten	Aardappels
Arseen	0.001	0.1	0.03	0.015
Barium		< 0.1	0.1	0.005
Cadmium	0.01	10	0.7	0.15
Chroom	0.001	1	0.02	0.002
Cobalt	0.01	0.05	0.03	0.015
Koper	0.01	10	0.1	0.1
Kwik	0.001	0.02	0.03	0.015
Lood	0.0001	0.5	0.03	0.001
Molybdeen	0.01	1	0.3	0.015
Tin	0.001	3	0.03	0.015
Nikkel	0.01	2	0.1	0.07
Zink	0.01	10	0.4	0.1

De motieven die ten grondslag lagen aan de uiteindelijke keuze binnen het gevonden bereik zijn niet gedocumenteerd. Bovendien is de relatie met de CSOIL standaard bodem onbekend. Hierdoor is het onmogelijk om te beoordelen tot welk beschermingsniveau de risicobeoordeling zal leiden ( in de range van “worst-case” tot “best-case”).

## 1.2.4 CSOIL i.r.t. potentiële en actuele risicobeoordeling

### Potentiële risicobeoordeling

In aanmerking genomen de grote spreiding van BCF-waarden is het evident dat met de huidige methodiek in het beste geval slechts een indicatie kan worden gegeven over de werkelijke blootstelling aan metalen door de consumptie van verontreinigd gewas. Voor een deel komt dit doordat het Csoil model uitgaat van een gemiddeld groentegewas op een gemiddelde bodem onder gemiddelde omstandigheden. Een situatie die men in de werkelijkheid niet zal aantreffen. De Csoil BCF-waarden zijn daarom niet vergelijkbaar met de BCF-waarden van individuele gewassen op bepaalde locaties. De met de Csoil BCF berekende gewasconcentraties moeten daarom vooral gezien worden in het kader van de potentiële risicobeoordeling en worden beschouwd als "trigger" waarden, bedoeld om een *mogelijk aanwezig risico* aan te geven.

Wel is het wenselijk om, op basis van nieuwe gegevens, de onderbouwing van de generieke Csoil BCF te verbeteren en daarmee een deel van de genoemde tekortkomingen (zie paragraaf 1.2.3) op te lossen.

### Actuele risicobeoordeling

Voor de bepaling van een interventiewaarde voor metalen voor een *niet-standaardbodem* wordt in de Leidraad bodembescherming (afl. 13, juli 1996) een formularium gegeven. Hiermee worden de risicogrenswaarden voor een standaardbodem gecorrigeerd naar de waarden voor de desbetreffende bodem op basis van gemeten gehalten voor organische stof en lutum. Een correctie op basis van de geldende pH is niet voorzien.

De correctie vindt plaats op basis van de volgende formule:

$$I_b = I_{st} * \frac{A+B * \%lutum + C * \%org.stof}{A+B * 25 + C * 10}$$

$I_b$  = interventiewaarde

$I_{st}$  = interventiewaarde voor een standaardbodem.

A, B en C = stofafhankelijke constanten.

In het algemeen kan worden gesteld dat deze bodemtypecorrectie minder ingrijpend is dan men op grond van locatie specifieke metaalopname van groenten en aardappels zou mogen verwachten. Bovendien wordt de pH, één van de belangrijkste opname bepalende factoren, niet in beschouwing genomen.

Hiervoor kan een alternatief worden gegeven ervan uitgaand dat het belangrijkste deel van de correctie afkomstig van de blootstellingsroute consumptie van gewassen.

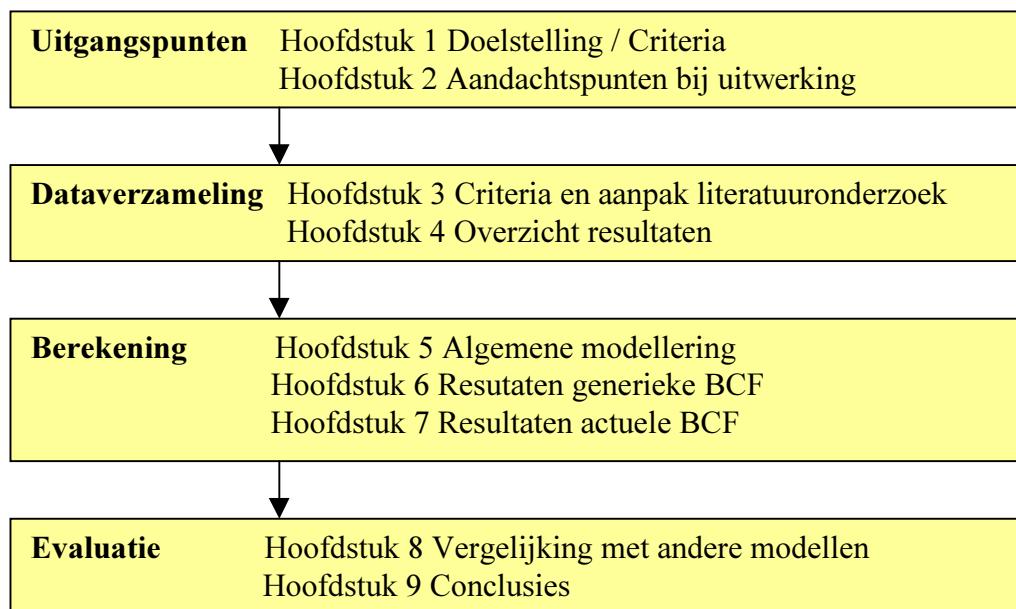
## 1.3 Aanpak van het onderzoek

### 1.3.1 Schematische aanpak

Een belangrijke plaats in de aanpak is ingeruimd voor de literatuurstudie met als eerste doelstelling het vergroten van inzicht in de factoren die de metaalopname door gewassen bepalen. Hiermee kunnen de belangrijkste factoren geïdentificeerd worden die noodzakelijk zijn voor de berekening van de metaalopname. Bestaande (deels buitenlandse) opname modellen en vooral de toepasbaarheid voor de Nederlandse risicobenadering werden ook onderzocht (Versluijs et al., 1998a en Versluijs et al., 1998b). Zie voor de conclusies van de haalbaarheidsstudie paragraaf 1.3.2.

De eerste fase was voornamelijk gericht op actuele risico's. Duidelijk was dat potentiële- en actuele risico's niet los van elkaar kunnen worden gezien. Het vervolg werd afgestemd op de lopende ontwikkelingen in het kader van de evaluatie Interventiewaarden bodemsanering. Ook werd afstemming gezocht, voor zover het verschil in doelstellingen dat toeliet, met de ontwikkeling van de FBS-waarden (Functiegerichte Bodemkwaliteit Systematiek van J. Huinink et al., 1999).

In de volgende hoofdstukken wordt aangegeven op welke wijze de afstemming gestalte heeft gekregen. De afbakening van potentiële- en actuele risico's alsmede randvoorwaarden en beperkingen van het beoogde model vloeien deels voort uit de identificatie van de belangrijkste opname bepalende factoren. Vervolgens werd een metaal-opname model gekozen waarmee op basis van een omvangrijke dataset van experimentele metaalopname gegevens de verschillende bodem-plant relaties konden worden afgeleid.



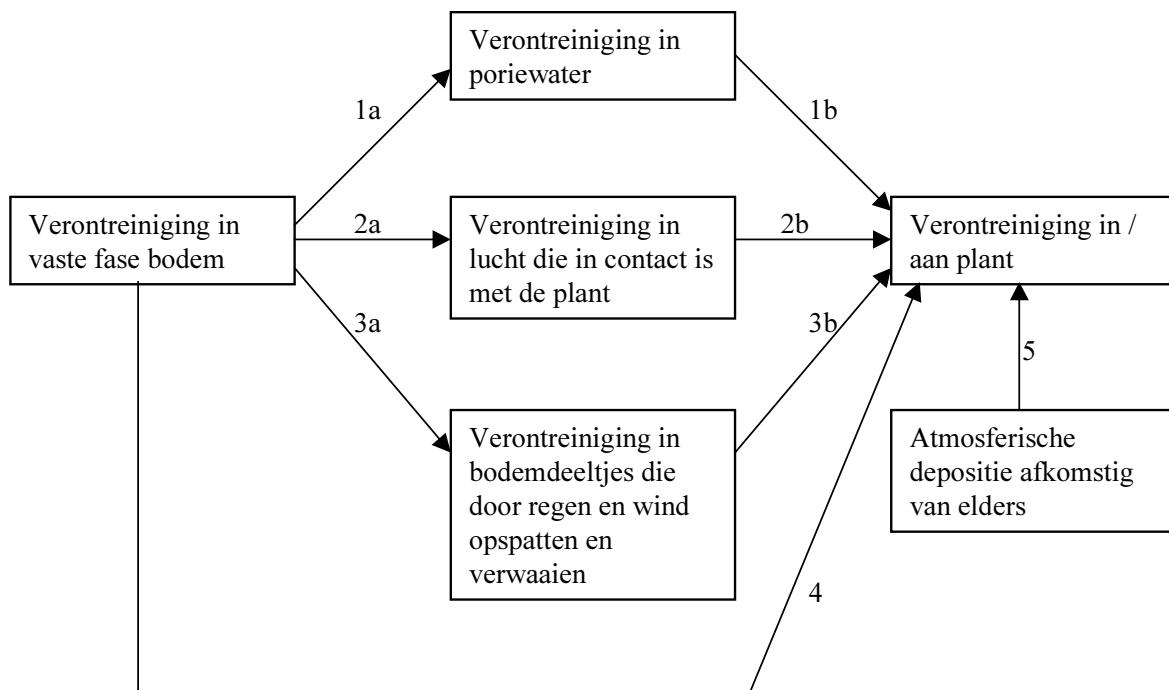
*Figuur 1.3.1: Schematische weergave van de opbouw van dit rapport*

De afsluitende fase behelst de uitwerking en evaluatie van het gekozen plant-opname model.

### 1.3.2 Conclusies van de haalbaarheidsstudie

Voor de aanpak van dit onderzoek is uitgegaan van de bevindingen van o.a. de haalbaarheidsstudie (Versluijs et al., 1998a). De belangrijkste conclusies van deze studie:

- (a) Een mechanistisch metaalopname model wordt onhaalbaar geacht.
  - (b) De keuze van gewassen waarop de blootstelling wordt gebaseerd is belangrijk.
  - (c) De belangrijkste route voor de opname van metalen loopt via het poriewater.  
Zie de genummerde routes in Figuur 1.3.2
1. Voor metalen speelt route 1 de belangrijkste rol. De invloed van de bodemparameters is in de eerste plaats van belang bij 1a en minder bij 1b.
  2. Route 2 is verwaarloosbaar voor de metalen (behalve Hg).
  3. De bijdrage van route 3 wordt apart berekend door Bockting en Van den Berg (vanwege inschatting uit laboratoriumproeven. Dit is niet nodig bij inschatting uit velddata. De grootteorde volgens Bockting en Van den Berg is ca. 1%).
  4. De bijdrage van de directe route 4 wordt i.h.a. beschouwd als veel kleiner dan van route 1. Hierbij kunnen vraagtekens worden gezet omdat plantenwortels een bijdrage kunnen leveren aan verwering van gesteenten. Voor een modellering van bodemtypeafhankelijkheid via poriewaterverontreiniging is het van belang hoe groot de bijdrage van deze route is. Bij toepassing van empirische vergelijkingen voor afhankelijkheid van plantenopname van bodemtype, zoals bij hoofdstuk 5 is dit minder van belang.).
  5. Route 5 is niet altijd verwaarloosbaar maar in principe niet van belang voor het absolute risico van lokale bodemverontreiniging (evt. wel voor het relatieve belang, zie ook Bijlage 11.2 voor inschattingen van grootte).



*Figuur 1.3.2: Routes opname verontreiniging in een plant*

- (d) De opname van metalen via de wortel is, in relatie met de bodemkwaliteit, de meest relevante route. Dit onderzoek zal zich hiertoe beperken (route 1).
- (e) De opname via het poriewater wordt voor een belangrijk deel bepaald door de verdeling van het metaal over de bodemfasen (speciatie). De speciatie is afhankelijk

van het bodemtype (bodem-pH, organisch koolstof en lutum). De concentratie van het metaal in het poriewater lijkt in eerste instantie een goede indicatie voor de biobeschikbaarheid. Echter enerzijds zijn de beschikbare relaties van poriewaterconcentraties met bodemtype geldig voor een beperkte range van totaalgehalten in de bodem en bovendien zijn bij gewassen meer factoren (zoals doordringbaarheid voor wortelstelsel) bodemtype-afhankelijk.

- (f) Voor een aantal metalen vertoont de BCF een afhankelijkheid van het totaal metaal gehalte in de bodem. Bij hogere metaalgehalten is de opname door het gewas relatief minder groot.

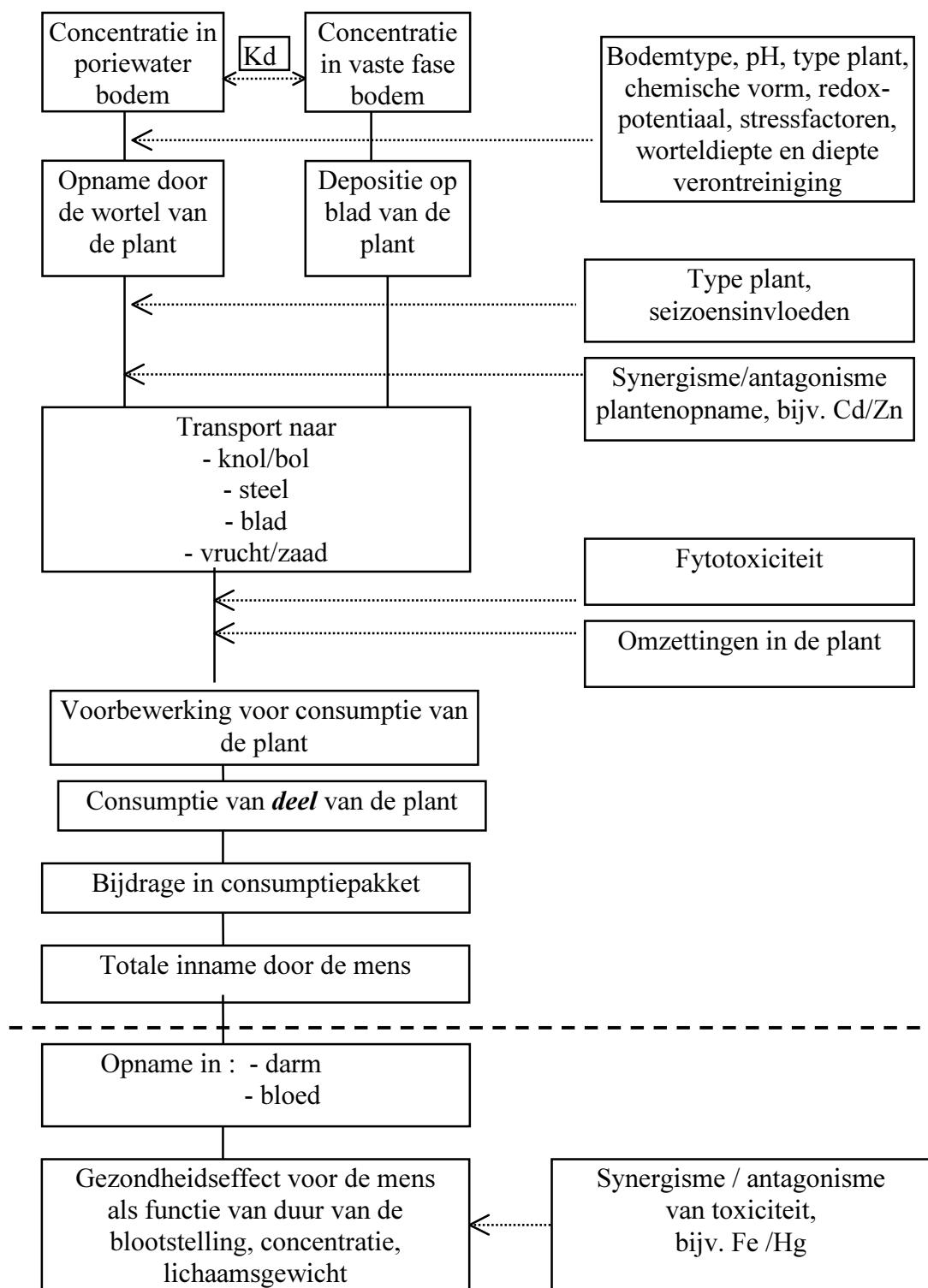
Omdat in dit rapport geen model wordt afgeleid, maar empirische relaties op basis van velddata valt in de beschouwingen het onderscheid tussen de verschillende routes weg. Het bestaan van de verschillende routes is wel een van de redenen waarom de relaties van plantopname met bodemtype niet volledig parallel lopen met de relaties van poriewater met bodemtype (zie ook Bijlage 11.2).

### 1.3.3 De blootstellingsroute bodem, plant, mens

Figuur 1.3.3 wordt een overzicht gegeven van aspecten die een rol spelen in de blootstellingsroute van verontreinigde bodem via consumptiegewassen naar de mens. De CSOIL berekening gaat tot de opname door de mens. De interne opname binnen het lichaam en de gezondheidseffecten worden in de MTR verwerkt die voor vaststelling van de interventiewaarden wordt gebruikt.

In dit rapport blijven een aantal in het bovenste deel van het schema genoemde onderwerpen buiten de berekeningswijze:

- de verontreinigingssituatie (type verontreiniging, verontreinigingsmatrix, diepte verontreiniging),
- verklarende bodemparameters zoals redoxpotentiaal, Fe-, Al-, Mn-gehalten, verhouding hoog- en laagmoleculair organisch stof (CEC is indirect meegenomen in OC% en L%)
- seizoensinvloeden (variaties in lichtintensiteit, luchtvuchtigheid, temperatuur), stressfactoren,
- de relatie tussen poriewaterconcentratie en plantopname,
- de depositie uit de lucht van verontreiniging op en buiten de locatie en het proces van opname van deze verontreiniging in de plant,
- de distributie over de plant (er wordt alleen gekeken naar het geconsumeerde deel)
- de voorbewerking voor consumptie van de plant (d.w.z. niet: schillen, koken maar wel: afspoelen bodemdeeltjes, bij analyse op vergelijkbare manier als bij consumptie, variaties in hoeveelheden aanhangende bodemdeeltjes kunnen op BCF gebaseerde relaties echter wel verstoren.(Kampe, 1984).
- synergisme, antagonisme bij plantopname (competitie van metalen) en toxiciteit,
- de totale geconsumeerde hoeveelheid groenten en aardappelen van de verontreinigde locatie.



Figuur 1.3.3: De blootstellingsroute van verontreinigde bodem via plant naar de mens door directe consumptie van planten



## 2. Aandachtspunten bij de uitwerking

### 2.1 De uitwerking in hoofdlijnen

Er zijn experimentele velddata verzameld voor accumulatie in de plant van As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb en Zn uit diverse bronnen<sup>1</sup>. Er werd waargenomen dat er grote verschillen zijn tussen diverse gewassen en dat ook het concentratieniveau in de bodem van grote invloed is op het opnameniveau. Vervolgens is een rekenschema ontwikkeld om de velddata van diverse gewassen gemeten bij diverse bodemtypen en concentratieniveaus te verwerken tot één generieke plant-bodem relatie. De accumulatie in het gewas kan worden uitgedrukt in termen van de bioconcentratiefactor BCF, gelijk aan quotiënt van gehalte in plant en totaalgehalte in de bodem. Met de 3 genoemde bronnen van variaties (gewassen, bodemtypen, concentraties) is in het rekenschema als volgt omgegaan:

- *diverse gewassen*: de BCF wordt berekend per gewas en voor de afleiding van de generieke BCF wordt een "consumptiegemiddelde" berekend. Dit is een gewogen gemiddelde met als weegfactoren de voor Nederland bepaalde gemiddelde consumptiehoeveelheid van dat gewas (op basis van het onbereide gewas in gram droge stof per persoon per dag).
- *diverse bodemtypen*: het bodemtype wordt beschreven met het lutumgehalte (L%), het organisch koolstofgehalte (OC%) en de zuurgraad (pH). In navolging van de beschrijving van poriewatergehalten wordt een Freundlich-isotherm gebruikt van de volgende vorm:

$$\log(C\text{-plant}) = a + b \cdot \log(Q) + c \cdot \text{pH} + d \cdot \log(\text{OC}\%) + e \cdot \log(L\%)$$

(met Q = totaalgehalte van het metaal in de bodem, zoals gebruikt in CSOIL). Per gewas worden d.m.v. lineaire regressie op de experimentele data de Freundlich-coëfficiënten a, b,...e bepaald. Hiermee kan per gewas voor een gewenst bodemtype de BCF worden uitgerekend.

- De *concentratie* is meegenomen in de bovenstaande vergelijking. De BCF varieert sterk met de concentratie. Voor de generieke BCF is voorlopig de BCF-waarde bij de interventie-waarde als maatgevend aangehouden (algemeen resultaat van de berekening is een BCF als functie van C-bodem).

Als voor de afzonderlijke gewassen de plant-bodem relaties bekend zijn kan per metaal een generieke relatie worden afgeleid (het meta-model).

### 2.2 Variaties door niet beschouwde oorzaken (ruis)

Naast de variaties in BCF van een metaal door gewas, bodemtype en totaalgehalte in de bodem zijn er meer oorzaken van variaties in de meetpunten, zoals invloed van klimaat, seizoen, standplaats, depositie van buiten de locatie, verschillen in eigenschappen binnen een gewas, invloed van ijzer en aluminiumoxiden in de bodem, uiteenlopende bindingsvormen en verontreinigingsmatrices van de verontreinigende metalen en variaties in experimentele methoden. Meestal zijn hiervoor bij de experimentele data geen duidelijke beschrijvende parameters beschikbaar. Bij de selectie van te gebruiken data uit de literatuur is er zoveel mogelijk rekening mee gehouden, bijv. door alleen data uit gematigd klimaat mee te nemen

<sup>1</sup> Voor Cr werden te weinig bruikbare data gevonden voor een vergelijkbare behandeling, zie voor voorlopige inschatting voor enkele andere metalen bijlage 7

voor in Nederland voorkomende bodems, geen data met duidelijke invloed van depositie van buiten de locatie (depositie op de plant door verwaaiing en regenspetters worden in principe meegenomen), geen potproeven (o.a. vanwege hogere worteldichtheid dan in veld) en geen kunstmatige verontreinigingen, enz. Resterende variaties worden als ruis op de meetpunten beschouwd.

Bij de keuze van organische stof als bodemtypeparameter is ook een kanttekening te plaatsen. Er is geconstateerd (Herms en Brümmer, 1983) dat er bij het organisch stof onderscheid gemaakt moet worden in het effect van hoogmoleculair en laag moleculair organisch stof. Metaalcomplexen met hoogmoleculair organisch stof zijn immobiel, metaalcomplexen met laagmoleculair organisch stof zijn mobiel. Bijnengen van vers of weinig ontbonden organisch materiaal leidt in eerste instantie tot mobilisatie (in toenemende mate voor Cu, Cd, Zn, Pb), maar toevoegen van meer gerijpt organisch materiaal of verdere rijping van opgebracht vers materiaal leidt tot immobilisatie (ook weer toenemende mate voor Cu, Cd, Zn, Pb).

## 2.3 Kanttekeningen bij het gebruik van de Freundlich-isothermen

Bij het consumptiegemiddelde, het gebruik van de Freundlich-isotherm en de concentratieafhankelijkheid zijn ook enkele kanttekeningen te zetten:

- consumptiegemiddelde: per metaal zijn data beschikbaar van een beperkt aantal gewassen. Er kan in geen enkel geval een volledig consumptiekarakter worden doorgerekend. Aardappelen domineren echter sterk in het consumptiekarakter. Voor de overige gewassen worden gewasgroepen gedefinieerd met vergelijkbaar karakter. Een waarde per gewasgroep wordt bepaald op basis van een consumptiegewogen gemiddelde van beschikbare waarden binnen de gewasgroep. In navolging van Dooren-Flipsen (1996) wordt onderscheiden:

Tabel 2.1: Indeling van gewasgroepen

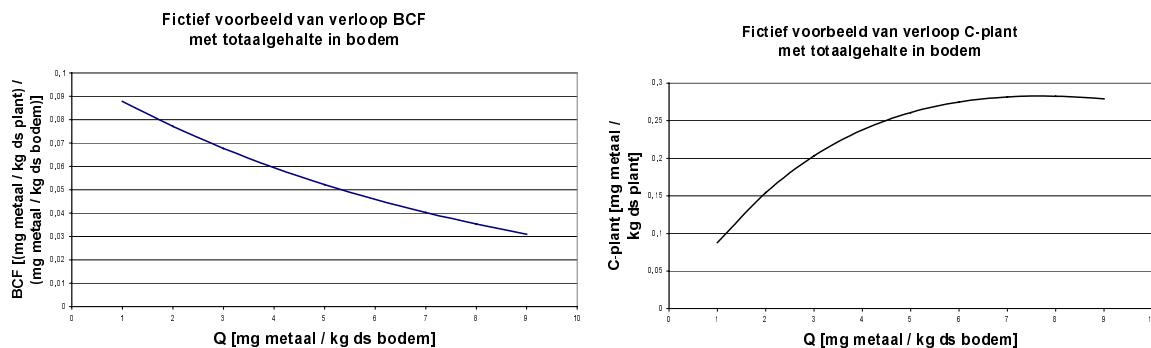
Gewasgroep	voorbeelden	weegfactor [%] (*)
Aardappelen	-	61,6
Wortel en knol-gewassen	Wortelen, Rode bieten, Radijs	5,1
Bolgewassen	Uien	7,7
Vruchtgewassen	Tomaten, Komkommers	5,0
Kool	Bloemkool, Witte kool	7,6
Bladgroenten	Sla, Andijvie, Spinazie	4,4
Verse peulvruchten	Sperziebonen, Snijbonen	6,9
Bonen	Witte bonen, Bruine bonen	1,2
Stengelgroenten	Rabarber	0,4

(\*) peiljaar 1992 en op basis van drooggewicht

- De Freundlich adsorptie-isotherm beschrijft de beschikbaarheid van het metaal als functie van o.a. hoeveelheden humus en lutum(zie formule in 2.1). Dit zijn bodemfracties die ieder hun eigen adsorptie-karakteristiek hebben voor een metaal. Dit geldt ook voor ijzer- en aluminiumoxiden (i.h.b. voor arseen). Bij verontreinigde bodems kan de relatie anders liggen dan voor "onverstoerde" bodems. Er kan nalevering zijn, bijv. uit ertsdeeltjes, en er kunnen bindingsvormen zijn die zich inert gedragen. Ook kan het opbrengen van de verontreiniging gepaard gaan met opbrengen van hoeveelheden humus en lutum (bijv. bij verontreiniging door zuiveringsslub). Dit beïnvloedt de relatie van beschikbaar metaal met humus en lutumgehalten. Specifiek voor planten is variatie in

bewortelbaarheid van diverse bodemtypen, actieve opname van essentiële metalen bij lage concentraties, beïnvloeding van de zuurgraad in de wortelzone door de plant en vermindering van sterke verontreiniging door het wortelstelsel en competitie tussen metalen bij de opname. Conclusies zijn dat de karakteristiek voor planten meestal zal verschillen van die van poriewatergehalte en dat relaties per verontreinigingstype (met verschillende bindingssystemen en verontreinigingsmatrices voor hetzelfde metaal, dan wel verschillende verouderingsgraad) sterk kunnen verschillen. In het onderzoek wordt echter op basis hiervan geen onderscheid gemaakt, omdat de risicobeoordeling zich niet richt op specifieke verontreinigingssituaties en mede omdat meer gedetailleerde gegevens ontbreken. Het is waarschijnlijk wel een van de oorzaken van het optreden van onbruikbare relaties voor enkele gewassen.

- Concentratieafhankelijkheid: de BCF neemt i.h.a. sterk af met de concentratie ( $Q$ ). De geaccumuleerde hoeveelheid in de plant neemt daarbij wel toe tot fytotoxiciteit op gaat treden (zie voorbeeld in Figuur 2.3.1.)



Figuur 2.3.1: Fictieve voorbeelden van verloop C-plant en BCF met totaalgehalte in de bodem

Met betrekking tot de risicobeoordeling zal het toepassingsgebied zich voornamelijk bevinden rond de interventiewaarde. Bij de selectie van velddata is daarom zoveel mogelijk gezocht naar data met betrekking tot die concentratierange. Dit bleek echter niet altijd mogelijk te zijn (gegevens over lagere concentraties zijn beter beschikbaar en deze zijn ook wel meegenomen). Voor bijna alle metalen is een extrapolatie nodig naar het gewenste concentratiegebied. Als het hoogste totaalgehalte waarbij de BCF betrouwbaar kan worden verondersteld kan het 95-percentiel van de totaalgehalten van de dataset ( $Q_{95}$ ) worden beschouwd. Bij de resultaten is daarom steeds ook de BCF( $Q_{95}$ ) bepaald.

- Wat voor de concentratieafhankelijkheid geldt gaat in iets mindere mate ook op voor de afhankelijkheid van pH, OC% en L% (zie hoofdstuk 4).

## 2.4 De invloed van essentiële metalen en fytotoxiciteit

Er is een aantal metalen die essentieel zijn voor de ontwikkeling van de plant. Dit is van belang omdat hierbij een relatief hoge BCF bij lage concentraties kan worden verwacht. Onderstaande tabel geeft een indruk welke metalen essentieel zijn voor gewassen:

*Tabel 2.2: Essentiële metalen (Henkens en Smilde, 1989)*

		Metalen
Spoorelementen (essentieel voor ontwikkeling plant en dier)		Cu, Mn, Fe, Zn
... alleen voor ontwikkeling plant		Mo
... alleen voor ontwikkeling dier		Se (?), Co
Andere metalen, wel opgenomen, niet essentieel		As, Cd, Cr, Ni, Pb

Met name voor de essentiële metalen zou vooral bij lage concentraties een hoge BCF verwacht kunnen worden. De metalen die van belang worden geacht in Tabel 2.2 komen overeen met onderstaande gegevens uit landbouwkundige hoek, met een aanvulling van Boron. Voor ons doel zijn vooral Cu en Zn van belang. Ter vergelijking zijn de ranges (5-95 percentielen) van de door ons verzamelde dataset voor vergelijkbare gewassen in Tabel 2.3 opgenomen. In geen van deze gevallen lijkt sprake te zijn van sterk verontreinigde gewassen.

Optimale condities voor concentraties in het gewas (in ppm ds = mg/kg ds) volgens Wichman 1999 (International Fertilizer Industry Association) :

*Tabel 2.3: Optimale concentratie in mg /kg ds van metalen in het gewas volgens kunstmestindustrie (Wichman et al., 1999) Tussen haakjes, voor zover beschikbaar, de ranges (5p-95p) van de in dit project verzamelde dataset.*

	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
Spinazie	189	36	37	4	19	1
Sla	128	51	38 (40-100)	8 (8-15)	19	0.03
Kool	19	10	9 (20-30)	5 (2-4)	17	2
Asperge (stengel)	-	23	13	0	56	-
Blad sperziebonen	137	92	23 (35-80(*))	11 (6-23 (*))	26	1
Blad worteltjes	54	44	27	2	15	-
Blad komkommer	108	60	23	8	25	-
Blad ui	10	27	7	0.7	9	-
Blad radijs	34	16	23	2	6	-
Aardappelen (knol ds)	16		- (10-170)	1.3 (5-13)		

(\*) bonen in dit project: eetbare deel

Uit Nederlandse bronnen zijn de normale achtergrondwaarden bekend van metalen in gewassen die in Nederland zijn geteeld (Albering et al., 1999; gegevens van Wiersma et al., 1986; zie 3.3, zijn ook door Albering opgenomen).

*Tabel 2.4: Achtergrondwaarden gehalte in de plant in mg/kg ds uit Nederlandse bronnen*

	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
aardappel	0.08	0.06 - 1.1	1.8 - 17	0.02	0.06-0.5	11 - 66
wortel	0.18	0.3	-	0.02	0.4	-
tomaat	0.02	0.3	-	0.02	0.17	-
komkommer	0.59	0.08	-	0.008	0.13	-
sla	0.24	0.2 - 4	5 - 35	0.04	0.2 - 3	26 - 93
andijvie	-	0.5	-	-	1.3	-
spinazie	0.13	0.7	-	0.06	1.1	-
bonen	-	-	-	-	-	20 - 100

De beschrijving van de opname van metalen voor de risico's van verontreinigde bodem is voornamelijk van belang in het traject tussen:

- het lage niveau waarin de metalen de achtergrondwaarden niet overschrijden en essentiële metalen actief kunnen worden opgenomen,
- het hoge niveau waarin de opname van de metalen leidt tot fytotoxiciteit in het gewas, met als gevolg verminderde opbrengst en attractiviteit voor consumptie.

De inschatting van het niveau waarop fytotoxiciteit optreedt wordt behandeld in bijlage 6 op basis van Will en Suter (1995; zie ook Efroymson et al., 1997). Er zijn voornamelijk consequenties voor Ni en Zn. Echter dit komt ook tot uiting in de ecotoxicologische beoordeling. Gezien de totaalgehalten in de bodem van de verzamelde data is aan de fytotoxiciteit bij de berekening verder geen aandacht meer besteed.

## 2.5 Vergelijking met FBS

De verschillen van de hier voorgestelde methode met concept van de Functiegerichte Bodemkwaliteit Systematiek (FBS; Huinink et al., 1999) liggen op het volgende vlak:

- bij de FBS wordt de warenwetnorm als criterium gekozen ipv. het MTR-niveau; dit hangt samen met het bodemgebruik (landbouwgrond),
- bij de FBS wordt uitgegaan van het meest gevoelige gewas als criterium ipv een consumptiekarakter zoals bij deze systematiek,
- bij de FBS wordt niet vastgehouden aan de Freundlich vergelijking maar al naar gelang van de resultaten van de dataset een keuze voor de "beste" overdrachts-vergelijking gemaakt,
- bij de FBS zijn beperkingen van de dataset op het gebied van bodemtypen en totaalgehalten in de bodem genegeerd
- bij de FBS was beschikking over de bestanden van Maasoevergronden waarvan in dit project geen gebruik van kon worden gemaakt (wel in een later stadium, zie bijlage 8); dit betekent dat de nadruk in de dataset bij beide project op verschillende verontreinigingstypen ligt; in geen van beide gevallen kan gezegd worden dat de dataset representatief is voor alle typen van bodemverontreiniging; in dit opzicht zou een combinatie van datasets een verbetering kunnen opleveren

Zie voor besprekking van numerieke uitwerking van de FBS, paragraaf 8.2.3.



### 3. Dataverzameling plantenopname metalen

#### 3.1 Gehanteerde criteria voor bruikbare data

Als onderdeel van deze studie is een literatuuronderzoek naar de accumulatie van metalen in planten uitgevoerd gericht op dataverzameling. Dit literatuuronderzoek kan worden beschouwd als een actualisatie van de literatuurstudie uitgevoerd in 1992 door Bockting en van den Berg. Daarbij dient men zich wel te realiseren dat de doelstelling van het huidige literatuuronderzoek gedeeltelijk anders is.

De volgende doelstellingen kunnen worden onderscheiden:

- Verbetering van de generieke CSoIL BCF waarden voor metaalopname door planten.
- Concentratieafhankelijkheid van BCF waarden. *Het is bekend dat de BCF waarden voor metaalopname via het wortelstelsel substantieel lager zijn bij hogere totaal bodemgehalten.*
- Invloed van de bodemfactoren op de plantenopname van metalen. *Hierbij wordt in eerste instantie gedacht aan: pH, lutum en organisch stof.*
- Invloed van de verontreinigingsbron op de plantenopname.
- Biobeschikbaarheid van metalen. *Er wordt verondersteld dat de metaal concentratie in het poriewater een indicatie geeft omtrent de biobeschikbaarheid van het metaal voor plantenopname.*
- De verschillen in opname per type gewas en de invloed van het consumptiepakket.

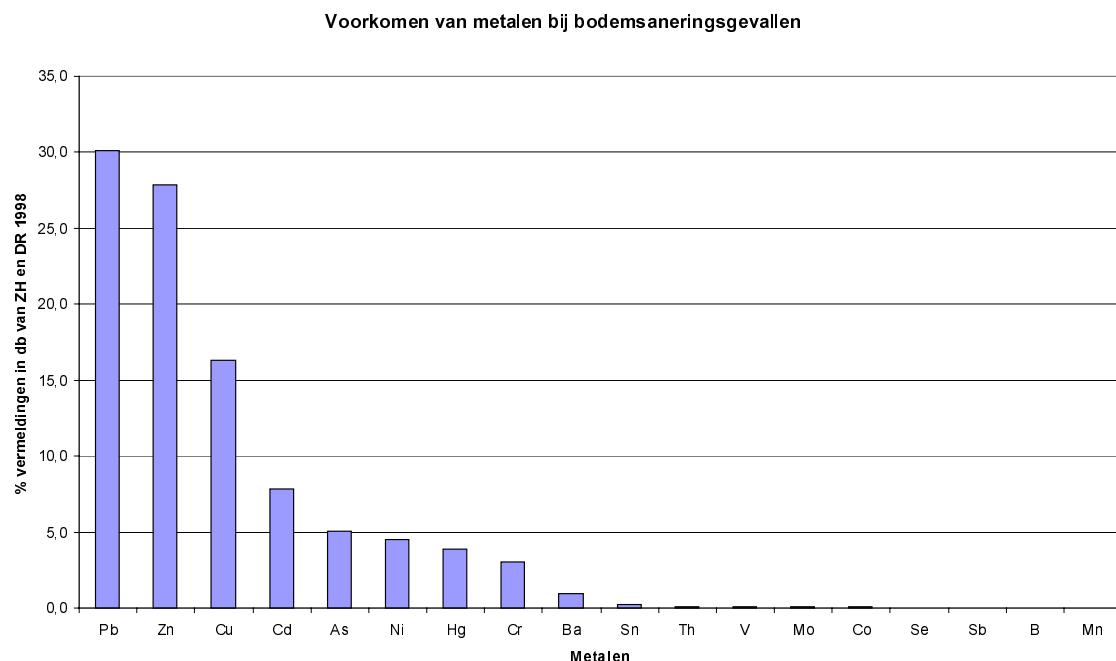
Voor dit doel is m.b.v. Current Contents On Disk en een bepaald zoekprotocol een groot aantal publicaties geselecteerd en de vermelde resultaten zijn geïnventariseerd. Hierbij zijn alleen meetgegevens (BCF waarden) in beschouwing genomen welke aan de volgende voorwaarden voldoen:

- Alleen directe gegevens uit veldproeven (geen potproeven, geen geïntegreerde gegevens)
- Het bodemtype dient overeen te komen met in Nederland voorkomende bodemtypen.
- Alleen experimenten op verontreinigde bodems. Het concentratieniveau van de verontreiniging dient zo mogelijk boven de “tussenwaarde”  $\frac{1}{2}(\text{SW}+\text{IW})$  te liggen.
- Alleen experimenten met antropogene verontreinigingsbronnen.
- Voor de berekening van een generieke BCF waarde worden alleen meetgegevens in beschouwing genomen betreffende gewassen welke in voldoende mate worden gecultiveerd in de Nederlandse groententuin.
- Bij voorkeur worden gegevens gebruikt die het metaalconcentratieniveau in het eetbare gedeelte van de plant betreffen.

Consequente van bovengenoemde uitgangspunten is dat veel gegevens uit de literatuur niet bruikbaar zijn. Hoofdstuk 8 gaat in op de verschillen en overeenkomsten tussen data uit de verzamelde dataset en de niet gebruikte data.

#### 3.2 Bij bodemsanering voorkomende metalen

Uit gegevens in FINABO van de provincies Zuid-Holland en Drenthe over sanering en onderzoek kan een ruwe inschatting worden gemaakt over het aantal malen dat een metaal bij een sanering voorkomt (aantal vermeldingen in databases met gegevens t/m 1997 zonder onderscheid of het metaal reden gaf voor ernst of urgentie).



*Figuur 3.2.1: Relatief belang van metalen bij saneringen*

De metalen Pb, Zn, Cu, Cd, As, Ni, Hg worden in het hoofdrapport behandeld. De keuze voor deze metalen was echter voornamelijk gebaseerd op de beschikbaarheid van gegevens. Voor de andere metalen zijn onvoldoende gegevens beschikbaar voor moestuingewassen om relaties met bodemtype te maken, of voor relaties met het totaalgehalte in de bodem bodem of om de inschatting te baseren op een enigszins dekkend consumptiepakket.

Aanvullend wordt in **Bijlage 7** ingegaan op inschattingen van de BCF van moestuingewassen voor Ba, Cr, Co, Mo voor gebruik in CSOIL en de BCF van grassen en wilde kruidgewassen voor Al, Sb, Ba, Cr, Co, Mn, Ag en V op basis van gegevens van Bechtel Jacobs (1998).

### 3.3 Gebruikte literatuur

De aanpak van het UMS (Stubenrauch et al., 1997; zie ook bijlage 9) heeft als voorbeeld gediend maar het betreft inschattingen en basisgegevens waren niet beschikbaar.

Uit de buitenlandse literatuur waren in eerste instantie slechts 4 bruikbare bronnen gevonden:

- Dudka et al., 1996;
- Logan et al., 1997;
- Krebs et al., 1998;
- Mellum et al., 1998.

Het aantal gegevens uit deze studies was onvoldoende en te weinig systematisch voor een analyse van de bodemtype afhankelijkheid van de BCF. In tweede instantie is daarom een uitgebreide analyse gemaakt van gegevens uit:

- Van der Torn et al., 1994; "BIO Bodemverontreiniging in Volkstuinen Rotterdam".

Op basis van de combinaties van hierin gerapporteerde metingen kon een nieuwe dataset worden samengesteld voor Cd en Pb. Tevens is de oorspronkelijke dataset verkregen die is gemeten voor

- Wiersma et al., 1986; "Cadmium, lead, mercury and arsenic concentrations in crops and corresponding soils in the Netherlands".

Hieruit is een selectie gemaakt voor moestuin gewassen.

De laatste 2 bronnen hebben een behoorlijke uitbreiding gegeven van de data voor As, Cd, Hg en Pb. Het aantal gegevens voor Cu, Ni en Zn blijven hierbij achter (zie Tabel 3.1).

*Tabel 3.1: Overzicht verzamelde gegevens en bronnen; aantallen gegevens*

Literatuur	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Dudka et al., 1996	-	36	34	-	36	36	34
Logan et al., 1997	-	5	0	-	0	5	5
Krebs et al., 1998	-	9	9	-	0	0	9
Mellum et al., 1998	-	3	3	-	3	3	3
Van der Torn et al., 1994	-	393	-	-	-	393	-
Wiersma et al., 1986	270	301	-	271	-	388	-
Totaal	270	747	46	271	39	835	51

De berekeningen in de volgende hoofdstukken zijn gedaan op basis van de dataset samengesteld op basis van bovenstaande binnen- en buitenlandse literatuur. De gegevens zijn op de volgende manier verwerkt:

- berekening van gemiddelen, medianen en ranges (5- en 95-percentielen) van BCF waarden, en ter inschatting van de geldigeheidsrange van de BCF-waarden ook van totaalgehalten in de bodem en bodemtypeparameters (hoofdstuk 4),
- modellering van afhankelijkheid van totaalgehalten en bodemtypeparameters voor de BCF (hoofdstuk 5 relaties per gewas, hoofdstuk 6 generiek, consumptiegemiddeld voor standaardbodem en totaalgehalte bodem op het niveau rond interventiewaarden en hoofdstuk 7 actueel, consumptiegemiddeld afhankelijk van bodemtype en totaalgehalte bodem).

In de eindfase van het onderzoek zijn gegevens van het onderzoek aan Maasoevergronden verkregen. Deze zijn separaat uitgewerkt in bijlage 8. Het wordt voorgesteld deze in een later stadium te integreren met de bovenstaande dataset. Op dit moment kunnen de gegevens gebruikt worden voor een validatie van het resultaat met onafhankelijke gegevens (zie Tabel B. 35).

### 3.4 Overige literatuur plantenopname

Naast de genoemde literatuur zijn er gegevens uit andere bronnen verzameld die niet direct bruikbaar waren in de onderstaande berekeningen, bijv. omdat ze niet waren gericht op moestuingewassen of geen aandacht besteedden aan de invloed van de bodemconcentratie of bodemtype. De verschillen met de doelstellingen in dit rapport zijn in onderstaande Tabel 3.2 vermeld.

*Tabel 3.2: Studies naar BCF van metalen, vergelijking van aspecten die de bruikbaarheid bepalen voor berekening van de generieke BCF voor moestuinen*

Auteurs	Jaar	Aspecten van de studie
Baes et al.	1984	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> berekening overal-BCF (geen uitsplitsing naar gewas) diverse gewassen, niet alleen gerelateerd aan consumptiegewassen</li> <li><input type="checkbox"/> geen variatie van BCF met bodemtype of totaalgehalte bodem</li> </ul>
Sauerbeck en Lübben	1991	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> berekening BCF voor specifieke gewassen, ook grassen en granen, geen aardappelen</li> <li><input type="checkbox"/> relatie voor afhankelijkheid overal-BCF van totaalgehalte bodem (voor combinatie van beschikbare gegevens van alle planten)</li> <li><input type="checkbox"/> geen correcties voor bodemtypen</li> </ul>
Bechtel Jacobs voor US dept. of Energy	1998	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> berekening van overal-BCF voor combinatie van diverse planten (geen aardappelen), niet alleen gerelateerd aan consumptiegewassen, uitbreiding op basis van Baes, 1984</li> <li><input type="checkbox"/> relatie voor afhankelijkheid overal-BCF van totaalgehalte bodem (voor combinatie van beschikbare gegevens van alle planten)</li> <li><input type="checkbox"/> geen correcties voor nbodemtypen, alleen voor bodem-pH</li> </ul>
UMS (Stubenrauch et al., 1997)	1997	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> berekening overal-BCF voor combinatie van gewassen, inschattingen op basis van data van Sauerbeck and Lübben</li> <li><input type="checkbox"/> geen correctie BCF voor totaalgehalten bodem</li> <li><input type="checkbox"/> wel correcties voor bodemtype (OC% and H% en pH)</li> </ul>
deze rapportage	2001	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> berekening BCF voor specifieke gewassen en van consumptiegemiddelde BCF voor generieke risico-analyse, sterke invloed van waarden voor aardappelen</li> <li><input type="checkbox"/> relatie voor invloed van totaalgehalte bodem en bodemtype (op basis van OC%, H% en pH) op BCF van specifieke gewassen en op consumptiegemiddelde BCF</li> </ul>

Geen van deze studies houdt rekening met de invloed van de bereiding van het voedsel (zoals in het EPA Exposure factors Handbook 1997 wordt aanbevolen<sup>2</sup>). Ook wordt de geldigheidsrange voor typen verontreinigingsmatrices niet gegeven. (Alleen Bechtel Jacobs maakt onderscheid in bodems met kunstmatig verhoogde metaalconcentraties door toegevoegde zouten vs. aangetroffen verontreiniging in de bodems. In het literatuuronderzoek voor deze studie zijn gegevens met betrekking tot kunstmatige verontreiniging verworpen.)

<sup>2</sup> Volgens Kampe (1984) wordt door het schillen van (gewassen) aardappelen ca. 50% van het gehalte aan cadmium en 94% van het gehalte aan lood verwijderd. Voor het wassen van sla en kool is een reductie van het gehalte gevonden van 30-60% voor Cd en 60-80% voor Pb.

De gegevens uit deze bronnen zijn in paragraaf 8.2 vergeleken met de resultaten van de berekeningen van deze studie, ter vergelijking van de orde van grootte van de BCF-waarden en de relaties met bodemtype en totaalgehalte bodem.

Door Van Gestel et al. (1992) zijn potproeven gedaan met sla en radijs. In het algemeen worden in deze studie slechts data uit veldstudies opgenomen. Deze studie is interessant omdat met in het veld bemonsterde verontreinigde bodems is gewerkt, de bodemparameters zijn geanalyseerd en tevens wordt een uitgebreide range van metalen rapport behandeld doorgerekend, incl. Ba en Co waarvan in het algemeen de gegevens schaars zijn (zie bijlage 10 en paragraaf 8.3.4).



## 4. Overzicht velddata BCF waarden en gehalten in de plant

In het literatuuronderzoek is met behulp van de referenties uit Tabel 3.1 een dataset van velddata opgebouwd die per bestudeerd metaal de volgende gegevens bevat:

- totaalgehalte in de bodem (Q [mg metaal /kg ds bodem]),
- bodemtype (pH-KCl, organisch koolstofgehalte OC% en lutumgehalte L%),
- type gewas,
- gehalte in geconsumeerde deel van het gewas (C-plant [mg metaal / kg ds plant] ).

Per gegeven is de bioconcentratiefactor BCF berekend met

$$\text{BCF} = \text{C-plant} / Q [\text{kg ds bodem} / \text{kg ds plant}]$$

Voor evt. omrekeningen van natgewicht naar drooggewicht van C-plant zijn gegevens gebruikt van EPA Exposure factors Handbook 1997. In de literatuur worden ook wel BCF-waarden vermeld op basis van natgewicht van de plant. Als deze zijn gebruikt in dit rapport zijn ze omgerekend naar drooggewicht per plant.

De BCF waarden worden bij de blootstellingsberekening van CSOIL gebruikt als een generieke BCF per metaal bij standaardbodem en rond interventiewaarden. De velddata zijn gemeten bij diverse gewastypen, bodemtypen en concentraties.

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de gemiddelden en ranges van de gegevens die zijn opgenomen in de dataset:

- van de gehalten per gewas en de BCF-waarden, de in te schatten inputparameters voor de blootstellingsberekening van CSOIL,
- voor de totaalgehalten in de bodem en bodemtype parameters per metaal als karakterisatie van het geldigheidsgebied van de gegevens (voor ranges per gewas en metaal, zie bijlage 3).

In de volgende hoofdstukken zal worden ingegaan op modellering om uit de gegevens een inschatting te maken van de generieke BCF bij standaardbodem en rond interventiewaarden. De ranges van totaalgehalten in de bodem en bodemtypeparameters geven een indruk van de bruikbaarheid van de data en in hoeverre extrapolaties nodig zijn in de hierna te behandelen modellering. Ter vergelijking zijn in onderstaande tabellen ook de huidige streefwaarden (SW) en interventiewaarden (IW) en bodemtypeparameters van de huidige en voorgestelde (Otte et al., 2001) standaardbodems opgenomen (zie toelichting nieuw voorgestelde standaardbodem in paragraaf 6.4).

De BCF-waarden zijn gegeven per gewas en metaal. Per metaal zijn totalen berekend op verschillende manieren:

- over alle gewassen, zonder onderscheid van gewassen
- consumptiegemiddeld: gewogen gemiddelde over de gewassen, weegfactor evenredig met in Nederland gemiddelde geconsumeerde hoeveelheid van het gewas,

De waarde van de consumptiegemiddelde BCF in het algemeen lager doordat de waarde voor aardappelen lager is en deze telt sterk in de weging mee (60%).

## 4.1 Verzamelde data: gemiddelden en ranges per metaal en gewas van BCF, gehalten in bodem en gewas, bodemtypen

### 4.1.1 Arseen

Tabel 4.1: As, Ranges totaalgehalte bodem ( $Q$ ) en bodemtypen voor alle gewassen

As	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	SW st. bodem huidig	IW st.bodem voorge- steld (*)
Q kg/mg ds	1	1,4	7	24	53	<b>29</b>	<b>55</b>
pH	4,4	5,1	7,1	7,5	7,7	6	<b>5</b>
OC %	0,2	0,8	1,6	3,7	45	<b>5,8</b>	2,9
L %	0,5	2	11	45	66	25	15

Grijs gemaakteerde waarden in de laatste 2 kolommen vallen buiten het traject van 5-95 percentielen

(\*) Otte et al. (2001).

Tabel 4.2: As, Ranges gemeten BCF-waarden (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

As	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	0,0005	0,0014	0,025	0,15	0,42	0,044	270
Aardappelen	0,0005	0,0009	0,003	0,015	0,07	0,0055	90
Wortelen	0,019	0,038	0,066	0,21	0,42	0,087	100
Spinazie	0,006	0,008	0,024	0,08	0,16	0,034	80
Consumptie gemiddelde	0,0022	0,0040	0,0088	0,033	0,101	0,0131	-

BCF in [mg /kg ds plant]/[mg /kg ds bodem]

Tabel 4.3: As, Ranges gehalten in het gewas (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

As	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	0,011	0,024	0,140	0,425	1,1	0,171	270
Aardappelen	0,011	0,018	0,047	0,146	0,19	0,064	90
Wortelen	0,06	0,070	0,215	0,621	1,1	0,268	100
Spinazie	0,08	0,100	0,170	0,280	0,32	0,171	80
Consumptie gemiddelde	0,015	0,021	0,053	0,150	0,216	0,067	-

mg/ kg ds plant

## 4.1.2 Cadmium

Tabel 4.4: Cd, Ranges totaalgehalte bodem en bodemtypen voor alle gewassen

Cd	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	SW st. bodem huidig	IW st.bodem voor- gesteld
Q kg/mg ds	0,02	0,12	0,45	3,2	118	0,8	<b>12</b>
pH	4,4	5,4	6,9	7,5	8,4	6	<b>5</b>
OC %	0,2	0,9	3,5	13	17	5,8	2,9
L %	0,5	3	16	33	66	25	15

Grijsgemarkeerde waarden in de laatste 2 kolommen vallen buiten het traject van 5-95 percentielen.

Tabel 4.5: Cd, Ranges gemeten BCF-waarden (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

Cd	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	0,004	0,09	0,55	4,6	52	1,44	747
Aardappelen	0,01	0,07	0,27	0,93	11	0,51	103
Rode bieten	0,06	0,10	0,32	0,82	1,4	0,38	67
Wortelen	0,11	0,33	1,3	6,6	16	1,97	112
Radijs	0,48	0,50	0,71	0,77	0,77	0,67	8
Prei	0,03	0,04	0,13	0,27	0,50	0,142	68
Tomaten	0,13	0,15	10	43	46	16	6
R&w kool	0,011	0,04	0,19	25	35	5,2	7
Boerenkool	0,05	0,08	0,23	0,42	0,77	0,25	58
Spinazie	0,36	0,7	2,2	7	16	3,1	86
Kropsla	0,12	0,24	0,73	2,0	52	1,8	125
Andijvie	0,004	0,17	0,63	2,4	3,6	0,83	93
Bonen	0,06	0,07	0,24	18	33	3,4	13
Cons.gemid. alle gewassen	0,03	0,09	0,84	4,6	12,6	1,61	-

BCF in [mg /kg ds plant]/[mg /kg ds bodem]

Tabel 4.6: Cd, Ranges gehalten metaal in het gewas (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

Cd	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	0,010	0,06	0,32	2,09	29,5	0,60	747
Aardappelen	0,010	0,04	0,13	0,30	3,88	0,21	103
Rode bieten	0,087	0,12	0,24	0,73	1,18	0,32	67
Wortelen	0,090	0,10	0,36	2,41	3,95	0,60	112
Radijs	1,9	2,0	3,0	20,4	29,5	6,1	8
Prei	0,047	0,05	0,09	0,23	0,38	0,113	68
Tomaten	0,190	0,23	0,53	0,91	0,92	0,57	6
R&w kool	0,010	0,01	0,08	0,66	0,70	0,21	7
Boerenkool	0,084	0,11	0,17	0,47	0,50	0,22	58
Spinazie	0,200	0,30	0,90	2,18	3,15	1,06	86
Kropsla	0,180	0,24	0,57	1,57	2,49	0,55	125
Andijvie	0,146	0,21	0,49	2,27	3,88	0,86	93
Bonen	0,034	0,04	0,06	0,64	0,66	0,18	13
Cons.gemid. alle gewassen	0,04	0,07	0,18	0,53	2,87	0,26	-

mg/ kg ds plant

### 4.1.3 Koper

Tabel 4.7: Cu, Ranges totaalgehalte bodem en bodemtypen voor alle gewassen

Cu	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	SW st. bodem huidig	IW st.bodem voorge- steld
Q kg/mg ds	21	21	32	45	46	36	190
pH	5,0	5,2	7,0	8,4	8,4	6	5
OC %	1,5	1,6	2,9	3,5	3,7	5,8	2,9
L %	11	11	12	16	16	25	15

Grijsgemarkeerde waarden in de laatste 2 kolommen vallen buiten het traject van 5-95 percentielen.

Tabel 4.8: Cu, Ranges gemeten BCF-waarden (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

Cu	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	0,07	0,09	0,29	0,80	1,01	0,34	45
Aardappelen	0,10	0,16	0,37	0,56	0,60	0,37	7
Wortelen	0,13	0,14	0,23	0,39	0,43	0,25	6
Tomaten	0,42	0,44	0,55	0,80	0,81	0,60	6
R&w kool	0,07	0,07	0,09	0,16	0,17	0,105	7
Bloemkool	-	-	0,12	-	-	0,12	1
Kropsla	0,29	0,30	0,33	0,48	0,52	0,36	6
Bonen	0,15	0,16	0,24	0,90	1,01	0,38	13
Cons.gemid. alle gewassen	0,12	0,17	0,34	0,52	0,56	0,35	-

BCF in [mg /kg ds plant ]/[mg /kg ds bodem]

Tabel 4.9: Cu, Ranges gehalte metaal in de gewassen (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

Cu	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	2,1	3,4	8,7	21,0	24,8	10,2	45
Aardappelen	4,7	6,3	12,1	13,4	13,5	11,0	7
Wortelen	4,7	4,9	6,4	10,7	11,3	7,2	6
Tomaten	14,3	14,9	17,4	20,5	21,0	17,6	6
R&w kool	2,1	2,1	3,6	4,0	4,0	3,3	7
Bloemkool	-	-	5,6	-	-	-	1
Kropsla	7,9	8,1	10,2	14,7	15,7	10,7	6
Bonen	6,2	6,4	7,4	22,9	24,8	11,7	13
Cons.gemid. alle gewassen	4,8	5,8	9,9	12,4	12,6	9,5	-
Cons.gemid. incl.bloemkool	-	-	10,0	-	-	-	

mg/ kg ds plant

#### 4.1.4 Kwik

Tabel 4.10: Hg, Ranges totaalgehalte bodem en bodemtypen voor alle gewassen

Hg	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	SW st. bodem huidig	IW st.bodem voorge- steld
Q kg/mg ds	0,005	0,01	0,06	0,2	1,8	0,3	<b>10</b>
pH	4,4	5,1	7,1	7,5	7,7	6	<b>5</b>
OC %	0,2	0,8	1,6	3,7	17	<b>5,8</b>	2,9
L %	0,5	2	11	45	66	25	15

Grijs gemaakteerde waarden in de laatste 2 kolommen vallen buiten het traject van 5-95 percentielen.

Tabel 4.11: Hg, Ranges gemeten BCF-waarden (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

Hg	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	0,002	0,02	0,33	3	15	0,69	271
Aardappelen	0,002	0,01	0,11	0,5	1,8	0,22	91
Wortelen	0,02	0,1	0,45	1,4	3	0,57	97
Spinazie	0,004	0,08	0,40	4	15	1,3	83
Consumptie gemiddelde	0,003	0,02	0,15	0,8	2,7	0,31	-

BCF in [mg /kg ds plant ]/[mg /kg ds bodem]

Tabel 4.12: Hg, Ranges metaalgehalten in de gewassen (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

Hg	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	0,0005	0,002	0,02	0,11	0,46	0,00	271
Aardappelen	0,0005	0,0010	0,009	0,042	0,077	0,002	91
Wortelen	0,0110	0,013	0,02	0,04	0,07	0,00	97
Spinazie	0,0005	0,010	0,03	0,35	0,46	0,01	83
Consumptie gemiddelde	0,0009	0,002	0,008	0,043	0,071	0,002	-

mg/ kg ds plant

## 4.1.5 Nikkel

Tabel 4.13: Ni, Ranges totaalgehalte bodem en bodemtypen voor alle gewassen

Ni	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	SW st. bodem huidig	IW st.bodem voorge- steld
Q kg/mg ds	19	19	24	44	44	35	<b>210</b>
pH	-	-	6,8	-	-	<b>6</b>	<b>5</b>
OC %	2,9	2,9	2,9	3,7	3,7	<b>5,8</b>	2,9
L %	12	12	12	16	16	<b>25</b>	<b>15</b>

Grijs gemaakteerde waarden in de laatste 2 kolommen vallen buiten het traject van 5-95 percentielen.

Tabel 4.14: Ni, Ranges gemeten BCF-waarden (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

Ni	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	0,009	0,010	0,025	0,15	0,34	0,048	37
Aardappelen	0,009	0,009	0,015	0,024	0,025	0,015	7
Wortelen	0,013	0,013	0,021	0,10	0,11	0,042	6
Tomaat	0,016	0,017	0,029	0,08	0,09	0,039	6
R&w kool	0,009	0,009	0,021	0,037	0,039	0,022	7
Bloemkool	-	-	0,06	-	-	0,06	1
Sla	0,017	0,020	0,035	0,043	0,045	0,033	6
Bonen	0,027	0,030	0,19	0,34	0,34	0,19	4
Consumptie gemiddelde alle gewassen	0,0098	0,010	0,0224	0,036	0,039	0,0242	-

BCF in [mg /kg ds plant ]/[mg /kg ds bodem]

Tabel 4.15: Ni, Ranges gehalte metalen in de gewassen (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

Ni	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	0,2	0,2	0,7	3,8	8,0	1,2	37
Aardappelen	0,2	0,2	0,4	0,6	0,7	0,4	7
Wortelen	0,3	0,3	0,5	3,0	3,1	1,2	6
Tomaat	0,3	0,4	0,8	2,0	2,2	1,0	6
R&w kool	0,20	0,20	0,50	1,17	1,20	0,65	7
Bloemkool	-	-	2,68	-	-	-	1
Sla	0,40	0,48	0,80	1,13	1,20	0,80	6
Bonen	0,9	1,0	3,9	7,8	8	4,2	4
Consumptie gemiddelde (*1)	0,26	0,29	0,66	1,39	1,46	0,77	-
Consumptie gemiddelde (*2)	-	-	0,76	-	-	-	

(\*1) alle gewassen, excl. bloemkool

(\*2) alle gewassen, incl. bloemkool

mg/ kg ds plant

## 4.1.6 Lood

Tabel 4.16: Pb, Ranges totaalgehalte bodem en bodemtypen voor alle gewassen

Pb	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	SW st. bodem huidig	IW st.bodem voorgesteld
Q kg/mg ds	0,5	10	87	359	5452	85	<b>530</b>
pH	2,5	5	6,9	7,5	8,4	6	5
OC %	0,2	0,9	3,4	13	33	5,8	2,9
L %	0,09	1,7	16	33	66	25	15

Grijsgemarkeerde waarden in de laatste 2 kolommen vallen buiten het traject van 5-95 percentielen.

Tabel 4.17: Pb, Ranges gemeten BCF-waarden (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

Pb	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	0,0007	0,002	0,015	0,083	9,7	0,064	835
Aardappelen	0,0007	0,0018	0,0050	0,01	0,12	0,0073	113
Rode bieten	0,0007	0,0011	0,0031	0,01	0,03	0,0048	75
Wortelen	0,002	0,008	0,030	0,08	0,19	0,0365	124
Radijs	0,002	0,01	0,12	2,6	9,7	0,8	33
Uien	0,0062	0,0062	0,0095	0,016	0,017	0,0100	9
Prei	0,0012	0,0022	0,0048	0,012	0,017	0,0057	68
Tomaat	0,0007	0,0010	0,015	0,072	0,073	0,029	6
R&w kool	0,0018	0,0024	0,0116	0,020	0,023	0,0111	14
Boerenkool	0,0070	0,0100	0,0295	0,062	0,098	0,0315	59
Sla	0,0018	0,0052	0,0183	0,11	5,3	0,08	156
Andijvie	0,0037	0,0066	0,0175	0,038	0,057	0,0194	89
Spinazie	0,0075	0,0125	0,0383	0,098	0,260	0,046	80
Bonen	0,0007	0,0015	0,012	0,052	0,065	0,018	8
Bloemkool	-	-	0,008	-	-	0,008	1
Consumptiegemid alle gewassen	0,0013	0,0027	0,0087	0,023	0,16	0,0127	-

BCF in [mg /kg ds plant ]/[mg /kg ds bodem]

Tabel 4.18: Pb, Ranges gehalte metaal in de gewassen (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

Pb	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	0,05	0,10	1,18	6,09	48,0	2,05	835
Aardappelen	0,05	0,06	0,13	1,30	15,4	0,49	113
Rode bieten	0,16	0,16	0,47	2,06	3,8	0,71	75
Wortelen	0,13	0,17	0,50	2,36	5,5	0,79	124
Radijs	0,1	0,4	4,1	32,2	48	10,4	33
Uien	1,00	1,08	1,50	2,48	2,6	1,66	9
Prei	0,35	0,43	0,74	1,72	2,2	0,85	68
Tomaat	0,13	0,13	0,42	1,05	1,1	0,52	6
R&w kool	0,09	0,12	0,95	3,25	3,7	1,25	14
Boerenkool	2,19	2,44	3,86	8,37	12,9	4,42	59
Sla	0,13	0,34	2,20	7,35	13,8	2,84	156
Andijvie	0,65	0,97	2,26	5,64	7,4	2,76	89
Spinazie	0,20	0,49	1,30	2,61	4,5	1,46	80
Bonen	0,1	0,1	1,0	2,4	2,7	1,0	8
Bloemkool	-	-	0,2	-	-	-	1
Consumptiegemid alle gewassen, excl. bloemkool	0,20	0,24	0,54	1,95	11,1	0,84	-

Pb	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
Consumptiegemid alle gewassen, incl. bloemkool	-	-	0,46	-	-	-	-

mg/ kg ds plant

#### 4.1.7 Zink

Tabel 4.19: Zn, Ranges totaalgehalte bodem en bodemtypen voor alle gewassen

Zn	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	SW st. bodem huidig	IW st.bodem voorgesteld
Q kg/mg ds	25	57	112	748	11400	140	720
pH	5,0	5,2	7,1	8,4	8,4	6	5
OC %	0,4	0,5	1,6	2,9	3,3	5,8	2,9
L %	6	6	12	16	16	25	15

Grijs gemaakteerde waarden in de laatste 2 kolommen vallen buiten het traject van 5-95 percentielen.

Tabel 4.20: Zn, Ranges gemeten BCF-waarden (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

Zn	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	0,015	0,07	0,30	1,3	17	0,7	51
Aardappelen	0,015	0,018	0,10	0,61	1,0	0,19	12
Wortelen	0,07	0,09	0,19	0,46	0,52	0,23	6
Tomaat	0,14	0,22	0,55	13	17	3,2	6
R&w kool	0,11	0,12	0,20	0,31	0,31	0,20	7
Bloemkool	-	-	0,49	-	-	0,49	1
Sla	0,19	0,22	0,37	1,1	1,3	0,50	6
Bonen	0,14	0,28	0,80	1,3	1,3	0,78	13
Cons.gemid alle gewassen	0,04	0,05	0,18	1,3	1,9	0,41	-

BCF in [mg /kg ds plant ]/[mg /kg ds bodem]

Tabel 4.21: Zn, Ranges gehalte metaal in de gewassen (bij uiteenlopende bodemtypen en concentraties)

Zn	min	5-perc	mediaan	95-perc	max	gemid.	aantal meetp.
alle gewassen	12	19	43	147	1340	79	51
Aardappelen	12	15	23	144	172	48	12
Wortelen	17	18	23	44	48	27	6
Tomaat	34	36	74	1075	1340	307	6
R&w kool	19	20	25,0	31	32	25,2	7
Bloemkool			55				1
Sla	39	40	50	97	104	60	6
Bonen	34	39	68	79	81	65	13
Cons.gemid alle gewassen, excl.bloemkool	16	18	27	157	188	55	-
Cons.gemid alle gewassen, incl.bloemkool	-	-	-	155	-	-	-

mg/ kg ds plant

## 4.2 BCF-waarden gebaseerd op geometrisch gemiddelden

De gevonden ranges van experimentele BCF-waarden zijn vaak groot en het aantal meetpunten is soms gering. Als zonder modellering naar concentraties en bodemtypen hieruit een schatting voor de BCF van een gewas moet worden gemaakt is het geometrisch gemiddelde een goede keus. De metingen zijn in het algemeen te beschouwen als lognormaal verdeeld (maar o.a. afhankelijk van spreiding in concentraties en bodemtypen). Als er veel meetpunten zijn, komen voor een lognormale verdeling geometrisch gemiddelde en mediaan overeen. Het geometrisch gemiddelde is een zuivere schatter voor de mediaan bij een lognormale verdeling. Als er weinig meetpunten zijn en bekend is dat de verdeling lognormaal is, zal het geometrisch gemiddelde een betere schatter zijn dan de conventionele berekening van de mediaan (zonder gebruik van kennis over het type statistische verdeling). De standaarddeviatie van de log(BCF) geeft een inzicht in de spreiding. Ter vergelijking zijn in de onderstaande Tabel 4.22 medianen en geometrisch gemiddelden naast elkaar gegeven.

*Tabel 4.22: Overzicht ranges en gemiddelden van verzamelde dataset per metaal en per gewas*

Me-taal	Gewas	Range (5p-95p) BCF	Mediaan BCF	BCFGeo metrisch gemid,	Gemid van log BCF	Stdev van log BCF
As	alles	0,001- 0,15	0,025	0,019	-1,73	0,65
	aardappelen	0,001- 0,015	0,003	0,003	-2,48	0,40
	wortelen	0,04- 0,21	0,066	0,026	-1,59	0,32
	spinazie	0,01- 0,08	0,024	0,067	-1,17	0,30
Cd	alles	0,09- 4,6	0,55	0,55	-0,26	0,54
	aardappelen	0,07- 0,93	0,27	0,28	-0,56	0,40
	rode bieten	0,10- 0,82	0,32	0,31	-0,51	0,28
	wortelen	0,33- 6,6	1,3	1,3	0,12	0,38
	radijs	0,50- 0,77	0,71	0,66	-0,18	0,07
	prei	0,04- 0,27	0,13	0,12	-0,92	0,27
	tomaat	0,15- 43	10	3,0	0,48	1,14
	r&w kool	0,04- 25	0,19	0,29	-0,54	1,08
	boerenkool	0,08- 0,42	0,23	0,22	-0,66	0,23
	sla	0,24- 2,0	0,73	0,74	-0,13	0,38
	andijvie	0,17- 2,4	0,63	0,68	-0,17	0,34
	spinazie	0,7- 7	2,2	2,27	0,36	0,34
Cu	bonen	0,07- 18	0,24	0,42	-0,37	0,55
	alles	0,09- 0,80	0,29	0,28	-0,56	0,29
	aardappelen	0,16- 0,56	0,37	0,33	-0,48	0,24
	wortelen	0,14- 0,39	0,23	0,23	-0,64	0,17
	tomaat	0,44- 0,80	0,55	0,59	-0,23	0,11
	r&w kool	0,07- 0,16	0,09	0,01	-1,00	0,13
	bloemkool	-	0,12	-	-	-
	kropsla	0,30- 0,48	0,33	0,35	-0,46	0,09
Hg	bonen	0,16- 0,90	0,24	0,32	-0,50	0,26
	alles	0,02- 3	0,33	0,28	-0,55	0,62
	aardappelen	0,01- 0,5	0,11	0,10	-0,99	0,59
	wortelen	0,1- 1,4	0,45	0,53	-0,28	0,64
Ni	spinazie	0,08- 4	0,40	0,43	-0,37	0,34
	alles	0,010- 0,15	0,025	0,029	-1,54	0,38
	aardappelen	0,009- 0,024	0,015	0,015	-1,84	0,17

Metal	Gewas	Range (5p-95p) BCF	Mediaan BCF	BCFGeo metrisch gemid,	Gemid van log BCF	Stdev van log BCF
	wortelen	0,013- 0,10	0,021	0,030	-1,53	0,39
	tomaat	0,017- 0,08	0,029	0,033	-1,48	0,28
	r&w kool	0,009- 0,037	0,021	0,019	-1,72	0,25
	bloemkool	-	0,06	-	-	-
	sla	0,020- 0,043	0,035	0,031	-1,50	0,15
	bonen	0,030- 0,34	0,19	0,11	-0,96	0,57
Pb	alles	0,002- 0,08	0,015	0,015	-1,83	0,55
	aardappelen	0,002- 0,01	0,005	0,005	-2,28	0,30
	rode bieten	0,0011- 0,01	0,003	0,004	-2,45	0,33
	wortelen	0,008- 0,08	0,030	0,028	-1,55	0,34
	radijs	0,01- 2,6	0,12	0,14	-0,9	0,91
	uien	0,006- 0,016	0,0095	0,009	-2,03	0,16
	prei	0,002- 0,012	0,0048	0,005	-2,31	0,24
	tomaat	0,0010- 0,07	0,015	0,010	-2,02	0,85
	r&w kool	0,0024- 0,02	0,012	0,009	-2,07	0,36
	boerenkool	0,010- 0,06	0,030	0,027	-1,58	0,26
	sla	0,005- 0,11	0,018	0,020	-1,69	0,46
	andijvie	0,007- 0,04	0,018	0,016	-1,78	0,26
	spinazie	0,013- 0,10	0,038	0,37	-1,44	0,29
	bonen	0,0015- 0,05	0,012	0,009	-2,05	0,61
	bloemkool	-	0,008	-	-2,10	-
Zn	alles	0,07- 1,3	0,30	0,30	-0,52	0,51
	aardappelen	0,018- 0,61	0,10	0,11	-0,97	0,48
	wortelen	0,09- 0,46	0,19	0,18	-0,73	0,30
	tomaat	0,22- 13	0,55	0,86	-0,07	0,70
	r&w kool	0,12- 0,31	0,20	0,19	-0,73	0,18
	bloemkool	-	0,49	-	-	-
	sla	0,22- 1,1	0,37	0,41	-0,39	0,28
	bonen	0,28- 1,3	0,80	0,68	-0,17	0,27

### 4.3 Rangschikking gewassen naar niveau van metaalopname

In dit rapport is als bepalend voor de risico's van de besproken blootstellingsroute gekozen voor consumptiegemiddelen. Een alternatief is de keuze voor het gewas met de hoogste metaalopname. Dit is een meer conservatieve benadering, dit onder andere wordt gevuld door Huinink et al., 1999 (zie voor verdere besprekking van deze systematiek paragraaf 8.2.3). In Tabel 4.23 is op basis van bovenstaande tabellen een rangschikking gemaakt naar het niveau van de BCF-waarden.

*Tabel 4.23: Rangschikking gewassen naar niveau van metaalopname op basis van geometrisch gemiddelden van de dataset van dit*

Metaal-opname	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Hoog	spinazie	wortelen spinazie tomaat	tomaat	spinazie wortelen	bonen	wortelen radijs boerenkool spinazie	tomaat sla bonen
Middel	wortelen	radijs kool (*) sla andijvie bonen	aardappelen wortelen sla bonen	-	wortelen tomaat sla	sla andijvie tomaat	-
Laag	aardappelen	aardappelen rode bieten prei boerenkool	kool (*)	aardappelen	aardappelen kool (*)	aardappelen rode bieten uien prei kool (*) bonen	aardappelen wortelen kool (*)

(\*) rode en witte kool

Ter vergelijking, de keuze van Huinink et al. (1999) voor kritische gewassen (bepalend gezien de Warenwet normen) was:

*Tabel 4.24: Kritische gewassen voor metaalaccumulatie volgens Huinink et al.*

Metaal-opname	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Hoog	aardappelen wortelen	sla	sla	spinazie	-	spinazie	aardappelen sla

Sauerbeck 1990 kwam tot een vergelijkbare indeling als bij Tabel 4.23, maar dan voor de integrale metaalopname van gewassen. De invalshoek hierbij was het gebruik als kwalitatief hulpmiddel bij de beoordeling van meetresultaten aan gewassen op mogelijk verontreinigde bodems. Zie Tabel 4.25. In de eerste kolom staan de gewassen, met een relatief hoge metaalopname

*Tabel 4.25: Rangschikking gewassen naar algemeen niveau van metaalopname volgens Sauerbeck (1990)*

Hoge metaalopname	Matige metaalopname	Lage metaalopname	Zeer lage metaalopname
Sla	Uien	Maïs	Bonen
Spinazie	Aardappelen	Bloemkool	Erwten
Andijvie	Radijs	Asperges	Meloen
Tuinkers		Selderij	Tomaten
Bieten		Bessen	Fruit

Uitgesplitst naar metaal (Lübben en Sauerbeck, 1991) blijkt dit beeld iets meer gedifferentieerd te zijn. Aardappelen zijn in dit overzicht niet meegenomen.

*Tabel 4.26: Rangschikking gewassen naar niveau van metaalopname, gespecificeerd naar metaal, volgens Lübben en Sauerbeck (1991)*

Metaal-opname	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Algemeen
Hoog	Kropsla Spinazie Bladselderij	Kropsla Veldsla Spinazie Snijbonen	Kropsla Veldsla Spinazie Radijs Snijbonen Bladselderij	Radijs Snijbonen	Kropsla Spinazie Radijs	Veldsla Spinazie Radijs	Kropsla Spinazie Radijs
Matig	Wortelen Prei Radijs	Prei Erwten Radijs	Wortelen Prei	Veldsla Spinazie Erwten	Veldsla Prei Bladselderij Snijbonen	Kropsla Prei Snijbonen Erwten Bladselderij	Veldsla Prei Bladselderij Snijbonen Erwten
Laag	Veldsla Erwten Snijbonen	Wortelen Bladselderij	-	Kropsla Wortelen Prei Bladselderij	Wortelen Erwten	-	Wortelen
Zeer laag	Maïs	Maïs	Maïs Erwten	Maïs	Maïs	Maïs Wortelen	Maïs

We kunnen concluderen dat aardappelen, die het consumptiepakket voor een groot deel bepalen, i.h.a. een relatief lage opname hebben en bladgroente als spinazie, sla, andijvie een relatief hoge opname van metalen. Bij de knolgewassen kunnen radijs, wortelen, bieten een hoge tot gemiddelde metaalopname hebben.

## 4.4 Overzicht gemiddelden en ranges van de velddata voor alle metalen

### 4.4.1 Generieke BCF waarden (consumptiegemiddeld)

De generieke BCF-waarde is uitgerekend als consumptiegemiddelde van de BCF-waarden van de afzonderlijke gewassen zonder naar invloed van bodemtype of totaalgehalten in de bodem te kijken. Hierbij is de in 4.1 - 4.7 aangegeven selectie van gewassen gebruikt. Omdat geen relatie van de BCF met bodemtype of totaalgehalte metaal in de bodem is gelegd wordt een deel van de variantie bepaald door variaties in Q, pH, OC% en L%. De medianen uit de dataset van totaalgehalte bodem en bodemtypeparameters geven aan bij welke waarden van deze parameters de waarden ongeveer geldig zijn. In het algemeen zijn de pH hoger en organisch stof gehalte en lutumgehalte lager dan van de standaardbodem en het totaal gehalte lager dan de interventiewaarden en soms zelfs lager dan de streefwaarden.

*Tabel 4.27: Consumptiegemiddelde generieke BCF uit velddata, met bijbehorende gemiddelde niveau's van totaalgehalte en bodemtypeparameters*

	plant				bodem				data	
	medi-aan BCF	geometrisch gemid-delde BCF	gemid-delde BCF	stdev gemid-delde BCF	medi-aan totaalgehalte	medi-aan pH	medi-aan OC%	medi-aan L%	aantal meetpunten	aantal gewassen
As	0.0088	0.0089	0.0131	0.0015	7	7.1	1.6	11	270	4
Cd	0.32	0.52	0.53	0.10	0.45	6.9	3.5	16	721	10
Cu	0.35	0.32	0.35	0.05	32	7.0	2.9	11	45	7
Hg	0.15	0.15	0.31	0.04	0.06	7.1	1.6	11	271	3
Ni	0.0163	0.025	0.0162	0.0021	24	6.8	2.9	12	11	2
Pb	0.0083	0.0087	0.0117	0.0018	87	6.9	3.4	16	798	10
Zn	0.11	0.18	0.20	0.08	112	7.1	1.6	12	25	2

BCF voor totale consumptiepakket aardappelen en groenten berekend zonder rekening te houden met variatie in bodemtype en totaalgehalte

De gegevens kunnen ook worden opgesplitst in BCF van aardappelen en van groenten, zoals o.a. Bockting en Van den Berg hebben gedaan. Mediaan BCF aardappelen en BCF groenten (=overige wortel- en knolgewassen, bolgewassen, vruchtgewassen, kool, bladgroenten, verse peulvruchten, bonen)

*Tabel 4.28: Consumptiegemiddelde generieke BCF uit velddata opgesplitst naar aardappelen en groenten*

	mediaan BCF aardappelen	mediaan BCF groenten (*)
As	0.003	0.17
Cd	0.27	0.58
Cu	0.37	0.27
Hg	0.009	0.43
Ni	0.015	0.069 (0.035)
Pb	0.005	0.018 (0.020)
Zn	0.10	0.28 (0.8)

(\*) voor alle beschikbare groenten en tussen haakjes de waarde bij de selectie van groenten, zoals gegeven in de paragrafen 4.1 - 4.7.

BCF opgesplitst naar aardappelen en groenten, berekend zonder rekening te houden met variatie in bodemtype en niveau van totaalgehalte

#### 4.4.2 Ranges van generieke plant gehalten en BCF-waarden

Tabel 4.29 geeft een *indruk* van de variaties in de generieke BCF als geen rekening wordt gehouden met de invloed van het niveau van het totaalgehalte in de bodem en het bodemtype. De consumptiegemiddelde waarden zijn berekend uit de percentiel waarden van de afzonderlijke gewassen.

*Tabel 4.29: Variatie in consumptiegemiddelde gehalte in het gewas en de generieke BCF berekend uit velddata*

	C-plant 5-percentiel	C-plant 95-percentiel	BCF 5-percentiel	BCF 95- percentiel
As	0.03	0.19	0.004	0.033
Cd	0.07	0.54	0.10	5.5
Cu	6.4	13.4	0.17	0.55
Hg	0.002	0.059	0.02	0.78
Ni	0.3	5.3	0.012	0.057
Pb	0.3	2.0	0.003	0.026
Zn	20	174	0.07	1.3

BCF berekend zonder rekening te houden met variatie in bodemtype en niveau van totaalgehalte

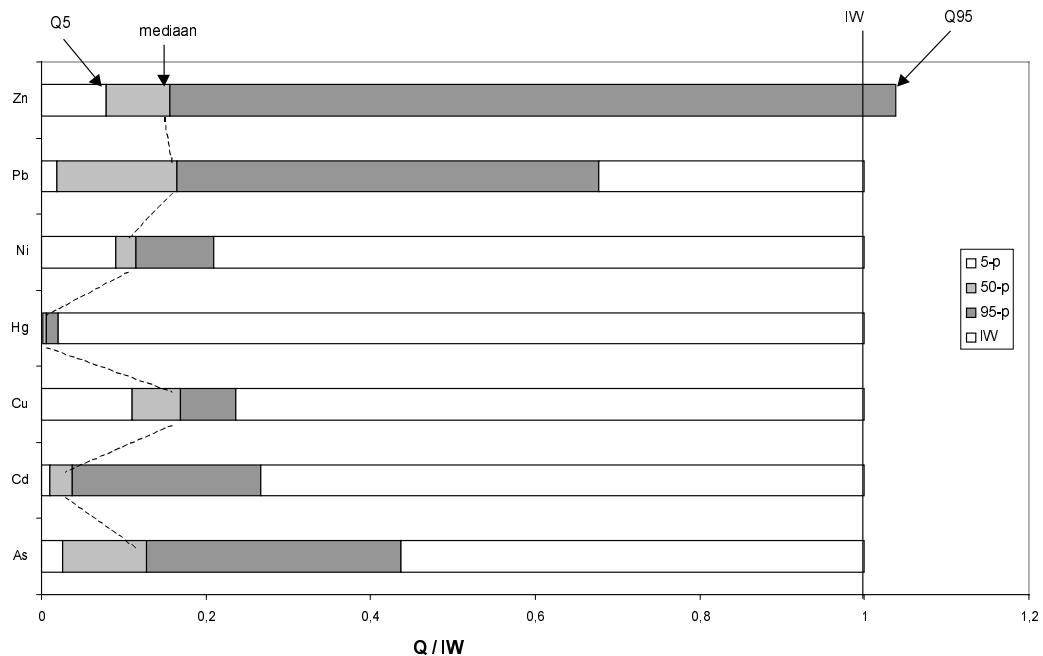
#### 4.4.3 Ranges totaalgehalten bodem en bodemparameters

In 4.4.1 is per gemiddelde BCF- waarde een bijbehorende gemiddelde waarde van de gemeten bodemtypeparameters gegeven. Om een indruk te geven van de geldigheidsrange van de gevonden BCF is in onderstaande Tabel 4.30 de range van bodemgehalten en bodemtypeparameters van de dataset in termen van 5- en 95-percentielen samengevat voor alle metalen.

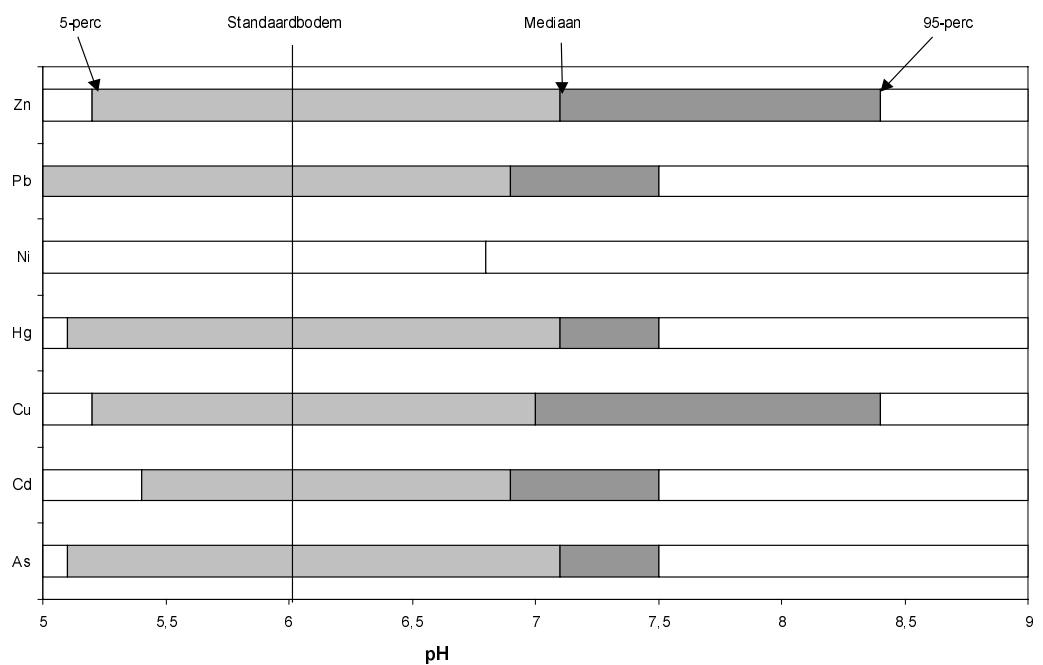
*Tabel 4.30: Ranges totaalgehalte en bodemtypeparameters velddata, in de vorm van 5 - en 95-percentielen*

	Q [mg/kg ds] (Q5-Q95)	pH	OC%	L%
huidige standaard- bodem	-	6	5.8	25
voorgestelde standaard-bodem	-	5	2.9	15
As	1.4 - 24	5.1 - 7.5	0.8 - 3.7	2 - 45
Cd	0.12 - 3.2	5.4 - 7.5	0.9 - 13	3 - 33
Cu	21 - 45	5.2 - 8.4	1.6 - 3.5	12 - 16
Hg	0.01 - 0.2	5.1 - 7.5	0.8 - 3.7	2 - 45
Ni	19 - 44	6.8	2.9 - 3.7	12 - 16
Pb	10 - 359	5.0 - 7.5	0.9 - 13	1.7 - 33
Zn	57 - 748	5.2 - 8.4	0.5 - 2.9	6 - 16

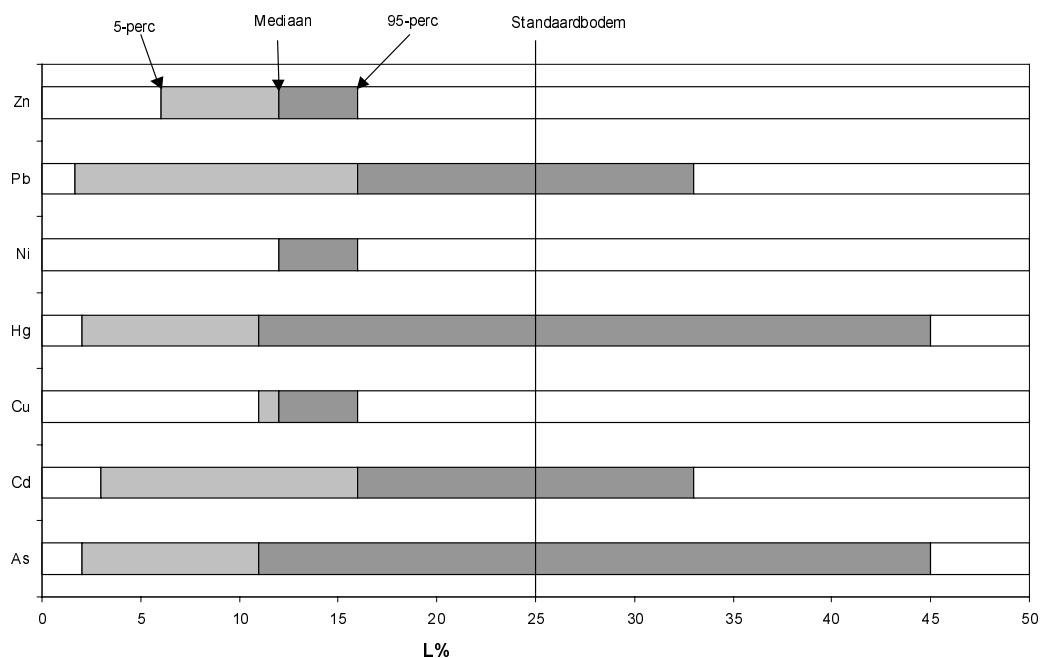
In onderstaande figuren is de relatieve verhouding van de datarange van totaalgehalte bodem en interventiewaarde in beeld gebracht (Figuur 4.4.1) en van de bodemparamters t.o.v. de waarde van de huidige standaardbodem.



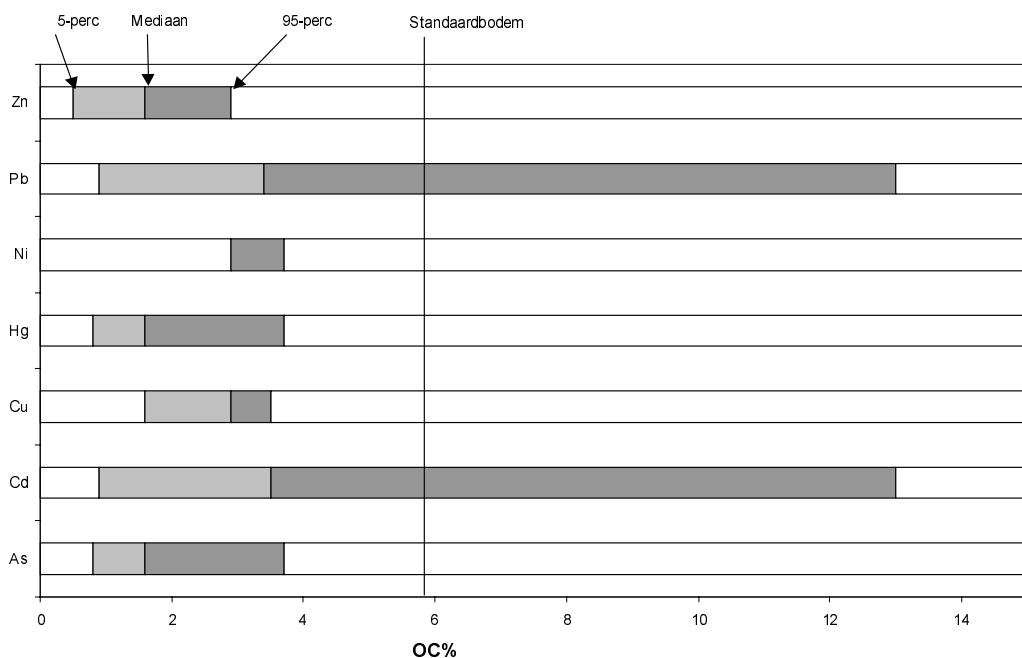
Figuur 4.4.1: Relatieve verhouding ranges totaalgehalte bodem dataset ten opzichte van huidige interventiewaarde



Figuur 4.4.2: Ranges dataset voor pH vergeleken met waarde voor huidige standaardbodem



*Figuur 4.4.3: Ranges dataset voor OC% vergeleken met waarde voor huidige standaardbodem*



*Figuur 4.4.4: Ranges dataset voor L% vergeleken met waarde voor huidige standaardbodem*

Uit de figuren blijkt duidelijk voor welke combinaties van metalen en totaalgehalten resp. metalen en bodemtypen aanvullende data gewenst zijn. De concentratie ranges vertonen de grootste hiaten, behalve voor Zn. De pH is voornamelijk voor Ni een probleem. De overige parameters zijn alleen voor Cd en Pb voldoende gedekt.

## 5. Modelleren BCF per metaal en per gewas

### 5.1 Relatie opname in het gewas en het bodemtype

#### 5.1.1 Freundlichvergelijking voor gehalte in het gewas

Als basisvergelijking wordt, in overleg met Alterra (Römkens, 1999) een Freundlich vergelijking gebruikt van de volgende vorm:

$$\log(C\text{-plant}) = a + b \cdot \log(Q) + c \cdot \text{pH} + d \cdot \log(\text{OC}\%) + e \cdot \log(L\%)$$

of

$$C\text{-plant} = 10^a \cdot Q^b \cdot [\text{H}^+]^{-c} \cdot (\text{OC}\%)^d \cdot (L\%)^e$$

met

$$\log = {}^{10}\log$$

C-plant = concentratie in plant [mg/kg ds]

Q = totaalgehalte bodem [mg kg ds]

OC% = percentage organisch koolstof in bodem [dw/dw]

L% = percentage lutum in bodem [dw/dw]

a,b,c,d,e = uit velddata te bepalen empirische coëfficiënten

#### 5.1.2 Overeenkomsten en verschillen met de poriewatervergelijking

Deze vergelijking is gekozen in analogie met de gangbare Freundlich adsorptie-isotherm voor poriewatergehalte in de bodem (Otte et al., 2000)

$$\log(C\text{-poriewater}) = a + b \cdot \log(Q) + c \cdot \text{pH} + d \cdot \log(\text{OC}\%) + e \cdot \log(L\%)$$

met C-poriewater = concentratie in poriewater [mg / l]

De coëfficiënten in de poriewatervergelijking zouden overeen kunnen komen met die van de vergelijking voor de plant, als de opname in de plant direct evenredig is met het poriewatergehalte. Dit lijkt voor snel groeiende planten met een hoge wateropname, zoals bijv. jonge sla, wel te gelden (Peijnenburg et al., in press), maar lijkt niet algemeen geldig te zijn of is tenminste geen bruikbare hypothese. Met de beschikbare gegevens is het niet goed aantoonbaar voor een voldoende aantal moestuingewassen over de volledige groeiperiode. In het kader van dit project is nagegaan met de poriewaterrelaties die zijn afgeleid voor verontreinigde bodems (zie Koops en Versluijs, bijlage 2). De aanname van een vaste verhouding per gewas tussen gehalte in plant en gehalte in poriewater als functie van bodemtype leidde niet tot consistentie resultaten. (Dit is nader toegelicht in Bijlage 11.2) Mede hierom is in dit rapport afgezien van een beschrijving via het poriewater. Ook kunnen de beschikbare poriewaterrelaties niet zonder meer voor verontreinigde gronden worden toegepast en spelen bij plantenopname ook andere factoren een rol zoals hieronder verder zal worden toegelicht.

In de poriewater vergelijking zijn OC% en L% in de vergelijking opgenomen omdat organisch stof en lutum deeltjes de metalen adsorberen. Het voorkomen van grotere hoeveelheden organisch stof en lutum hebben dus een grotere adsorptie ten gevolg. Hierbij is het lutumgehalte als een grove karakterisering van de relatieve grootte van het oppervlak van de minerale deeltjes genomen en is bij het organische stof geen onderscheid gemaakt in hoog-

en laagmoleculair organisch stof (adsorptie leidt tot resp. immobilisatie bij hoogmoleculair organisch stof en mobilisatie bij laagmoleculair organische stof). De adsorptieprocessen bepalen met name bij lage totaalgehalten het poriewatergehalte. Bij hoge concentraties wordt dit door precipitatie-processen overgenomen. Het gevolg is een stijging van de poriewaterconcentratie met het totaalgehalte bij lage concentraties en een stabilisatie bij hogere concentraties (zie Bijlage 11.1). De poriewaterrelaties die zijn afgeleid voor lage totaalgehalten kunnen niet zonder meer worden gebruikt bij hoge (verontreinigende) totaalgehalten.

Bij plantenopname kunnen deze processen anders verlopen, bijv. kan de doordringbaarheid van de bodem voor het wortelstelsel van de plant afhangen van OC% en L%, met als gevolg een andere opname en dus een andere relatie voor plantenopname dan voor poriewatergehalte. (Samenhangend met de gewasteelt kan het metaalgehalte in de bovengrond beïnvloed worden door de bemesting en door betere vochtdoorlaatbaarheid, met als gevolg meer doorspoeling van de bodem). In het algemeen spelen bij poriewatergehalten andere processen een rol dan bij plantenopname. Ook het creëren van een eigen milieu (met name pH) door het wortelstelsel kan een rol spelen. In termen van de vergelijkingen betekent dit dat de coëfficiënten niet alleen door adsorptie van de metalen aan bodemdeeltjes worden beïnvloed maar ook door specifieke planteigenschappen. Tenslotte is ook de opname door contact met de vaste fase nog een mogelijkheid (zie over mechanismen van opname in het gewas ook Bijlage 11).

### **5.1.3 De verontreinigingsmatrix**

Een tweede mogelijke verklaring van de slechte aantoonbaarheid van een parallel van gehalte in de plant en gehalte in poriewater is overigens dat de gegevens van de plantengehalten en de poriewatergehalten betrekking hebben op verschillende verontreinigingsmatrices. De coëfficiënten kunnen namelijk ook beïnvloed worden door de verontreinigingsmatrix. Als bijvoorbeeld het hoge metaalgehalte is veroorzaakt door het opbrengen van havenslib of door het regelmatig uitzinken van rivierslib (in uiterwaarden) dan kan er een relatie verwacht worden tussen het metaalgehalte en de hoeveelheid extra opgebracht lutum en/of organisch stof. Bij het opbrengen van zuiveringsslub is deze verhouding weer anders. In al deze gevallen kan ook de pH worden beïnvloed bijv. door Ca-gehalten in de verontreinigingsmatrix of er kan een competitie of andere interactie zijn met andere metalen in de verontreinigingsmatrix. Ook kan verontreiniging met steenachtig materiaal kan de korrelgrootte van verontreinigende deeltjes van belang zijn de beschikbaarheid. Voor een generieke BCF wordt in principe gestreefd naar een gemiddelde over mogelijke verontreinigingsmatrices, maar in het huidige stadium van het onderzoek is dit niet haalbaar. Het is ook mogelijk de coefficienten van plantenopname te corrigeren voor dergelijke effecten van de verontreinigingsmatrix (volgens de methode voorgesteld in bijlage 4). Omdat hierover nog geen brede overeenstemming is, is deze methode in dit rapport beperkt tot het voorbeeld van bijlage 4.

*Consequente is dat het resultaat mede afhankelijk is van de beschikbaarheid van data uit bepaalde verontreinigings-matrices.*

### **5.1.4 Depositie vanuit de lucht en achtergrondniveau in de bodem**

In de Freundlich-vergelijking is depositie vanuit de lucht niet explicet meegenomen. Deze kan optreden naast andere opgetreden verontreinigende activiteiten, maar is daar niet duidelijk van te onderscheiden zonder explicet hierop gericht onderzoek. Dit is in dit kader niet uitgevoerd (zie ook Bijlage 11.1 en Hovmand et al., 1983). Ook is er een achtergrondniveau te verwachten afkomstig van gehalten in de ondergrond (Lexmond en Edelman, 1992; De Wilde et al., 1992). Met name voor metalen die essentieel zijn voor het functioneren van de plant (zie 2.4) kan verwacht worden dat de opname relatief hoger zal zijn bij lagere totaalgehalten in de bodem dan bij hogere gehalten. De inschattingen in dit project zijn gericht op totaalgehalten in de bodem die als verontreinigend moeten worden beschouwd, maar nog niet als fytotoxisch (zie Bijlage 6) omdat bij dit laatste niveau de kans

op consumptie van het gewas is verminderd (door verminderde opbrengsten en aantrekkelijkheid voor consumptie).

## 5.2 Resultaten van berekening van coëfficiënten

In de volgende paragrafen zijn de bepaalde Freundlich coëfficiënten per metaal weergegeven. Sommige coëfficiënten zijn niet te bepalen (in onderstaande tabellen weergegeven met : -). Redenen zijn dat te weinig spreiding in de verklarende parameter aanwezig is bij de meetpunten of dat er voor het gewas überhaupt weinig meetpunten zijn. In het laatste geval is de keuze van de coëfficiënten willekeurig (bijv. weglaten van coëfficiënt d of e is even goed). Dit komt in diverse mate voor bij Cd, Cu, Ni, (Pb), Zn. (Bij Pb valt dit probleem na de uiteindelijke selectie van gewassen met significante relaties weer weg.)

In paragraaf 5.3 is een overzicht gegeven van de significantie van de relaties. Niet-significante relaties zijn niet in de vervolg berekeningen gebruikt.

### 5.2.1 Arseen

*Tabel 5.1: As, Overzicht resultaten lineaire regressie ter berekening Freundlich-coëfficiënten*

As	a (cst)	SE a	b (logQ)	SE b	c pH	SE c	d (logOC)	SE d	e (logL)	SE e	R <sup>2</sup>
Aard- appelen	-1.1	0.4	-0.0	0.2	0.01	0.08	-0.4	0.2	-0.13	0.18	0.07
Wortelen	-0.93	0.23	0.32	0.11	0.01	0.04	0.11	0.08	-0.11	0.06	0.3
Spinazie	-0.84	0.17	0.17	0.07	0.00	0.03	0.11	0.08	-0.11	0.06	0.10

SE: standaarddeviatie

cursief: coëfficiënt is niet significant van nul verschillend (*t*-toets)

### 5.2.2 Cadmium

*Tabel 5.2: Cd, Overzicht resultaten lineaire regressie ter berekening Freundlich-  
coëfficiënten*

Cd	a (cst)	SE a	b (logQ)	SE b	c pH	SE c	d (logOC)	SE d	e (logL)	SE e	R <sup>2</sup>
Aard- appelen	-0.86	0.34	0.36	0.07	0.06	0.05	-0.13	0.14	-0.27	0.12	0.35
Rode bieten	1.9	1.2	0.37	0.09	-0.18	0.10	-0.30	0.23	-0.8	0.4	0.34
Wortelen	0.74	0.23	0.45	0.07	-0.16	0.03	0.20	0.13	0.09	0.08	0.50
Radijs	0.0	0.6	0.12	0.42	-0.32	0.58	-	-	-	-	0.22
Prei	0.7	0.9	0.31	0.08	-0.20	0.08	-0.29	0.20	-0.0	0.3	0.36
Tomaten	2	5	0.1	0.4	-0.3	0.6	-	-	-	-	0.22
R&w kool	12	44	0.6	1.5	-0.6	2.1	17	59	-	-	0.11
Boerenk ool	1.0	0.9	0.39	0.07	-0.14	0.08	-0.5	0.2	-0.4	0.3	0.58
Spinazie	1.3	0.3	0.28	0.16	-0.22	0.04	-0.64	0.13	0.37	0.09	0.34
Kropsla	1.0	0.6	0.28	0.05	-0.18	0.05	-0.19	0.15	0.16	0.20	0.30
Andijvie	0.0	1.1	0.42	0.09	-0.10	0.11	0.1	0.3	0.3	0.3	0.28
Bonen	11	6	0.13	0.14	-0.13	0.15	-0.1	2.1	-9	5	0.85

cursief: coëfficiënt is niet significant van nul verschillend

### 5.2.3 Koper

Tabel 5.3: Cu, Overzicht resultaten lineaire regressie ter berekening Freundlich-coëfficiënten

Cu	a (cst)	SE a	b (logQ)	SE b	c pH	SE c	d (logOC)	SE d	e (logL)	SE e	R <sup>2</sup>
Aard- appelen	2.8	1.2	0.2	0.5	-0.00	0.08	-4.2	2.7	-	-	0.93
Wortelen	0.6	0.8	1.3	1.2	-0.2	0.2	-	-	-	-	0.29
Tomaten	1.0	0.4	0.2	0.5	-0.01	0.09	-	-	-	-	0.16
R&w kool	1 3	0.7	1.2	-0.07	0.20	-2	7	-	-	-	0.24
Kropsla	0.1	0.6	0.9	0.8	-0.05	0.13	-	-	-	-	0.52
Bonen	6.6	1.4	0.0	0.2	-0.06	0.03	0.05	0.5	-4.5	1.2	0.98

cursief: coëfficiënt is niet significant van nul verschillend

### 5.2.4 Kwik

Tabel 5.4: Hg, Overzicht resultaten lineaire regressie ter berekening Freundlich-coëfficiënten

Hg	a (cst)	SE a	b (logQ)	SE b	c pH	SE c	d (logOC)	SE d	e (logL)	SE e	R <sup>2</sup>
Aard- appelen	-0.8	0.9	0.07	0.21	-0.18	0.13	-0.3	0.3	0.1	0.3	0.03
Wortelen	-1.67	0.14	0.13	0.04	0.03	0.02	0.02	0.07	-0.10	0.04	0.16
Spinazie	-2.1	0.6	0.10	0.14	0.05	0.10	0.5	0.3	0.3	0.2	0.12

cursief: coëfficiënt is niet significant van nul verschillend

### 5.2.5 Nikkel

Tabel 5.5: Ni, Overzicht resultaten lineaire regressie ter berekening Freundlich-coëfficiënten

Ni	a (cst)	SE a	b (logQ)	SE b	c pH	SE c	d (logOC)	SE d	e (logL)	SE e	R <sup>2</sup>
Aard- appelen	-1.7	0.9	-0.0	0.8	-	-	2.9	2.7	-	-	0.38
Wortelen	-5.9	1.9	4.2	1.4	-	-	-	-	-	-	0.70
Tomaat	-2.5	2.0	1.7	1.4	-	-	-	-	-	-	0.26
R&w kool	-2.7	1.0	3.3	0.9	-	-	-5	3	-	-	0.81
Sla	-1.1	1.1	0.7	0.8	-	-	-	-	-	-	0.17
Bonen	6.1	2.0	-4.0	1.4	-	-	-	-	-	-	0.8

cursief: coëfficiënt is niet significant van nul verschillend

## 5.2.6 Lood

Tabel 5.6: Pb, Overzicht resultaten lineaire regressie ter berekening Freundlich-coëfficiënten

Pb	a (cst)	SE a	b (logQ)	SE b	c pH	SE c	d (logOC)	SE d	e (logL)	SE e	R <sup>2</sup>
Aard- appelen	-2.0	0.3	0.67	0.06	0.12	0.05	-0.02	0.12	-0.50	0.11	0.67
Rode bieten	0.5	1.5	0.75	0.19	-0.08	0.11	-0.64	0.18	-1.2	0.4	0.47
Wortelen	-0.64	0.20	0.56	0.07	-0.04	0.03	-0.16	0.11	-0.03	0.07	0.40
Radix	1.8	0.6	0.25	0.19	-0.27	0.09	-0.3	0.3	-0.50	0.22	0.28
Uien	-1	3	0.4	0.4	0.1	0.3	-	-	-	-	0.12
Prei	0.8	0.9	0.5	0.1	-0.12	0.07	-0.61	0.16	-0.57	0.26	0.41
Tomaat	-2	3	-1.2	0.8	0.4	0.5	-	-	-	-	0.51
R&w kool	7	5	0.6	0.3	-0.30	0.18	-3.1	1.2	-5	4	0.93
Boeren- kool	2.0	0.8	0.29	0.09	-0.11	0.07	-0.62	0.14	-0.65	0.24	0.48
Sla	-0.60	0.23	0.90	0.11	-0.07	0.03	-0.34	0.14	-0.19	0.08	0.36
Andijvie	1.9	1.0	0.52	0.13	-0.17	0.07	-0.68	0.15	-0.8	0.3	0.42
Spinazie	-0.12	0.35	0.36	0.14	-0.03	0.05	0.25	0.14	-0.23	0.09	0.34
Bonen	3.2	1.5	-0.1	0.6	-0.2	0.4	-5.3	2.2	-	-	0.83

cursief: coëfficiënt is niet significant van nul verschillend

## 5.2.7 Zink

Tabel 5.7: Zn, Overzicht resultaten lineaire regressie ter berekening Freundlich-coëfficiënten

Zn	a (cst)	SE a	b (logQ)	SE b	c pH	SE c	d (logOC)	SE d	e (logL)	SE e	R <sup>2</sup>
Aard- appelen	3.0	1.6	0.33	0.06	-0.04	0.05	0.5	0.6	-2.1	1.6	0.96
Wortelen	1.9	0.9	0.2	1.7	-0.1	0.5					0.08
Tomaat	3	3	5	6	1.2	1.8	-	-	-	-	0.19
R&w kool	1.1	2.2	0.1	0.7	0.02	0.22	-0	4	-	-	0.29
Sla	2.0	0.9	0.9	1.7	-0.3	0.5	-	-	-	-	0.11
Bonen	2.2	0.3	0.19	0.20	-0.13	0.06	0.3	0.5	-	-	0.10

cursief: coëfficiënt is niet significant van nul verschillend

### 5.3 Overzicht significantie van relaties per gewas

In bovenstaande tabellen staan coëfficiënten cursief indien niet significant van nul verschillend. Hieronder is met de F-test per parameter getest of de relatie voor de betreffende parameter significant kan worden bepaald. Bij F-overall is getest of de resulterende relatie gezien aantal parameters, vrijheidsgraden en correlatiecoëfficiënt als significant kan worden beschouwd.

*Tabel 5.8: Overzicht significantie van gevonden relaties lineaire regressie Freundlich isotherm*

		F: log (Q)	F: pH	F: OC%	F: L%	residual SE log(C- plant)	initial SE log(C- plant)	ver- klaarde variantie [%]	R <sup>2</sup>	F: ove rall	n
<b>As</b>	Aardappelen	0	1	1	1	0.290	0.295	3	0.07	0	90
	Spinazie	1	1	1	1	0.143	0.147	5	0.10	0	80
	Wortelen	1	1	1	1	0.242	0.281	26	0.30	1	100
<b>Cd</b>	Aardappelen	1	0	1	1	0.114	0.354	90	0.35	1	103
	Rode bieten	1	1	0	1	0.014	0.255	100	0.34	1	67
	Wortelen	1	1	1	1	0.030	0.393	99	0.50	1	112
<b>Cr</b>	Radijs	1	1	1	-	0.0007	0.378	100	0.998	1	8
	Prei	1	1	1	0	0.018	0.213	99	0.36	1	68
	Tomaten	1	0	-	-	0.045	0.266	97	0.22	0	6
<b>Hg</b>	R&w kool	0	0	0	-	0.128	0.813	98	0.11	0	7
	Boerenkool	1	1	1	1	0.010	0.218	100	0.58	1	58
	Spinazie	1	1	1	1	0.022	0.281	99	0.34	1	86
<b>Ni</b>	Kropsla	1	1	1	1	0.020	0.269	99	0.30	1	125
	Andijvie	1	1	0	1	0.025	0.324	99	0.28	1	93
	Bonen	0	1	1	1	0.015	0.450	100	0.85	1	13
<b>Pb</b>	Aardappelen	1	1	1	-	0.062	0.160	85	0.93	1	7
	Wortelen	0	1	-	-	0.151	0.139	-18	0.29	0	6
	Tomaten	1	0	-	-	0.068	0.058	-37	0.16	0	6
<b>Pb</b>	R&w kool	1	0	0	-	0.148	0.120	-52	0.24	0	7
	Sla	1	0	-	-	0.098	0.109	19	0.52	0	6
	Bonen	1	1	1	1	0.044	0.232	96	0.98	1	13
<b>Uen</b>	Aardappelen	0	1	0	1	0.526	0.522	-2	0.03	0	91
	Wortelen	1	1	0	1	0.142	0.142	0	0.16	1	97
	Spinazie	0	1	1	1	0.497	0.520	9	0.12	1	83
<b>Uien</b>	Aardappelen	1	-	1	-	0.173	0.179	7	0.38	0	7
	Wortelen	1	-	-	-	0.282	0.463	63	0.70	1	6
	Tomaten	1	-	0	0	0.301	0.314	8	0.26	0	6
<b>Uien</b>	R&w kool	1	-	1	-	0.189	0.349	71	0.81	1	7
	Sla	1	-	-	-	0.161	0.158	-4	0.17	0	6
	Bonen	1	-	-	-	0.257	0.473	70	0.80	0	4
<b>Uien</b>	Aardappelen	1	0	1	1	0.259	0.444	66	0.67	1	113
	Rode bieten	1	1	1	1	0.250	0.334	44	0.47	1	75
	Wortelen	1	1	1	0	0.259	0.330	38	0.40	1	124
<b>Uien</b>	Radijs	0	1	1	1	0.659	0.726	18	0.29	0	33
	Uien	1	0	-	-	0.150	0.139	-16	0.12	0	9
	Prei	1	1	1	1	0.154	0.194	37	0.41	1	68
<b>Uien</b>	Tomaten	1	1	-	-	0.417	0.461	18	0.51	0	6
	R&w kool	1	1	1	1	0.197	0.606	89	0.93	1	14

		F: log (Q)	F: pH	F: OC%	F: L%	residual SE log(C- plant)	initial SE log(C- plant)	ver- klaarde variantie [%]	R <sup>2</sup>	F: ove rall	n
<b>vervolg tabel</b>											
<b>Pb</b>	Boerenkool	1	1	1	1	0.133	0.178	44	0.48	1	59
	Sla	1	1	1	1	0.308	0.392	38	0.36	1	156
	Andijvie	1	1	1	1	0.193	0.248	39	0.42	1	89
	Spinazie	1	1	1	1	0.209	0.267	39	0.34	1	80
	Bonen	1	1	1	-	0.302	0.563	71	0.83	1	8
<b>Zn</b>	Aardappelen	1	0	1	1	0.089	0.362	94	0.96	1	12
	Wortelen	0	0	-	-	0.200	0.161	-54	0.07	0	6
	Tomaten	0	0	-	-	0.709	0.608	-36	0.19	0	6
	R&w kool	1	0	0	-	0.085	0.072	-39	0.29	0	7
	Sla	0	0	-	-	0.198	0.163	-48	0.11	0	6
	Bonen	1	1	0	0	0.096	0.114	29	0.47	0	13

$R^2$  = correlatiecoëfficiënt, significantie bepaald met F-test (5% eenzijdige overschrijdingskans), het resultaat hiervan is weergegeven met F-test=1: correlatie significant, F-test=0 : correlatie niet significant (afh. van aantal meetpunten)  
grijs: in vervolg niet te gebruiken relaties (zie onderstaande toelichting)

De F-test toetst op significantie van een gevonden lineaire relatie op basis van de correlatiecoëfficiënt en het aantal meetpunten. Dit kan betekenen dat een correlatie  $R^2=0,8$  is verworpen bij 4 meetpunten, maar ook dat een correlatie van  $R^2=0,28$  bij 93 meetpunten nog als significant verschillend wordt gezien van een random verdeling van getallen (met 95% zekerheid).

Bij o.a. Zn is verrassend dat de residual SE soms groter is dan de initial SE. Dit komt door het verminderd aantal vrijheidsgraden bij het kleine aantal meetpunten in deze gevallen.

Dat bonen bij Ni in de F-test overall wegvalt, ondanks de hoge correlatiecoëfficiënt ligt aan het geringe aantal meetpunten (4).

Bij Hg komen voor wortelen en spinazie (0% en 9%) na uitsluitend toepassen van een F-toets nog erg lage verklaarde varianties voor. De correlatiecoëfficiënt en dus ook de F-test zijn alleen geschikt om te zien of de punten niet random verdeeld zijn. Er kunnen nog allerlei andere dingen aan de hand zijn die niet zichtbaar zijn in deze testen. Voorgesteld wordt ook deze te verwijderen. Dit betekent dus dat er een **extra** voorwaarde werd toegepast: naast de **significantie van de correlatiecoëfficiënt** moet ook de **verklaarde variantie substantieel** zijn. (zeg > 10%). De minimum correlatiecoëfficiënt waarvoor nog een regressielijn wordt gebruikt is dan 0,28 (bij 93 meetpunten).



## 6. Modelleren generieke consumptiegemiddelde BCF per metaal

### 6.1 Consumptiegemiddelde

Op basis van de verzamelde gegevens in hoofdstukken 4 en 5 worden achtereenvolgens de generieke BCF-waarden voor het CSOIL-model berekend en wordt ingegaan op de modelleren van de BCF voor actuele risico's. In beide gevallen wordt een consumptiegemiddelde waarde gebruikt, waarbij de geconsumeerde hoeveelheden zijn omgerekend van versgewicht naar drooggewicht (omdat de BCF-waarden ook op basis van drooggewicht zijn bepaald). Hierbij zijn de volgende waarden voor geconsumeerde hoeveelheden, vochtgehalten (voor verse, rauwe, niet bereide gewassen) en resulterende weegfactoren gehanteerd.

Tabel 6.1: Weegfactoren per gewas voor berekening consumptiegemiddelde BCF

	gewasgroep	gewas	Consumptie versgewicht [g ww pppd]	Vochtgehalte (*) [% w/w]	Consumptie droge stof [g dw pppd]	weeg-factor per groep [%]	weeg-factor per gewas [%]
0	aardappelen	aardappelen	179,68	83,3	30,01	61,6	61,6
1	wortel en knolgewassen	Rode bieten	5,15	87,3	0,65	5,1	1,3
		Wortelen	13,43	87,8	1,64		3,4
		Selderij-knol	0,78	88	0,09		0,2
		Koolraap	0,81	91,9	0,07		0,1
		Radijs	0,43	94,8	0,02		0,05
		Winterpeen	0,16	(87,8)	0,02		0,04
2	bolgewassen	uien	17,01	90,8	1,56	7,7	3,2
		prei	12,86	83	2,19		4,5
3	vruchtgewassen	tomaat	26,07	94	1,56	5,0	3,2
		komkommer	8,03	96,1	0,31		0,6
		meloen	2,23	89,7	0,23		0,5
		maïskolf	1,41	76	0,34		0,7
4	kool	bloemkool	16	92,3	1,23	7,6	2,5
		spruitjes	4,66	86	0,65		1,3
		witte kool	6,98	95,3	0,33		0,7
		rode kool	5,13	91,6	0,43		0,9
		spitskool	2,03	95,3	0,10		0,2
		boerenkool	4,93	84,5	0,76		1,6
		broccoli	1,98	90,7	0,18		0,4
5	bladgroenten	sla	8,48	95,4	0,39	4,4	0,8
		andijvie	7,42	93,8	0,46		0,9
		spinazie	10,42	91,6	0,88		1,8
		witlof	9,17		0,43		0,9
6	verse peulvruchten	sperziebonen	11,66	90,3	1,13	6,9	2,3
		snijbonen	3,14	(90,3)	0,30		0,6
		tuinbonen	2,5	(88,9)	0,28		0,6
		tuinerwten	14,78	88,9	1,64		3,4
7	bonen	witte	0,89	77,072	0,20	1,2	0,4

	gewasgroep	gewas	Consumptie versgewicht [g ww pppd]	Vocht- gehalte (*) [% w/w]	Consumptie droge stof [g dw pppd]	weeg- factor per groep [%]	weeg- factor per gewas [%]
		bonen					
		bruine bonen	1,76	77,072	0,40		0,8
8	stengelgroenten	rabarber	0,71	93,6	0,05	0,4	0,1
		asperge	1,74	92,3	0,13		0,3

(\*)uit: EPA Exposure factors Handbook 1997 p9-41 (rauw), tussen haakjes geschatte waarden

Een alternatief zou zijn om de meest kritische gewassen als maatgevend te nemen (zie 4.3).

## 6.2 Uitgangspunten berekening generieke BCF

Uit hoofdstuk 5 is duidelijk geworden dat de BCF afhankelijk is van bodemgehalte en van bodemtype. De afhankelijkheden kunnen echter niet altijd even goed bepaald worden. Bij de berekening zijn verschillende uitgangspunten mogelijk:

- maximaal gebruik van beschikbare informatie: alle gebruikte relaties worden gebruikt en zonodig geëxtrapoleerd, voor ontbrekende trends worden inschattingen gedaan, bijv. op basis van andere gewassen;
- maximaal gebruik van afgeleide relaties: alle afgeleide relaties geven informatie en worden dus gebruikt, er wordt ook geëxtrapoleerd buiten het experimentele traject (minimum, maximum van dataset) van bodemparameters en concentraties;
- beperking geldigheid relaties: alle afgeleide relaties worden gebruikt maar extrapolaties buiten het experimentele traject van bodemparameters en concentraties worden niet toegestaan;
- strenge afleiding: alleen significante relaties gebruiken, met afkappen i.p.v. extrapolaties en in het geval van niet-significante relaties deze negeren en overgaan op schattingen voor de gemiddelde BCF.

Door Bockting en Van den Berg is voor de generieke BCF (a) als strategie gevuld gezien het gebrek aan beschikbare informatie. Voor het UMS systeem is (a) als uitgangspunt genomen bij het bepalen van de bodemtype afhankelijkheid van de BCF van gewassen. Huinink, 1999, die meer relevante gegevens heeft verzameld, heeft uitgangspunt (b) gevuld. Binnen dit project is het uitgangspunt verschoven van (a) in het stadium van weinig beschikbare gegevens naar (c) en (d). In de volgende paragrafen zullen met name de consequenties van de uitgangspunten (b), (c) en (d) worden toegelicht bij berekening uit de in dit project verzamelde gegevens.

Uitgangspunt bij de berekening van de generieke BCF-waarde in dit rapport is dat zoveel mogelijk rekening dient te worden gehouden met het bodemtype en het bodemgehalte waarvoor de BCF dient te worden bepaald. Dit betekent dat een gemiddelde (zoals bepaald in hoofdstuk 4; rekenkundig, geometrisch of mediaan) niet voldoet, maar dat relaties zoals in hoofdstuk 5 worden gebruikt om de waarde bij het gewenste bodemtype en -gehalte te berekenen. Hierbij speelt een aantal problemen:

- (I) niet voor alle gewassen zijn relaties beschikbaar;
- (II) de geldigheidsrange (reikwijdte van bodemgehalte en bodemtypeparameters) loopt uiteen;
- (III) de correlatiecoëfficiënten van de lineaire regressielijnen zijn in het algemeen laag, sommige relaties hebben een geringe significantie.

Hiermee is als volgt omgegaan:

- (I) Bij alle gerapporteerde metalen waren gegevens over aardappelen beschikbaar, dit gewas bepaalt de generieke BCF voor meer dan 60%. De overige gewassen zijn ingedeeld in groepen met vergelijkbaar karakter. De beschikbare gewassen binnen deze groep zijn gebruikt voor een inschatting voor de gehele groep. Hiermee komt de dekkingsgraad van het consumptiekarakter uit tussen 70% (As, Ni) en 85% (Cd, Pb).
- (II) Extrapolaties buiten de range van de verklarende parameters van beschikbare data kan zeer onzekere resultaten opleveren. In dit rapport zijn steeds de 5- en 95-percentiel waarden van de dataset als grenswaarden van de geldigheidsrange aangenomen. bijv. als Q5 en Q95 de 5- en 95-percentiel-waarden van de dataset zijn voor het totaalgehalte in de bodem, dan zijn de volgende inschattingen voor de BCF gebruikt: als  $Q \leq Q5$   $BCF(Q) = BCF(Q5)$ , als  $Q \geq Q95$  dan  $BCF(Q) = BCF(Q95)$ , als  $Q5 \leq Q \leq Q95$  dan wordt de  $BCF(Q)$  berekend met het afgeleide model. In het algemeen is de Q95 kleiner dan de interventiewaarde en neemt de BCF af met Q. Gevolg is dat de  $BCF(Q95)$  voor  $Q > Q95$  groter zal zijn dan de werkelijke BCF. Het is voor  $Q > Q95$  dus als een "worst case" overschatting te beschouwen (zie Figuur 9.1.1). In eerste instantie zijn per metaal de 5- en 95-percentielen van de gehele dataset als grenswaarden van de geldigheidsrange genomen voor Q, pH, OC% en L% (zie 4.2). In tweede instantie zijn deze percentielen per metaal en per gewas bepaald en gebruikt (zie bijlage 3).
- (III) In hoofdstuk 5.3 is per afgeleide lineaire relatie de significantie van de correlatie gegeven (afhankelijk van correlatiecoëfficiënt en aantal meetpunten in eenzijdige 5% F-toets) en de verklaarde variantie. Volgens uitgangspunt (c) zouden alle relaties tenminste enige informatie geven en gebruikt worden (zie ook bijkomende argumentatie in 6.3), maar volgens uitgangspunt (d) zijn alle niet-significante relaties niet bruikbaar. Gezien de schaarste aan data met goede beschrijvende parameters is het niet raadzaam veel gegevens te verwerpen. In het laatste geval worden de niet-significante relaties vervangen door een gemiddelde waarde voor het gewas (aangezien de waarden meestal lognormaal verdeeld zijn wordt een geometrisch gemiddelde gebruikt als schatter voor de mediaan). De variatie in de BCF in de relaties afgeleid volgens (c) worden afgezwakt in de relaties volgens (d).

### 6.3 Oorzaken variaties in BCF, discussie correlatie-coëfficiënten

De berekening van de regressie lijnen voor de diverse gewassen levert vaak lage correlatie-coëfficiënten. Het is echter bekend dat er naast de variaties met gewas, totaalgehalte bodem en bodemtype (waarmee rekening is gehouden) in principe veel meer variaties zijn met niet in beschouwing genomen parameters, zoals: hoeveelheid zon, regen, tijdstip van oogsten, bewortelingsdiepte, ijzer- en aluminium gehalten, distributie van verontreiniging, type verontreinigende matrix, ras van het gewas, afspoelen van aanhangende bodemdeeltjes voor de metaalanalyse, wijze van ontsluiting van het metaal bij analyse. Variaties hierin geven ruis op de metingen en onzekerheid in de afgeleide relaties.

Voor de generieke aanpak beperken we ons desondanks tot variaties als gevolg van gewas, bodemtype en totaalgehalte bodem. De belangrijkste reden hiervoor is dat beschrijvende parameters bovengenoemde oorzaken van variaties niet systematisch beschikbaar zijn bij de in de literatuur beschikbare gegevens.

Om bij een generieke aanpak een bruikbaar gemiddelde te verkrijgen zouden de meetpunten t.o.v. bovengenoemde oorzaken van variaties voldoende representatief moeten zijn, dwz. met voldoende variaties in verontreinigingssituaties, seizoensinvloeden e.d. Het gevolg daarvan

zou zijn dat bij een bepaald bodemtype en totaal gehalte van de verontreiniging in de bodem meerdere uitslagen mogelijk zijn. Dit betekent dat voor zo'n gemiddelde representatieve situatie de correlatiecoëfficiënt niet te hoog mag zijn, want als de correlatiecoëfficiënt dicht bij één ligt betekent dit dat de velddata over een te beperkte range van situaties of verontreinigingstypen zijn gemeten. Een hoge correlatiecoëfficiënt kan ook weergeven dat 2 groepen data met verschillend karakter zijn te onderscheiden (inhomogene dataset). Kortom een hoge correlatiecoëfficiënt kan ook verdacht zijn.

Om een goede fysische beschrijving te maken zouden meer gecontroleerde experimenten de voorkeur verdienen boven velddata. Echter, eer op basis van dergelijke experimenten het gedrag in het veld kan worden beschreven is nog een lange weg te gaan. Deze rapportage beschrijft in afwachting hiervan slechts een voorlopige generieke oplossing ten dienste van de risico-analyse voor verontreinigde bodems.

## 6.4 Generieke BCF-waarden bij interventiewaarde en standaardbodem

In eerste instantie was dit project gericht op afhankelijkheid van de generieke BCF van organisch stofgehalte en lutumgehalte in de bodem. Uit de literatuurgegevens bleek echter dat een correctie op totaalgehalte bodem en pH voor metalen meer voor de hand lag. In het onderstaande zijn alle vier verklarende parameters meegenomen.

De generieke BCF-waarden worden gebruikt op een concentratieniveau (totaalgehalte in de bodem) rond de huidige interventiewaarden. Anderzijds zijn de interventiewaarden gebaseerd op een vroegere inschatting van de BCF-waarden en kan een wijziging van de BCF-waarde een wijziging van de interventiewaarde tot gevolg hebben. Hier worden BCF-waarden gegeven bij de huidige interventiewaarde. Met behulp van het model van hoofdstuk 7 kan de BCF ook voor een gewijzigde interventiewaarde worden berekend. In een model met afkapgrenzen lager dan de interventiewaarden maakt dit in de praktijk echter niet uit. In deze paragraaf zijn afkapgrenzen per gewas toegepast (volgens bijlage 3)

*Tabel 6.2: Generieke BCF waarden zonder extrapolatie naar interventiewaarden of standaardbodems*

	Geometrisch gemiddelde	Modelberekening bij medianen van Q en bodemtype- parameters  (alle relaties)	Modelberekening bij medianen van Q en bodemtype- parameters  (niet-significante relaties vervangen door geometrisch gemiddelden)	Waarden van Bockting en Van den Berg
As	0.009	0.011	0.006	0.021
Cd	0.51	0.41	0.48	0.37
Cu	0.32	0.47	0.40	0.10
Hg	0.15	0.17	0.15	0.02
Ni	0.025	0.031	0.025	0.082
Pb	0.009	0.026	0.025	0.013
Zn	0.22	0.21	0.21	0.22

*Tabel 6.3: Generieke BCF-waarden gecorrigeerd voor het gewenste concentratiebereik, rond de interventiewaarden*

	Modelberekening bij Interventiewaarden en medianen bodemtype parameters dataset (b. alle relaties-extrapolatie bodemconcentratie)(**)	Modelberekening bij Q95/IW (*) per metaal en medianen bodemtypeparameters (c. alle relaties - afkappen bodemconcentratie bij Q95) (**)	Modelberekening bij Q95/IW (*) en medianen bodemtypeparameters (d. niet-significante relaties vervangen door geometrisch gemiddelden, overige relaties afkappen bij Q95)
As	0,004	0,004	0,009
Cd	0,37	0,17	0,32
Cu	4,2	0,35	0,33
Hg	0,08	0,06	0,15
Ni	0,14	0,02	0,03
Pb	0,03	0,02	0,02
Zn	0,15	0,11	0,18

(\*) minimum van Q95 en IW (alleen bij Zn is Q95 > IW)

(\*\*) niet gebruikt rode en witte kool bij Cd, wortelen bij Ni en tomaat bij Zn

In Tabel 6.3 zijn de uitgangspunten b, c, d van 6.2 gebruikt. Bij Cu is de sterke afwijking in de eerste kolom van Tabel 6.3 het gevolg van een extrapolatie buiten het geldigheidsbereik voor aardappelen. Andere sterke afwijkingen die duidelijk door extrapolatiefouten werden veroorzaakt zijn spaarzaam (zie \*\*) verwijderd. Het is bekend uit de literatuur (Lübben en Sauerbeck, 1991; Bechtel Jacobs, 1998; zie hoofdstuk 8) dat het plantgehalte met de concentratie toeneemt maar de BCF met de concentratie afneemt. Dit is voor de Freundlich relatie alleen juist als  $0 < b < 1$ . Dit is ook meestal gevonden, behalve in enkele gevallen met een grote standaarddeviatie (zie hoofdstuk 5.2). Extrapolaties buiten het geldigheidsbereik Q5-Q95 van de relaties kunnen tot grote afwijkingen leiden en dienen verworpen te worden. Afkappen zodat  $BCF(Q) = BCF(Q95)$  als  $Q > Q95$  is aan te bevelen (met Q95 de 95-percentiel van de dataset).

Binnen de geldigheidsrange van de dataset neemt de BCF wel af: de tweede kolom bij Q95/IW is altijd lager dan het geometrisch gemiddelde (zie voorgaande Tabel 6.2), alleen blijken extrapolaties buiten de dataset tot minder aannemelijke waarden te leiden: in Tabel 6.3 zijn de waarden voor de tweede kolom in het algemeen lager dan van de eerste kolom, wat niet het geval zou zijn als de extrapolatie naar grotere Q tot een lagere BCF zou leiden. De waarden in de derde kolom zijn hoger omdat het geometrisch gemiddelde in het algemeen hoger uitkomt dan de modelberekening bij Q95/IW.

De generieke BCF dient te worden ingeschat voor standaardbodem. Dit is een probleem omdat de waarde van de bodemtypeparameters voor de huidige standaardbodem (namelijk pH = 6, OC% = 5,8 en L% = 25) buiten de range van de bodemtypeparameters van de dataset ligt (zie Tabel 4.30) en dit dus niet kan zonder extrapolatie. Een standaardbodem met bodemtype-parameters dichter bij het gemiddelde van de datasets (pH = 7, OC% = 2,5, L% =

12,7; zie 4.4.3) zou voorkeur verdienen. Er is een nieuwe standaardbodem voorgesteld (Otte et al., 2001), dichter bij de gemiddelde Nederlandse bodem, met een “realistic worst case” benadering voor de pH, namelijk: pH= 5, OC% = 2,9 en L% = 15. Hierbij zijn minder extrapolaties vanuit de dataset nodig, zoals blijkt in onderstaande Tabel 6.4. De nieuwe standaardbodem is echter nog niet algemeen geaccepteerd.

In grijs de waarden die bij extrapolatie worden gebruikt bij aanhouden van percentielen van gehele dataset per metaal (in uiteindelijke berekeningen zijn waarden per metaal en per gewas gebruikt).

*Tabel 6.4: Overzicht afkapwaarden voor parameters die het bodemtype karakteriseren, uit dataset per metaal op basis van Tabel 4.30*

	huidige standaardbodem			voorgestelde standaardbodem		
	pH	OC%	L%	pH	OC%	L%
standaardbodem	6	5.8	25	5	2.9	15
As	6	3.7	25	5.1	2.9	15
Cd	6	5.8	25	5.4	2.9	15
Cu	6	3.5	16	5.2	2.9	15
Hg	6	3.7	25	5.1	2.9	15
Ni	6.8	3.7	16	6.8	2.9	15
Pb	6	5.8	25	5.0	2.9	15
Zn	6	2.9	16	5.2	2.9	15

Voor Ni dienen de resultaten met voorzichtigheid te worden beschouwd daar alle beschikbare meetwaarden bij pH=6.8 zijn gemeten. Het is waargenomen dat de opname van nikkel sterk door de pH wordt beïnvloed (Davis, 1984)

*Tabel 6.5: Generieke BCF-waarden gecorrigeerd voor het gewenste concentratiebereik tot Q95/IW (geen extrapolaties) en gecorrigeerd voor standaardbodem*

		huidige standaardbodem en Q95/IW			voorgestelde standaardbodem en Q95/IW		
	Geometrisch gemiddelden (A)	Model met extrapolaties bodemtype-parameters (B)	Model met afkap-grenzen (C)	Ge-mengd (*) (A) en (C)	Model met extrapolaties bodemtype-parameters (B)	Model met afkap-grenzen (C)	Gemengd (*) (A) en (C)
As	0.009	0.004	0.003	0.009	0.004	0.004	0.009
Cd	0.51	0.19	0.15	0.31	0.32	0.19	0.35
Cu	0.32	0.11	0.20	0.20	0.39	0.34	0.33
Hg	0.15	0.08	0.08	0.15	0.10	0.09	0.15
Ni	0.025	0.06	0.025	0.028	0.02	0.022	0.030
Pb	0.009	0.022	0.017	0.017	0.029	0.020	0.020
Zn	0.22	0.23	0.12	0.18	0.39	0.13	0.18

(\*) niet-significante relaties vervangen door geometrisch gemiddelden

In Tabel 6.5 wordt een indruk gegeven van de consequenties van het afkappen bij de huidige en de voorgestelde standaardbodem. Behalve bij (A) zijn voor het totaalgehalte in de bodem steeds afkapgrenzen gehanteerd en er is gevarieerd in gebruik van afkapgrenzen en extrapolatie bij de bodemtypeparameters (steeds voor de relaties per gewas en op basis van een consumptiegemiddelde). Bij (B) zijn bodemtypeparameters zonder beperkingen geëxtrapoleerd met de in 5.2 gegeven relaties. Bij (C) zijn pH, OC% en L% afgekapt op 5- en 95-percentielwaarden van de dataset (per metaal en per gewas) als ze buiten dit traject vielen. Voor de huidige standaardbodem zijn de verschillen tussen (B) en (C) maximaal een factor 2 en bij de voorgestelde standaardbodem maximaal een factor 3. De extrapolaties lijken hier beter te rechtvaardigen dan bij het totaalgehalte in de bodem. Gezien de algemene onzekerheid in de extrapolaties wordt echter de voorkeur gegeven aan uitkomsten volgens (C). De uitkomsten van het gemengde model, met keuze voor een geometrisch gemiddelde bij niet-significante relaties, liggen tussen de waarden van (A) en (C) in. In deze berekening is een groot deel van de afhankelijkheid van bodemtype parameters weggevallen omdat deze bij (A) geen rol speelt. De waarden liggen dan in het algemeen iets hoger omdat de gebruikte geometrisch gemiddelden geen concentratiecorrectie hebben ondergaan en dus geldig zijn voor het gemiddelde van de dataset die in het algemeen lager ligt dan de interventiewaarde (of IW/Q95). De BCF-waarde daalt meestal met de toename van het totaalgehalte in de bodem. In de gevallen waar het resultaat voornamelijk is gebaseerd op geometrisch gemiddelden zijn ook de verschillen tussen beide bodemtypen gering.

De keuze tussen gebruik van BCF-waarden berekend volgens (B), (C) of een gemengd model van (A) en (C) hangt af van het standpunt ten opzichte van de gewenstheid alleen te gebruiken wat hard is aangetoond of te gebruiken wat plausibel is maar minder hard aangetoond (zie 6.2). In de rapportage over de inputparameters van het CSOIL-model voor een nieuwe berekening van de interventiewaarden (Lijzen et al., 2001, Otte et al., 2001) is gekozen voor het gemengde model.



## 7. BCF voor actuele risicoinschatting - invloed van bodem type

De eerste doelstelling van het project was om de variaties van de generieke BCF met het bodemtype in te schatten, bij totaalgehalten in de bodem op het niveau van de interventiewaarden. Uitgaande van de gegevens uit de hoofdstukken 4 en 5 is dit hieronder in 2 stappen gedaan.

De eerste stap (in 7.1) is om de consumptie-gemiddelde BCF te berekenen voor een aantal bodemtypen en bij een totaalgehalte bodem dat zo dicht mogelijk bij de interventiewaarde ligt en nog betrouwbaar is: het minimum van interventiewaarde en Q95. Hierbij is een rekenschema gebruikt met de relaties die voor de afzonderlijke gewassen per metaal zijn afgeleid, met weging op basis van de gemiddelde consumptie en afkapgrenzen per gewas per metaal.

De tweede stap (in 7.2) is de berekening van de Freundlich-coëfficiënten voor de resulterende reeks van generieke BCF-waarden. Dit metamodel (voor de generieke BCF in analogie met en op basis van de afzonderlijke gewassen) vereenvoudigt de berekeningen bij de risico-inschattingen maar kan geringe afwijkingen geven van het resultaat met het rekenschema. Afkapgrenzen en gewaskeuze die bij de opzet van het rekenschema een rol spelen zijn in de coëfficiënten van het metamodel verwerkt.

Aangezien de Q95 van de dataset meestal kleiner is dan de interventiewaarde is een berekening van variaties in de BCF met het totaalgehalte in de bodem op het niveau rond de interventiewaarden niet haalbaar met de huidige dataset.

### 7.1 Berekening bij range van Nederlandse bodemtypen

Alle berekeningen in deze paragraaf zijn bij een totaalgehalte in de bodem van Q95/IW. Ter illustratie zijn BCF-waarden berekend bij een aantal gestandaardiseerde bodemtypen.

*Tabel 7.1: Illustratieve range van Nederlandse bodemtypen*

	pH	OC %	OM %	L %
arm zand	5	1	1,7	1
zand	5,5	3	5,2	3
löss	6	3	5,2	10
voorgestelde standaard bodem	5	2,9	5,0	15
leem	6	4	6,9	16
klei	6,4	5	8,6	24
huidige standaardbodem	6	5,8	10,0	25
dalgrond	5	10	17,2	4
kleiig veen	5,4	15	25,9	35
veen	5	30	51,7	30

OC% = 1,72 \* OM%.

Hieronder zijn de uitkomsten van 3 rekenmodellen getabellleerd.

Tabel 7.2 berekening met beschikbare Freundlich-isothermen van alle gewassen, met extrapolatie van bodemtypeparameters buiten het meetraject,

Tabel 7.3 als Tabel 7.2, maar met afkappen op 5- en 95-percentielen van meetraject bodemtype-parameters

Tabel 7.4 als Tabel 7.3, maar met vervanging door geometrisch gemiddelde als de relatie niet significant is

De verschillen in de uitkomsten zijn geïllustreerd in Figuur 7.1.1 tot Figuur 7.1.3. Hierbij zijn de bodemtypen gerangschikt op de volgorde van toenemende gemiddelde BCF.

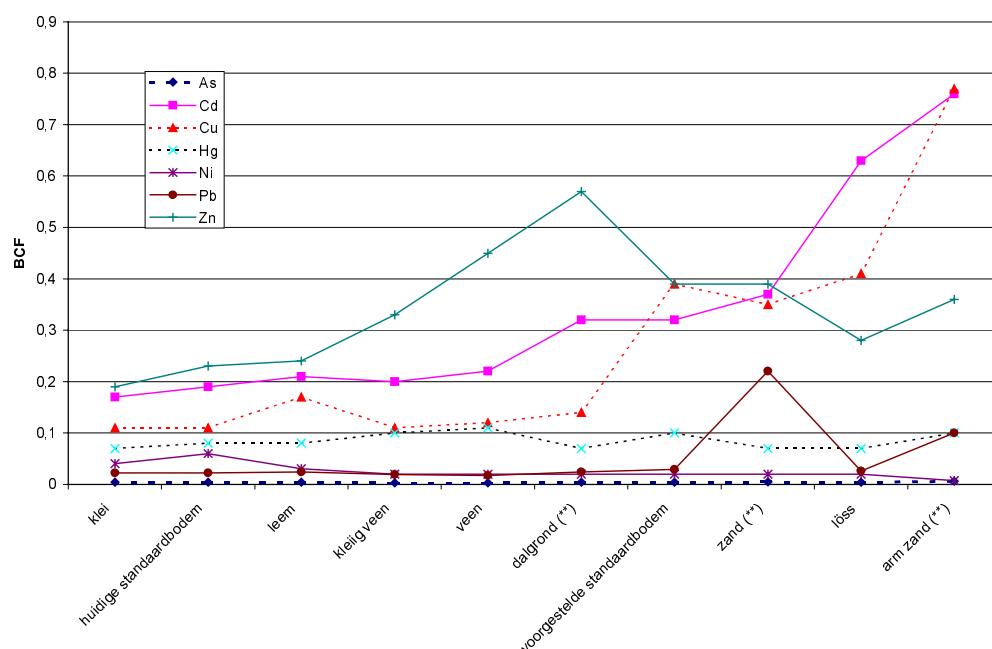
*Tabel 7.2: BCF waarden bij IW/Q95 berekend in model met extrapolatie bodemtypeparameters*

(*)	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
arm zand (**)	0.006	0.76	(0.77)	0.10	0.007	0.10	(0.36)
zand (**)	0.005	0.37	0.35	0.07	0.02	0.22	(0.39)
löss	0.004	0.63	0.41	0.07	0.02	0.026	0.28
<i>voorgestelde standaardbodem</i>	<b>0.004</b>	<b>0.32</b>	<b>0.39</b>	<b>0.10</b>	<b>0.02</b>	<b>0.029</b>	<b>0.39</b>
leem	0.004	0.21	0.17	0.08	0.03	0.024	0.24
klei	0.004	0.17	0.11	0.07	0.04	0.022	0.19
<i>huidige standaardbodem</i>	<b>0.004</b>	<b>0.19</b>	<b>0.11</b>	<b>0.08</b>	<b>0.06</b>	<b>0.022</b>	<b>0.23</b>
dalgrond (**)	0.004	0.32	0.14	0.07	(0.02)	0.024	(0.57)
kleig veen	0.003	0.20	0.11	0.10	(0.02)	0.019	0.33
veen	0.003	0.22	0.12	0.11	(0.02)	0.017	0.45

(\*) alle gronden: Cd zonder kool, Ni zonder wortelen, Zn zonder tomaat

(\*\*) arm zand/ zand / dalgrond : Cd en Cu zonder bonen, arm zand ook: Pb en Ni zonder kool

(getallen tussen haakjes) hierbij zijn de resultaten geschrapt van aardappelen en kool voor Cu, van aardappelen en sla van Zn en van aardappelen voor Ni.



*Figuur 7.1.1: BCF-waarden bij IW/Q95 voor diverse bodemtypen berekend met extrapolatie voor bodempараметers buiten geldigheidsrange dataset*

De grijze vakken in Tabel 7.1 geven aan dat in deze gevallen de geldigheidsrange van het model duidelijk wordt overschreden. Dit betekent dat de onzekerheid van extrapolatie groot is. Bij deze bodemtypen worden aanvullende metingen aanbevolen.

Voor een aantal gewassen worden bij extrapolatie, zoals bij de berekening voor deze tabel is toegepast, sterk afwijkende (en waarschijnlijk onrealistische) BCF-waarden gevonden. Dit zou kunnen samenhangen met onzekerheid in de coëfficiënten. Dit is nader onderzocht met Monte Carlo analyse met variaties op de gevonden coëfficiënten van de Freundlich-isothermen per gewas. Hierbij is gekeken naar de verhouding van 90-percentiel en mediaan van de uitkomsten. Het blijkt dat enkele gewassen er uit springen door een zeer ongunstige verhouding. Dit geldt met name voor de resultaten van kool, bonen en tomaat en bij Zn voor meerdere gewassen. Zie bijlage 5. De gewassen komen voor een groot deel overeen met de niet-significante relaties zoals bepaald in paragraaf 5.3. Bij Pb was minder duidelijk een zeer sterk afwijkende waarde voor een gewas aan te wijzen, maar de gevonden waarden voor zand en arm zand lijken niet betrouwbaar (zie ook 7.2).

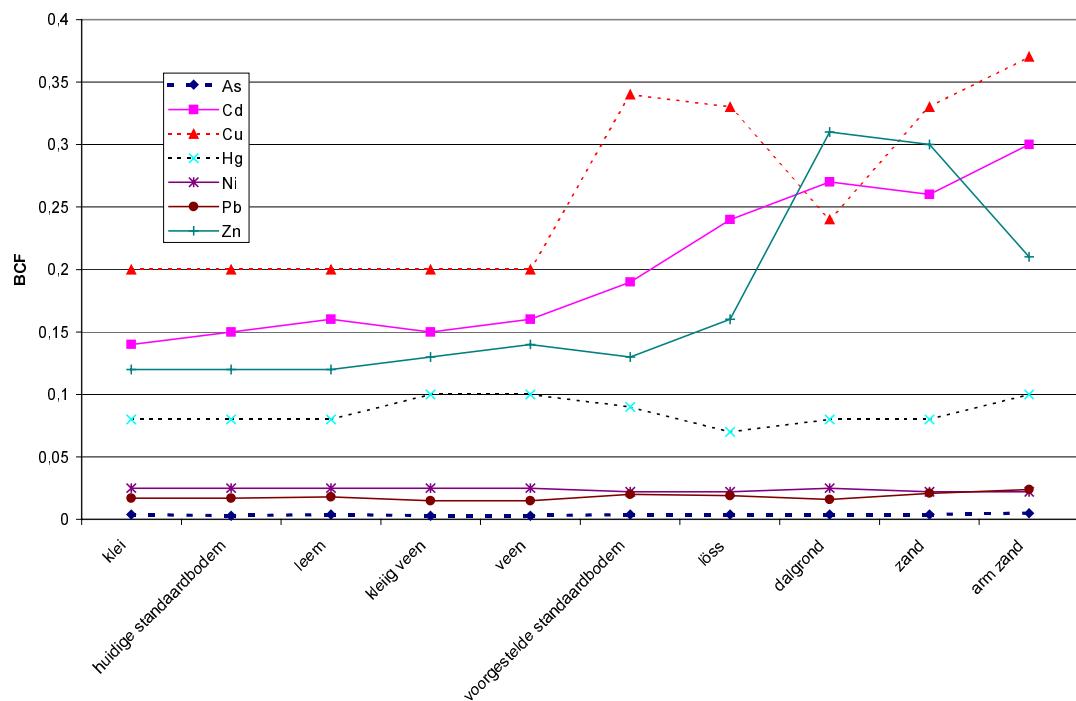
De rekenprocedure is aangepast door schrappen van uitkomsten van gewassen met door extrapolatie zeer sterk afwijkende waarden. Hoewel het schrappen van gewassen zo spaarzaam mogelijk is toegepast maakt het de berekening enigszins subjectief. Bij de volgende berekeningsmethoden, zonder extrapolaties, hebben afwijkende data minder invloed.

Bij de Tabel 7.3 en Tabel 7.4 zijn de bodemtypeparameters wel afgekapt, op 5- en 95-percentielen van de dataset per gewas (voor de waarden zie bijlage 3). In Tabel 7.3 zijn de uitkomsten voor slechts 2 gewassen geschrapt (kool bij Cd en tomaat bij Zn), in Tabel 7.4 zijn o.a. deze waarden vervangen door geometrisch gemiddelden.

*Tabel 7.3: BCF waarden bij IW/Q95 berekend in model met afkapgrenzen bodemtypeparameters*

	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
arm zand	0.005	0.30	0.37	0.10	0.022	0.024	0.21
zand	0.004	0.26	0.33	0.08	0.022	0.021	0.30
löss	0.004	0.24	0.33	0.07	0.022	0.019	0.16
<i>voorgestelde standaardbodem</i>	<i>0.004</i>	<i>0.19</i>	<i>0.34</i>	<i>0.09</i>	<i>0.022</i>	<i>0.020</i>	<i>0.13</i>
leem	0.004	0.16	0.20	0.08	0.025	0.018	0.12
dalgrond	0.004	0.27	0.24	0.08	0.025	0.016	0.31
klei	0.004	0.14	0.20	0.08	0.025	0.017	0.12
<i>huidige standaardbodem</i>	<i>0.003</i>	<i>0.15</i>	<i>0.20</i>	<i>0.08</i>	<i>0.025</i>	<i>0.017</i>	<i>0.12</i>
veen	0.003	0.16	0.20	0.10	0.025	0.015	0.14
kleiig veen	0.003	0.15	0.20	0.10	0.025	0.015	0.13

alle gewassen: Cd zonder kool, Zn zonder tomaat

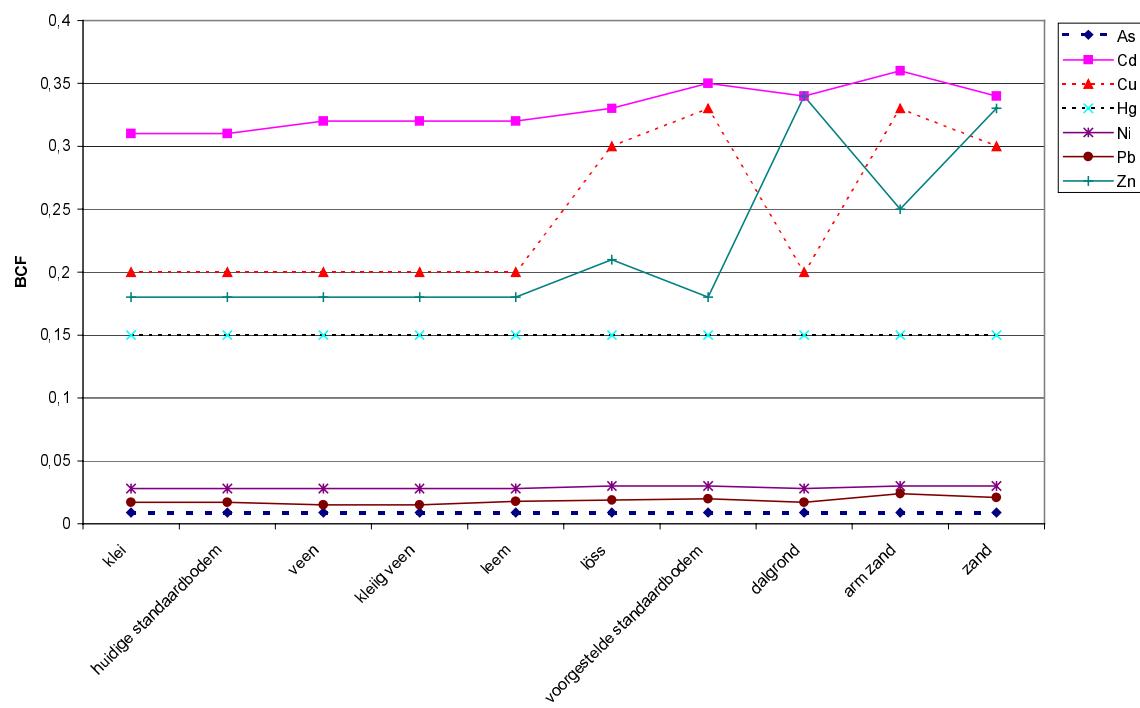


Figuur 7.1.2: BCF-waarden bij IW/Q95 voor diverse bodemtypen berekend met afkappen op grenzen geldigheidsrange dataset voor bodemparameters

Tabel 7.4: BCF waarden bij IW/Q95 berekend in model met afkapgrenzen bodemtypeparameters en vervanging niet significante relaties door geometrisch gemiddelen

	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
arm zand	0.009	0.36	0.33	0.15	0.030	0.024	0.25
zand	0.009	0.34	0.30	0.15	0.030	0.021	0.33
löss	0.009	0.33	0.30	0.15	0.030	0.019	0.21
<i>voorgestelde standaardbodem</i>	<b>0.009</b>	<b>0.35</b>	<b>0.33</b>	<b>0.15</b>	<b>0.030</b>	<b>0.020</b>	<b>0.18</b>
leem	0.009	0.32	0.20	0.15	0.028	0.018	0.18
dalgrond	0.009	0.34	0.20	0.15	0.028	0.017	0.34
klei	0.009	0.31	0.20	0.15	0.028	0.017	0.18
<i>huidige standaardbodem</i>	<b>0.009</b>	<b>0.31</b>	<b>0.20</b>	<b>0.15</b>	<b>0.028</b>	<b>0.017</b>	<b>0.18</b>
veen	0.009	0.32	0.20	0.15	0.028	0.015	0.18
kleig veen	0.009	0.32	0.20	0.15	0.028	0.015	0.18
<i>onbekende bodem (*)</i>	<b>0.009</b>	<b>0.51</b>	<b>0.32</b>	<b>0.15</b>	<b>0.025</b>	<b>0.009</b>	<b>0.22</b>

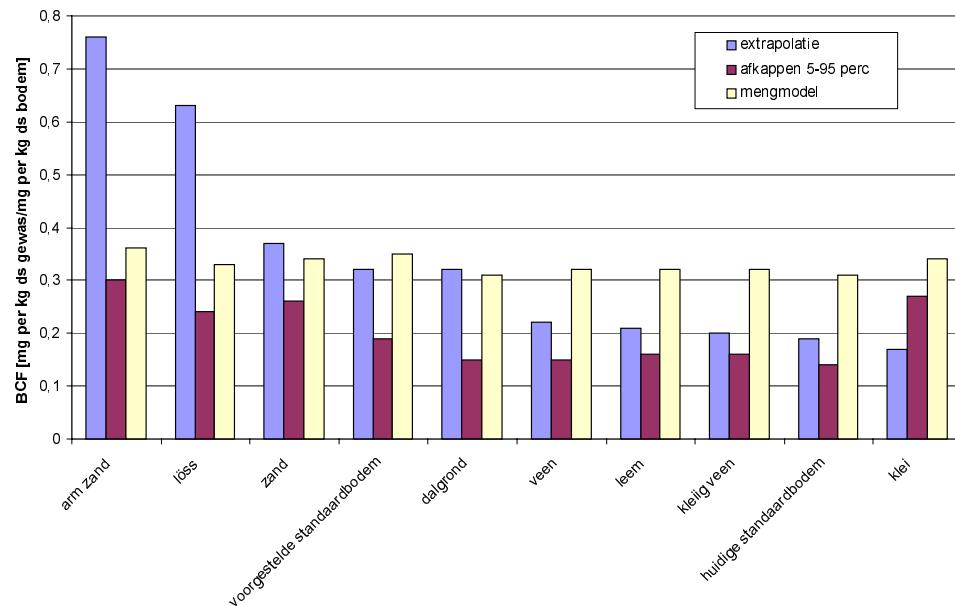
(\*) nl. geometrisch gemiddelde BCF, gemiddelde bodemparameters van dataset per metaal zijn vermeld in 4.1, n.b. het totaalgehalte in de bodem is, behalve van Zn, lager dan min(IW, Q95)



*Figuur 7.1.3: BCF-waarden bij IW/Q95 voor diverse bodemtypen berekend met afkappen op grenzen geldigheidsrange dataset voor bodemparameters en vervanging niet significante relaties door geometrisch gemiddelden*

Zoals was te verwachten is de differentiatie met het bodemtype voor BCF-waarden in de Tabel 7.4 het geringst. Het niveau verschilt ook, zoals we eerder ook gezien hebben bij de berekening van de generieke BCF (6.4).

In het eerste geval Tabel 7.2 moeten door de onzekere extrapolaties een aantal uitkomsten verworpen worden. De keuze hierbij maakt de berekening subjectief en daarom minder geschikt. In het laatste geval (Tabel 7.4) is een deel van de variaties met het bodemtype verwijderd, aangezien de geometrisch gemiddelden niet variëren met het bodemtype. De bodemtype afhankelijkheid van de BCF lijkt daarom geringer dan werkelijk het geval zal zijn. Voor de bepaling van de bodemtype afhankelijkheid lijkt de tweede methode (Tabel 7.3) het beste compromis te zijn. De keuze uit de drie verschillende sets van resultaten hangt echter af van het gewicht dat wordt gelegd op het uitgangspunt van de experimentele aantoonbaarheid van de relaties (zie 6.2). Voor de interventiewaarden is gekozen voor de methode van Tabel 7.4: *model met afkapgrenzen bodemtypeparameters en vervanging niet significante relaties door geometrisch gemiddelden*.



*Figuur 7.1.4: Generieke BCF van Cd voor diverse bodemtypen*

Figuur 7.1.4 illustreert de uitkomsten van de 3 modellen voor Cd. (De bodemtypen in deze figuur zijn gerangschikt volgens afnemende BCF van Cd zoals berekend met de methode van Tabel 7.2.) Het is duidelijk te zien dat in het model met extrapolaties de verschillen groter zijn en dat in het mengmodel de verschillen tussen de diverse bodemtypen worden afgevlakt. In het mengmodel is de relatie met het bodemtype sterk verminderd en ligt het niveau van de BCF hoger door bijnemenging van geometrisch gemiddelden, waarden die eigenlijk horen bij een lager totaalgehalte in de bodem. (De BCF neemt af met de concentratie).

De uitkomsten met het model met uitsluitend afkappen op 5-95 percentielen van bodemparameters liggen lager dan in het mengmodel.

De uitschieters van relatief hoge BCF bij “arm zand” en “löss” komen niet bij de andere 2 modellen voor. Dit is geen concentratie-effect maar hangt samen met het betrouwbaarheidsinterval van de bodemparameters, die ook per gewas kan verschillen. Het is niet goed mogelijk een uitspraak te doen over de waarde van dergelijke uitkomsten (een voorbeeld van sterk afwijkende en daarom waarschijnlijk foutieve waarden zijn de uitkomsten voor de BCF voor Pb in “arm zand” en “zand” in tabel Tabel 7.2, deze komen niet terug in Tabel 7.3 en Tabel 7.4. Vanwege deze onbetrouwbaarheid van de extrapolaties wordt aan de andere 2 modellen voorkeur gegeven. Hierbij zijn de uitkomsten van het mengmodel het duidelijkst aantoonbaar. In het algemeen kunnen ze als een overschatting worden beschouwd, uit oogpunt van risico's een gematigde “worst case” inschatting.

Bij deze berekening zijn de afgeleide relaties per gewas gebruikt voor een koppeling met de bodemparameters. Vervolgens is een consumptiegemiddelde over de gewassen berekend met het rekenschema zoals beschreven in hoofdstuk 6. Om over een eenvoudige en directe rekenmethode te kunnen beschikken is in de volgende paragraaf een metamodel ontwikkeld voor directe relaties voor de consumptiegemiddelde BCF. Dit metamodel is gebaseerd op uitkomsten van het rekenschema zoals gebruikt in deze paragraaf.

## 7.2 Meta-model

De gegevens van 7.1 zijn gebruikt voor het berekenen van de coëfficiënten van een relatie van de volgende vorm:

$$\log(\text{BCF}) = a + c \cdot \text{pH} + d \cdot \log(\text{OC}\%) + e \cdot \log(\text{L}\%) \text{ bij } Q = \min(Q95, \text{IW})$$

ofwel

$$\log(\text{Me-plant}) = a + b \cdot \log(Q) + c \cdot \text{pH} + d \cdot \log(\text{OC}\%) + e \cdot \log(\text{L}\%) \text{ met } b=1$$

De coëfficiënten van het meta-model kunnen gebruikt worden om de BCF als functie van bodemtypeparameters te berekenen of in formule in een andere berekening op te nemen. Daarbij zal vaak de volgende vorm gehanteerd worden:

$$\text{BCF} = 10^a \cdot 10^{c \cdot \text{pH}} \cdot (\text{OC}\%)^d \cdot (\text{L}\%)^e$$

In bovenstaande relatie is de afhankelijkheid van het totaalgehalte in de bodem niet meegenomen omdat deze veelal voor  $Q > Q95$  zullen worden uitgevoerd en hierover geen uitspraak kan worden gedaan. Doordat de concentraties voor een berekening rond interventiewaarden bijna altijd worden afgekapt (behalve bij Zn) leidt een bepaling van de concentratieafhankelijkheid bij het meta-model tot onnauwkeurige resultaten en is hiervan afgewezen.

Ook hier zijn de uitkomsten voor de 3 in 7.1 genoemde rekenmethoden getabellleerd. De resultaten van het eerste rekenmodel leveren grote relatieve fouten in de teruggerekende waarden. Verwerpen van uitbijters maakt de methode subjectief. Deze methode is daarom minder bruikbaar.

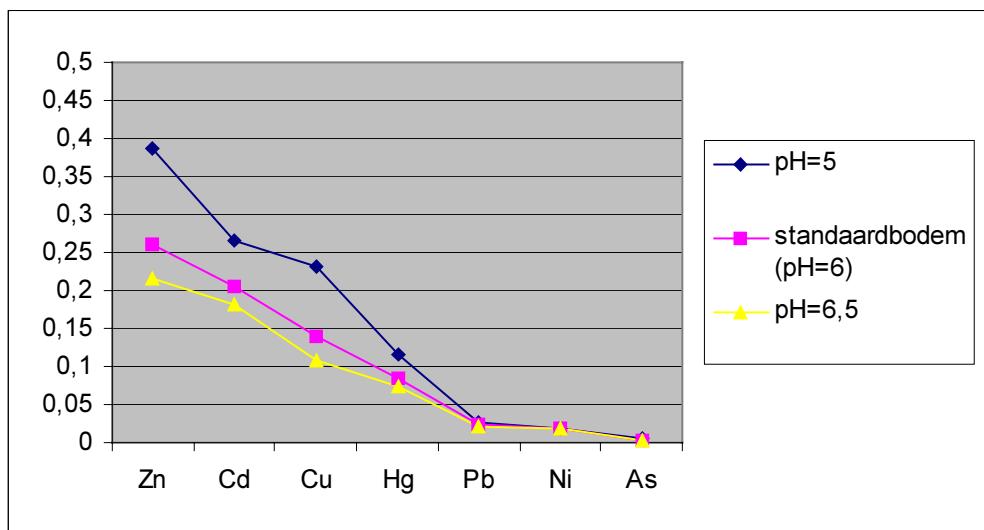
*Tabel 7.5: Coëfficiënten metamodel volgens rekenmodel met extrapolatie bodemtypeparameters (BCF uit Tabel 7.2)*

	a	c	d	e	rel. afw. [%] (*)
As	-0.48	-0.33	-0.16	-0.02	34
Cd	0.44	-0.11	-0.41	-0.11	13
Cu	0.97	-0.22	-0.68	0.009	11
Hg	-0.41	-0.13	-0.08	0.13	12
Ni	-1.77	0	0.25	-0.09	33
Pb	-1.22	-0.04	-0.22	-0.003	2
Zn	0.36	-0.17	-0.21	0.17	9

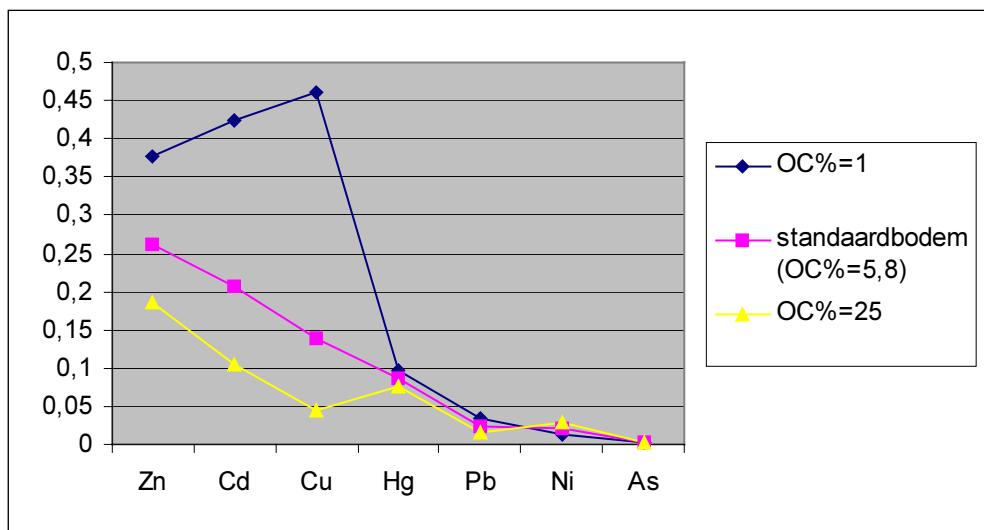
(\*) gemiddelde relatieve afwijking van de teruggerekende en oorspronkelijke waarde, uitgerekend na verwijderen van uitbijters, nl voor :

löss en dalgrond bij Cd (0,63 en 0,32 teruggerekend: 0,28 en 0,19), löss bij Cu (0,41 teruggerekend: 0,23 huidige standaardbodem bij Ni (0,06 teruggerekend 0,02) arm zand en zand bij Pb (0,1 en 0,22 teruggerekend 0,04 en 0,03) zand, dalgrond en veen bij Zn (0,39; 0,57 en 0,45 teruggerekend 0,26; 0,26 en 0,29)

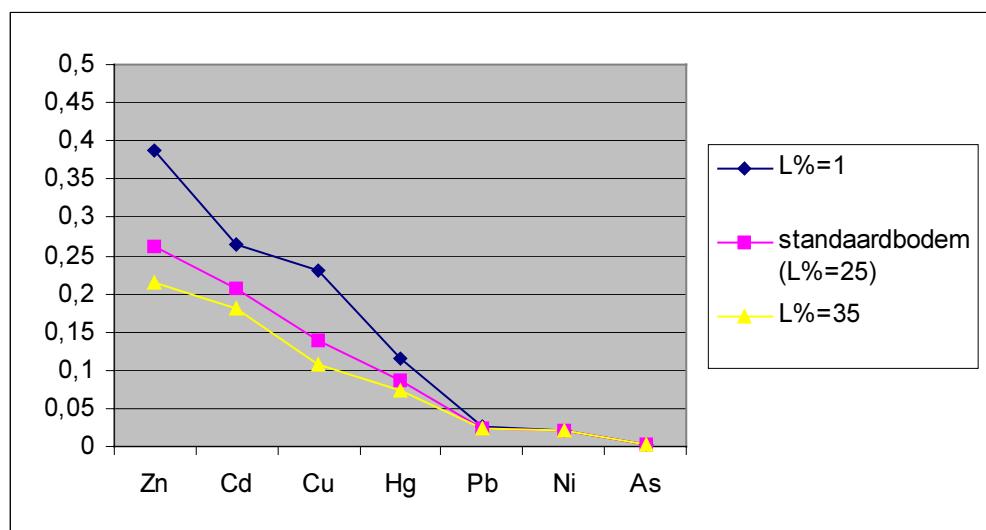
De invloed van de bodemparameters op de BCF-waarde volgens deze berekening worden in onderstaande figuren geïllustreerd. De metalen zijn hierin gerangschikt naar afnemende BCF-waarde voor standaardbodem.



Figuur 7.2.1: Invloed van pH op BCF-waarde bij IW/Q95 volgens rekenmodel met extrapolatie bodemparameters



Figuur 7.2.2: Invloed van organisch stofgehalte op BCF-waarde bij IW/Q95 volgens rekenmodel met extrapolatie bodemparameters



Figuur 7.2.3: Invloed van lutumgehalte op BCF-waarde bij Q95/IW volgens rekenmodel met extrapolatie bodemparameters

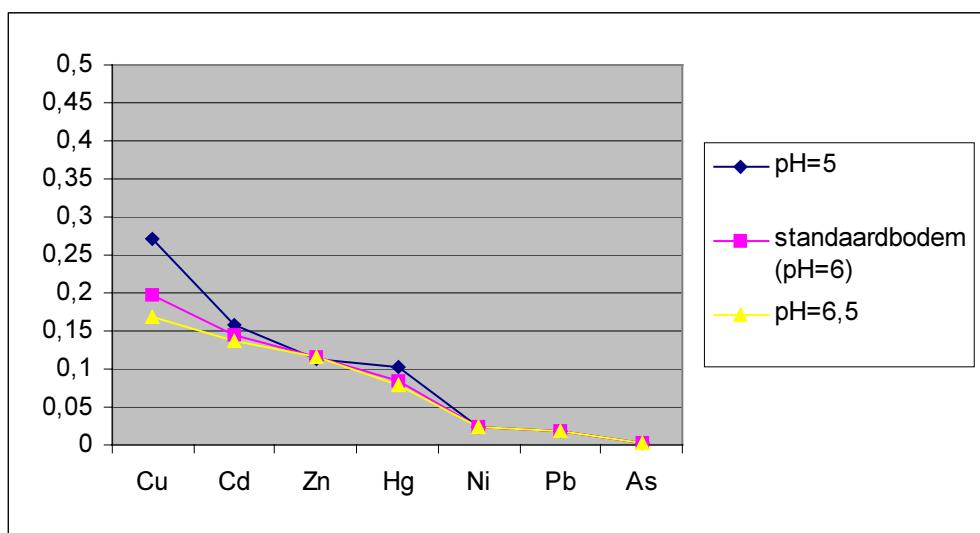
Tabel 7.6: Coëfficiënten meta model BCF waarden volgens rekenmodel met afkapgrenzen bodemtypeparameters (BCF uit Tabel 7.3)

	a	c	d	e	rel. afw. [%] (*)
As	-2.32	0.005	-0.09	-0.06	7
Cd	-0.32	-0.04	0.07	-0.24	4
Cu	0.38	-0.14	-0.25	-0.04	6
Hg	-0.63	-0.08	-0.02	0.04	8
Ni	-1.66	0	0.04	0.013	4
Pb	-1.51	-0.02	-0.14	-0.013	3
Zn	-0.39	0.003	0.17	-0.5	3

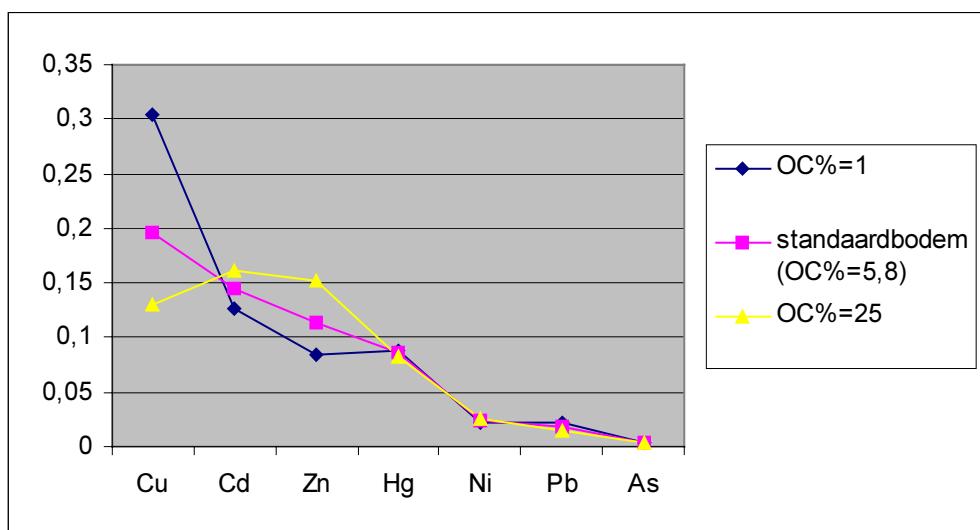
(\*)gemiddelde relatieve afwijking van de teruggerekende en oorspronkelijke waarde, uitgerekend na verwijderen van enkele uitbijters, nl voor :

löss bij Cd (0,24 teruggerekend: 0,18), arm zand en löss bij Cu (0,37 en 0,33, teruggerekend: 0,49 en 0,25) arm zand bij Zn (0,21 teruggerekend 0,43)

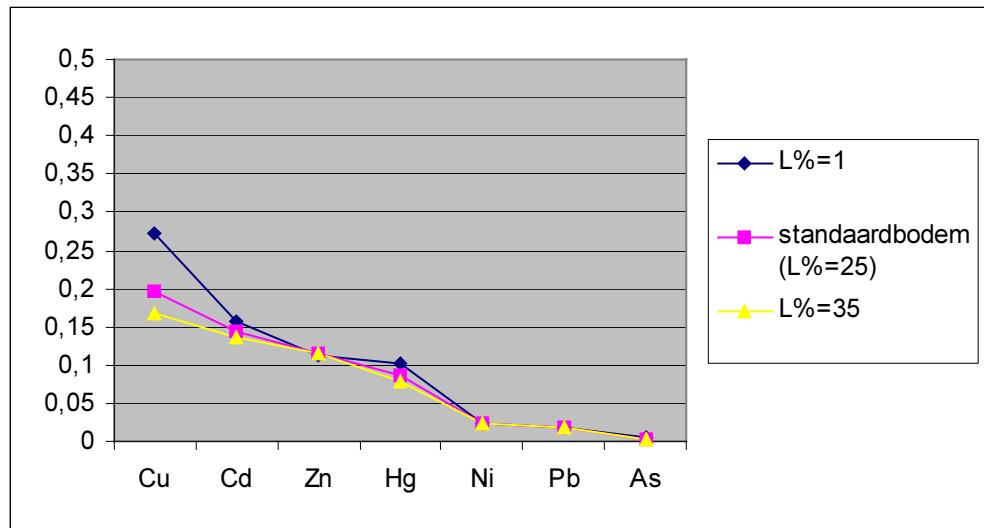
De kleine relatieve afwijking (zie laatste kolom) kan verbeterd worden door in de bijbehorende Tabel 7.3 met BCF-waarden enkele uitbijters te corrigeren (zie opmerking onder Tabel 7.6). In de onderstaande figuren berekend met dit model zijn de metalen weer gerangschikt op afnemende BCF-waarde bij standaardbodem. De volgorde is anders dan bij de vorige drie figuren. Zoals was te verwachten liggen de lijnen dichter bij elkaar en is de invloed van de bodemtypeparameters geringer geworden. De grote invloed van organisch stof op de BCF-waarde van koper, die met vorming van mobiele complexen zou kunnen samenhangen, komt terug, maar voor Cd en Zn is dit effect zelfs omgedraaid.



Figuur 7.2.4: Invloed van pH op BCF-waarde bij IW/Q95 volgens rekenmodel met afkappen op grenzen geldigheidsrange bodemparameters



Figuur 7.2.5: Invloed van organisch stofgehalte op BCF-waarde bij IW/Q95 volgens rekenmodel met afkappen op grenzen geldigheidsrange bodemparameters



Figuur 7.2.6: Invloed van lutumgehalte op BCF-waarde bij IW/Q95 volgens rekenmodel met afkappen op grenzen geldigheidsrange bodemparameters

In het laatste model is een nog grotere afvlakking van de invloed van de bodemparameters te verwachten.

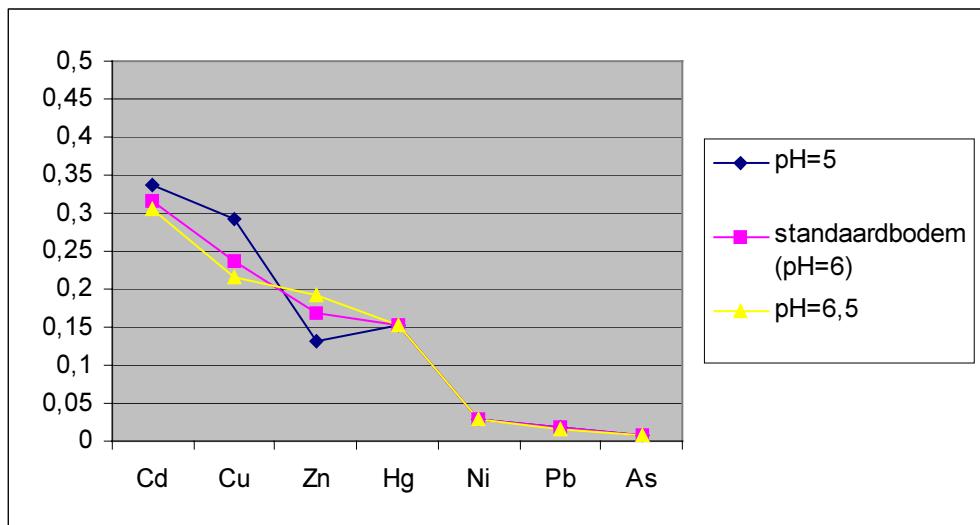
Tabel 7.7: Coëfficiënten meta model BCF waarden volgens rekenmodel met afkapgrenzen bodemtypeparameters en vervanging niet significantie relaties door geometrisch gemiddelden (BCF uit Tabel 7.4)

	a	c	d	e	rel. afw. [%] (*)
As	-2.05	0	0	0	0
Cd	-0.29	-0.03	-0.03	-0.006	1
Cu	0.016	-0.09	-0.24	0.06	11
Hg	-0.82	0	0	0	0
Ni	-1.52	0	-0.02	-0.006	2
Pb	-1.51	-0.02	-0.13	-0.026	2
Zn	-1.11	0.11	0.29	-0.39	11

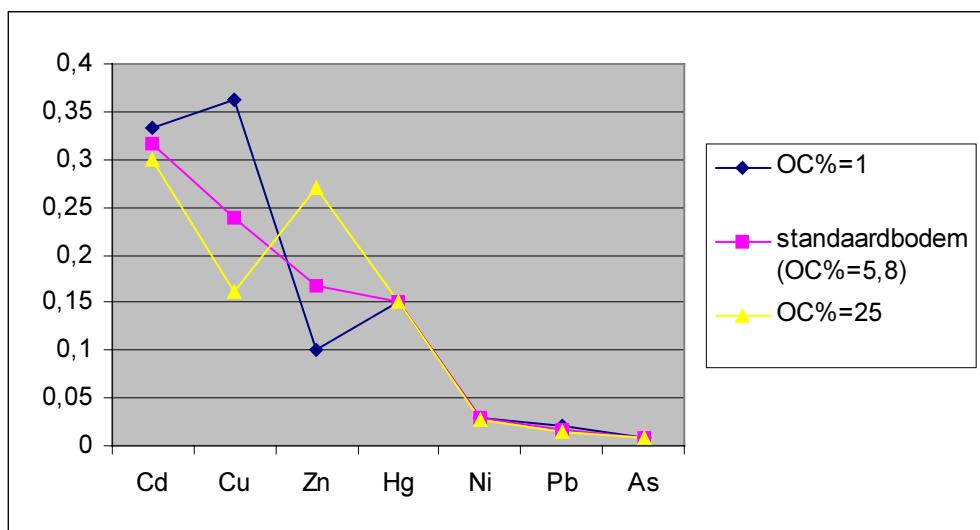
Voor As en Hg is deBCF-waarde niet afhankelijk van de bodemparameters, zoals al eerder bleek in Tabel 7.4. Voor Ni kan de pH afhankelijkheid niet bepaald worden door gebrek aan variaties in de pH in de dataset.

In het algemeen zijn de variaties in de BCF uit dit model gering en goed met 4 parameters te beschrijven.

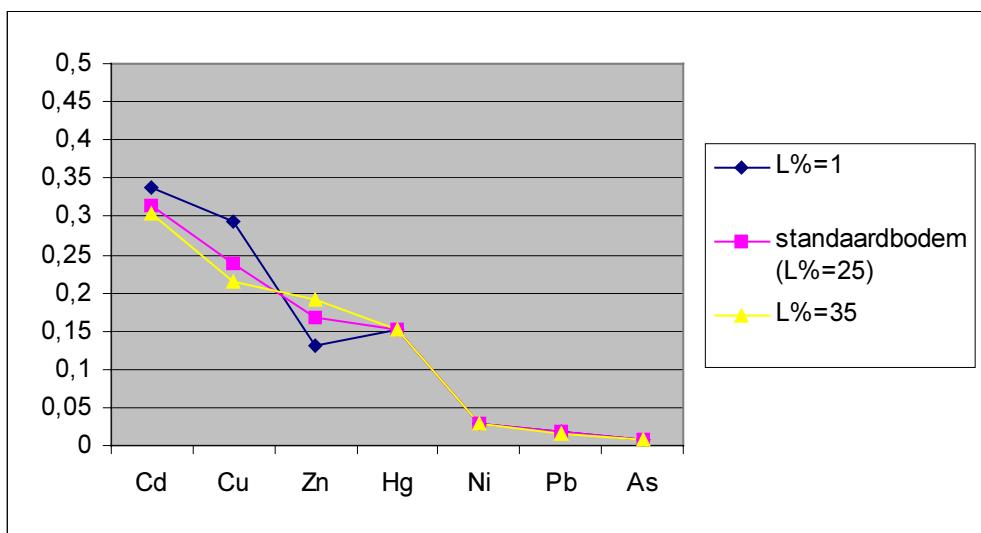
De verschillende invloed van bodemparameters op Cd en Zn is eigenaardig maar te verklaren doordat de vervanging door geometrische gemiddelden door de toevallige eigenschappen van de dataset worden bepaald en procesmatig gezien niet systematisch zijn.



Figuur 7.2.7: Invloed van pH op BCF-waarde bij IW/Q95 volgens mengmodel (afkappen en geometrisch gemiddelen)

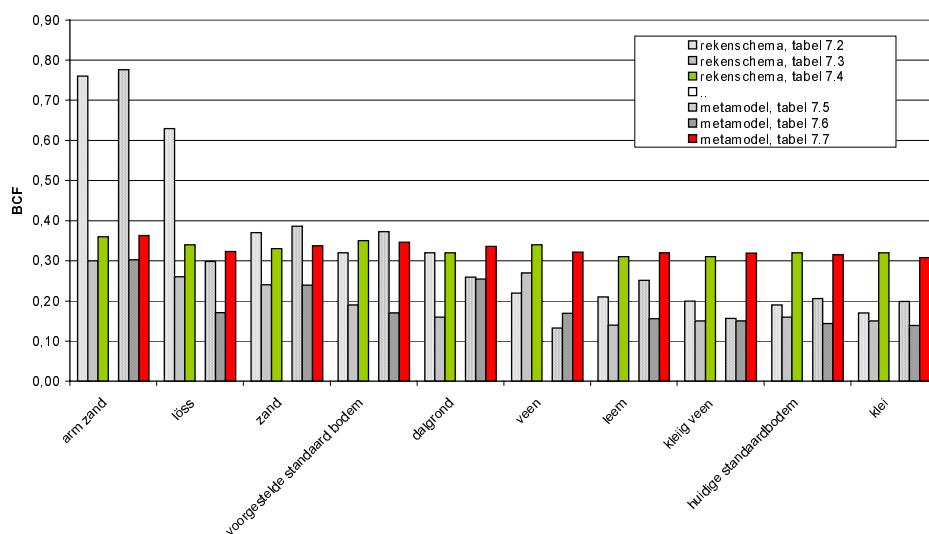


Figuur 7.2.8: Invloed van organisch stofgehalte op BCF-waarde bij IW/Q95 volgens rekenmodel met extrapolatie bodemparameters



Figuur 7.2.9: Invloed van lutumgehalte op BCF-waarde bij IW/Q95 volgens rekenmodel met extrapolatie bodemparameters

De keuze tussen de laatste 2 versie van het metamodel leidt tot verschil in grootte en zelfs in richting van effecten. De keuze hiertussen is afhankelijk van het standpunt t.o.v. aantoonbaarheid van de effecten (zie 6.2). Het laatste model scoort qua aantoonbaarheid het hoogst. Vanuit de inschatting van het proces op basis van het gedrag van metalen lijkt de eerste benadering, gezien de verhoudingen in Figuur 7.2.1 tot Figuur 7.2.3 ook heel acceptabel. Het tweede model zou een redelijk compromis kunnen zijn.  
Het metamodel is afgeleid met uitkomsten van berekeningen met het schema van 7.1. In het algemeen is een berekening met het rekenschema van de vorige paragraaf meer betrouwbaar en dit verdient dan ook de voorkeur, vooral bij extreme waarden van de bodemparameters, d.w.z. buiten de ranges van 5-95 percentielen zoals vermeld in Tabel 4.30. De modellering van het meta-model wordt bemoeilijkt doordat de betrouwbaarheidsgrenzen van de bodemparameters in principe per gewas variëren.



Figuur 7.2.10: Vergelijking van uitkomsten voor Cd uit rekenschema en uit metamodel voor diverse bodemtypen.

Figuur 7.2.10 geeft een indruk van de nauwkeurigheid van het metamodel voor Cd. De uitkomsten van het mengmodel (uit Tabel 7.4 en Tabel 7.7) komen redelijk met elkaar overeen. Het metamodel is in dit geval wel bruikbaar. Bij afkappen (Tabel 7.3 en Tabel 7.6) komt de uitkomst voor bijna alle bodemtypen ook redelijk overeen, maar bij extreme bodemtypen zijn er afwijkingen. Bijv. bij veen komt een verschil met een factor 2 voor. Bij het toelaten van extrapolaties komen de uitkomsten van het meta-model minder goed overeen met die van het rekenschema dat er de basis voor vormde. Kennelijk zijn de uitkomsten in dit geval minder consistent. Voor “arm zand” wordt de hoge BCF-waarde van Cd wel teruggevonden, maar bij “löss” niet. Het is mogelijk dat het metamodel inconsistenties repareert door uitschieters af te vlakken, maar duidelijke uitspraken zijn hier niet over te doen en het is voorzichtiger om het model met de beste aantoonbaarheid, te weten het mengmodel van Tabel 7.4 en Tabel 7.7, te gebruiken.

## 8. Vergelijking met andere modellen

### 8.1 Plantopname in huidige CSOIL (v. 1995)

Vergelijking huidige plant-opname module CSOIL (volgens Bockting en van den Berg, 1992) en de in dit rapport voorgestelde methodiek.

*Tabel 8.1: Verschillen in de benadering Bockting en Van den Berg (1992) en de benadering van dit rapport*

BENADERING	Bockting en v.d. Berg	Verslujs en Otte
algemeen karakter	gemiddelde bioconcentratiefactor per metaal	generieke plant – bodem relatie per metaal voor gemiddeld consumptiepatroon
concentratie afhankelijkheid bodemtypeafhankelijkheid consumptiepatroon	nee nee nee	ja ja, pH, klei en organisch koolstof ja, uitgaande van een gemiddeld -; eventueel op beperkte wijze voor specifieke consumptie patronen
<b>ONDERLIGGENDE DATASETS</b>		
aantal datasets	in eerste instantie één dataset aangevuld met schattingen en informatie uit verschillende experimenten (veld/pot)	verschillende grote velddatasets
betreft velddata	meestal	uitsluitend
betreft moestuingewassen	bij voorkeur	uitsluitend
betreft eetbare plantendelen	niet bekend	ja
<b>VALIDITEIT t.a.v. het GEBRUIK</b>		
potentieel risico	ja	ja
bereik totaal metaal gehalte	niet bekend	concentratie afhankelijkheid is bekend binnen gedefinieerde range
locatie specifiek risico <sup>3</sup>	nee	ja, binnen de aangegeven ranges voor pH, Klei en OC
actueel risico <sup>4</sup>	nee	beperkt
<b>ONZEKERHEDEN</b>		
in beeld gebracht	globaal en op basis van schattingen	m.b.v. eenvoudige Monte Carlo simulatie (bijlage 5)
per metaal	min – gem – max (schatting <sup>5</sup> )	min-gem-max (over 10 bodemtypen) (bij Q95/IW, volgens Tabel 7.2-Tabel 7.4)
As	0.001 – 0.03 – 0.1	0.003- 0.007- 0.009
Cd	0.01 – 0.7 – 10	0.14- 0.29- 0.76
Cu	0.01 – 0.1 – 10	0.11- 0.26- 0.77
Hg	0.001 – 0.03 – 0.02	0.07- 0.11- 0.15
Pb	0.0001 – 0.03 – 0.5	0.015- 0.03- 0.22
Ni	0.01 – 0.1 – 2	0.007- 0.026- 0.060
Sn	0.001 – 0.03 – 3	-
Zn	0.01 – 0.4 – 10	0.12- 0.25-0.57

<sup>3</sup> Locatie-specifiek risico: risico bij bekend bodemtype (pH, klei en OC)

<sup>4</sup> Actueel risico: risico bij bekend bodemtype en afwijkend consumptie patroon (gewas-specifiek)

<sup>5</sup> De gegeven minima en maxima zijn volgens Bockting en van den Berg uitsluitend op basis van de gerapporteerde gegevens (1992). Gezien de beperkte dataset geven de minima en maxima waarden dus een beperkt beeld van de onzekerheden.

## 8.2 Gegevens van andere studies

In paragraaf 3.4 zijn een aantal studies genoemd naar plantenopname waarvan de waarden niet direct bruikbaar waren voor dit onderzoek. Redenen zijn bijv. dat basisgegevens ontbraken, het geen moestuingewassen betreft (maar bijv. grassen, granen), enz. De redenen zijn uitgebreider opgenomen in Tabel 3.2. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de getalsmatige resultaten van deze studies, met name ter ondersteuning van de grootteorde van de gepresenteerde BCF-waarden en ter ondersteuning van de modellering van de invloed van concentraties en pH op de BCF.

Eerst worden enkele in dit kader belangrijke studies besproken in 8.2.1-8.2.3. Voor meer uitgebreide informatie over Maasoevergronden, inschattingen voor UMS en potproeven van Van Gestel wordt verwezen naarde bijlagen 8, 9 en 10. De uitkomsten van berekeningen met deze relaties naast uitkomsten van deze studie gelegd in 8.3.

### 8.2.1 Relaties van Lübben en Sauerbeck, 1991 en UMS

Modellering van invloed totaalgehalte in de bodem zoals uitgevoerd door Lübben en Sauerbeck, 1991. De basis gegevens zijn niet door Lübben en Sauerbeck, 1991 vermeld zodat deze gegevens niet in onze dataset konden worden opgenomen.

$$\text{BCF} = a' \cdot \exp(b' \cdot Q) \Rightarrow \ln(\text{BCF}) = \ln(a') + b' \cdot Q,$$

of omgewerkt naar  $^{10}\log$  met  $a = \log(a')$ ;  $b = b' \cdot \log(e)$ :

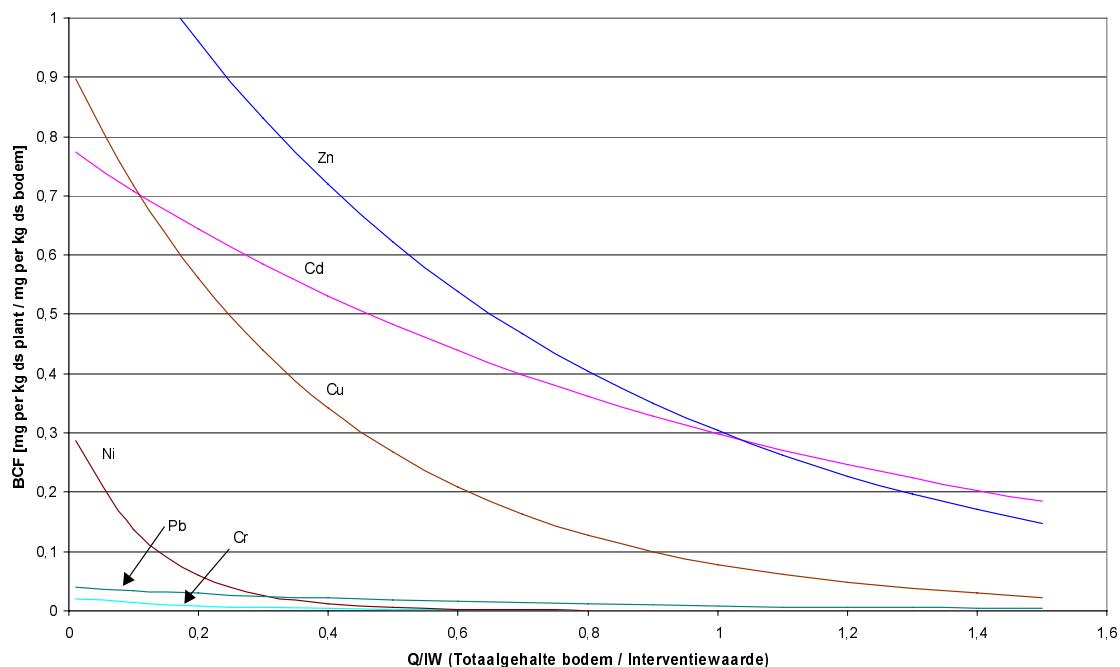
$$\text{BCF} = a' \cdot 10^{\{ \log(e) \cdot b' \cdot Q \}} \Rightarrow \log(\text{BCF}) = a + b \cdot Q$$

met  $Q$  = totaalgehalte in de bodem [mg /kg ds],  
 $a$  en  $b$  empirische coëfficiënten (evenals  $a'$  en  $b'$ ),  
 $e=2,718\ldots$

Tabel 8.2: De relaties van Lübben en Sauerbeck (1991)

Metaal	a'	b'	R <sup>2</sup>	n
As	-	-	-	-
Cd	0.78	-0.08	0.11	2233
Cu	0.92	-0.013	0.33	2231
Cr	0.02	-0.011	0.07	1600
Hg	-	-	-	-
Ni	0.31	-0.039	0.13	2109
Pb	0.04	-0.003	0.16	1992
Zn	1.28	-0.002	0.28	2233

De consequentie voor de BCF-waarden is geïllustreerd in Figuur 8.2.1 (dit is opgebouwd uit de meetpunten van alle gewassen van het onderzoek van Lübben en Sauerbeck, geen consumptiegemiddelde).



Figuur 8.2.1: Afname BCF met totaalgehalte bodem volgens Lübben en Sauerbeck, 1991

Volgens deze gegevens maakt het totaalgehalte in de bodem veel uit voor de BCF-waarde, zie Tabel 8.3. Het verschil tussen de waarden bij Streefwaarden en Interventiewaarden is nergens verwarloosbaar. Het verschil tussen de waarden bij Q95 (van de dataset van deze studie) en de Interventiewaarde geeft aan dat ook deze verschillen waarschijnlijk nog groot zijn. Dit geeft aan dat de waarde bij de Interventiewaarde moeilijk nauwkeurig uit de data bepaald kunnen worden. Ook de waarden uit de relaties van Lübben en Sauerbeck betreffen voor dit gebied echter extrapolaties (en geen consumptiegemiddelen) en kunnen daarom de resultaten van deze studie niet vervangen.

Tabel 8.3 : BCF -waarde als functie van totaalgehalte bodem volgens Lübben en Sauerbeck, 1991

BCF- alle gewassen L&S	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
bij SW	0.73	0.58	0.007	0.08	0.031	0.97
bij Q95 (van deze studie)	0.60	0.51	-	0.06	0.014	0.3 (*)
bij IW	0.30	0.08	0.0003	0.0001	0.008	0.3

(\*) voor Zn bij IW omdat hier Q95>IW

Lübben en Sauerbeck geven geen originele meetdata, maar wel medianen van afzonderlijke gewassen. Hiermee kan het meest kritische gewas worden bepaald (zie hiervoor 4.3), maar ook kunnen consumptiegemiddelde waarden worden bepaald (uitsluitend van groenten, excl. aardappelen).

*Tabel 8.4: Medianen van enkele moestuin gewassen volgens Lübben en Sauerbeck, 1991  
(50-80 metingen per vermelde BCF, diverse bodemtypen en totaalgehalten bodem)*

Gewas	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
Wortelen	0.72	0.16	0.006	0.08	0.008	0.33
Radijs	1.61	0.23	0.044	0.23	0.074	1.61
Prei	1.20	0.25	0.007	0.06	0.016	0.53
Veldsla	0.29	0.42	0.018	0.16	0.036	1.15
Kropsla	3.21	0.31	0.021	0.08	0.051	0.97
Spinazie	5.34	0.40	0.013	0.16	0.057	3.24
Cons.gemid. groenten L&S	<b>1.95</b>	<b>0.25</b>	<b>0.009</b>	<b>0.09</b>	<b>0.024</b>	<b>0.99</b>
Cons.gemid groenten deze studie Tabel 4.28	<b>0.58</b>	<b>0.27</b>	-	<b>0.04</b>	<b>0.020</b>	<b>0.8</b>

De conclusie is dat voor alle gevallen in beide studies BCF-waarden van dezelfde orde van grootte worden gevonden. Cd geeft de grootste afwijking, maar is ook relatief gevoelig voor concentratie (hoogste b'waarde in bovenstaande Tabel 8.4) en pH invloeden.

Op basis van de gegevens van Lübben en Sauerbeck (1991) en aanvullende studies heeft Stubenrauch et al. (1997) voor het UMS-systeem “expert-judgement” inschattingen gedaan voor de bodemtype-afhankelijkheid van de BCF. Zie bijlage 9 voor nadere informatie hierover.

### 8.2.2 Relaties van DoE / Bechtel Jacobs, 1998

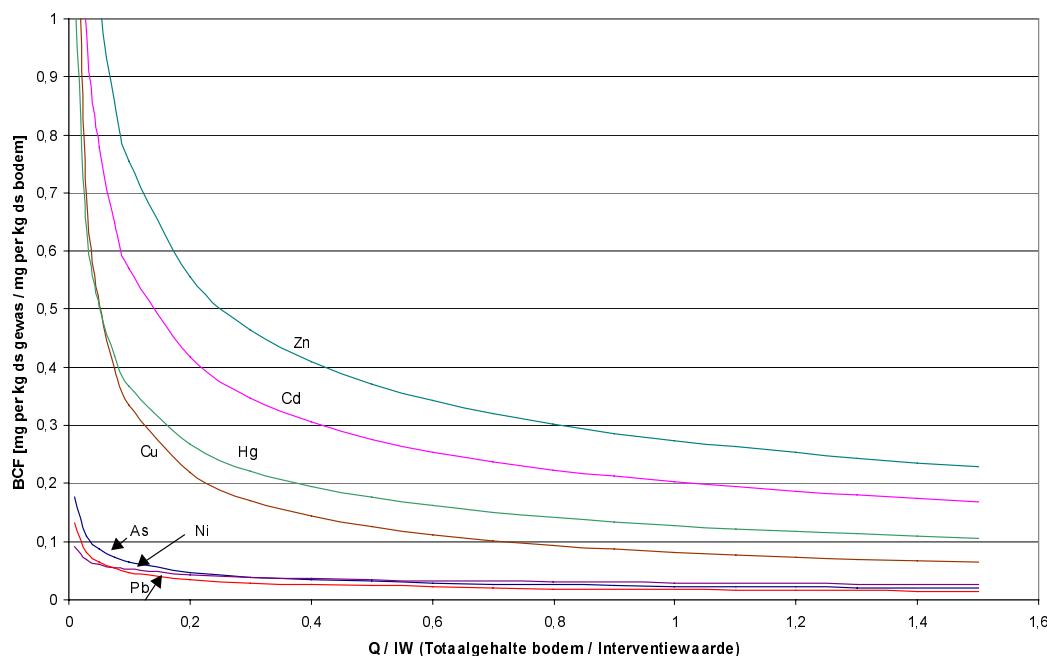
Modellering van invloed totaalgehalte op gehalte in de plant volgens Bechtel Jacobs, 1998 voor US Dept. of Energy (alle concentraties op basis van droog gewicht en met natuurlijke logaritmes). De gegevens betreffen ook niet geconsumeerde planten. Er wordt alleen gecorrigeerd op totaalgehalte in de bodem en de pH. Andere correcties op bodemtypen worden niet haalbaar geacht. Er is een onzekerheidsanalyse opgenomen. De uitwerking van de gegevens van Bechtel, Jacobs, 1998 voor andere metalen is opgenomen in bijlage 7 (B7.5 en B7.6).

$$\ln(C\text{-plant}) = B_0 + B_1 \cdot \ln(Q)$$

met      Q = totaalgehalte in de bodem,[mg / kg ds]  
 C-plant = gehalte in de plant [mg/ kg ds]  
 B0 en B1 empirische coëfficiënten,  
 ln = elog, e=2,718....;

*Tabel 8.5: Coëfficiënten van relaties volgens Bechtel-Jacobs (1998) voor de invloed van totaalgehalte op het metaalgehalte in de plant*

Metaal	B0	B1	R <sup>2</sup>	n
As	-2.0±0.4	0.56±0.13	0.15	122
Cd	-0.48±0.09	0.55±0.04	0.45	207
Cu	0.7±0.2	0.39±0.04	0.31	180
Cr	-			
Hg	-1.00±0.12	0.54±0.04	0.60	145
Ni	-2.2±0.47	0.75±0.09	0.37	111
Pb	-1.3±0.4	0.56±0.07	0.24	189
Zn	1.6±0.3	0.56±0.05	0.40	220



Figuur 8.2.2: Afname BCF met totaalgehalte bodem volgens Bechtel-Jacobs (model 1, zonder pH afhankelijkheid)

Vergelijking met Figuur 8.2.1 leert dat de volgorde van de curves van boven naar beneden vergelijkbaar is bij de relaties volgens Lübben en Sauerbeck 1991, maar dat de waarden zelf verschillen (waarschijnlijk in de eerste plaats door meenemen van verschillende gewastypen).

Modellering van invloed totaalgehalte op gehalte en de pH in de plant volgens Bechtel Jacobs (alle concentraties op basis van droog gewicht (en met natuurlijke logaritmes))

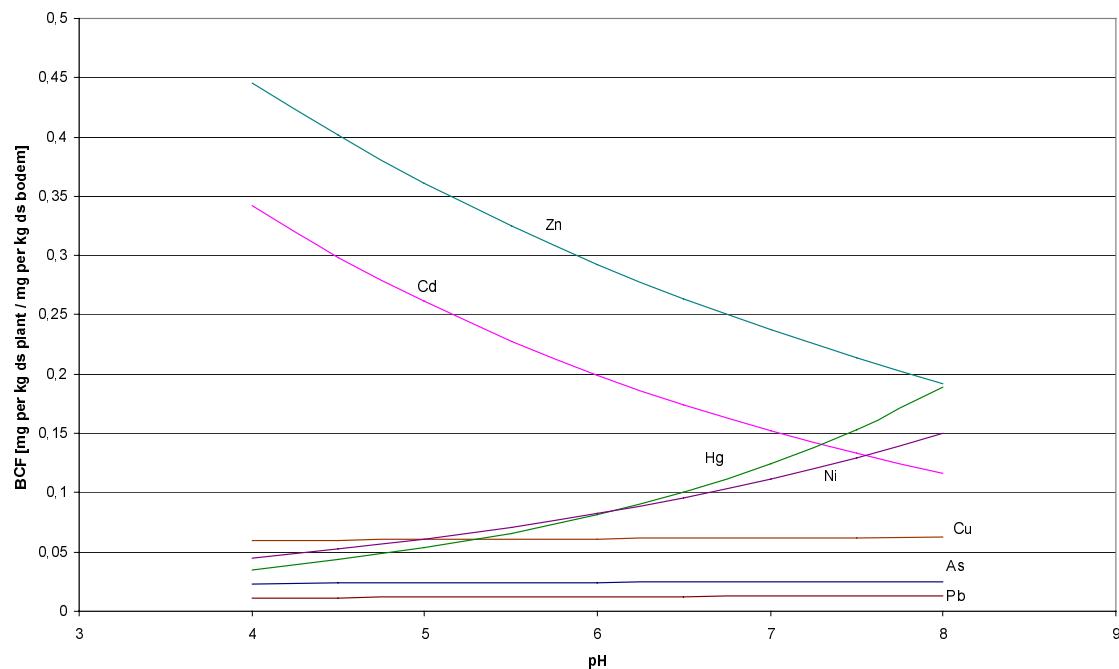
$$\ln(C\text{-plant}) = B_0 + B_1 \cdot \ln(Q) + B_2 \cdot \text{pH}$$

met       $Q$  = totaalgehalte in de bodem,[mg / kg ds]  
 $C\text{-plant}$  = gehalte in de plant [mg/ kg ds]  
 $B_0, B_1$  en  $B_2$  empirische coëfficiënten,  
 $\ln$  = elog,  $e=2,718\dots$ ;

Tabel 8.6: Coëfficiënten van relaties volgens Bechtel-Jacobs 1998 voor de gezamelijke invloed van totaalgehalte en de pH op het metaalgehalte in de plant

Metaal	B0	B1	B2	$R^2$	n
As	-2.6±0.8	0.69±0.06	0.02±0.12	0.78	47
Cd	1.1±0.6	0.56±0.05	-0.27±0.10	0.46	170
Cu	0.5±0.5	0.36±0.05	0.01±0.08	0.33	140
Cr	-	-	-	-	-
Hg	-4.2±1.1	0.64±0.06	0.42±0.19	0.68	82
Ni	-2.0±2.5	0.57±0.10	0.3±0.4	0.36	57
Pb	-1.9±1.0	0.56±0.08	0.04±0.14	0.27	159
Zn	2.4±0.4	0.64±0.06	-0.21±0.08	0.41	193

Hoewel de correlatiecoëfficiënt is verbeterd t.o.v. de relatie zonder pH-afhankelijkheid zijn de standaard fouten van de coëfficiënten B0, B2 vrij groot zodat er een grote onzekerheid is in de teruggerekende waarden.



*Figuur 8.2.3: Variatie BCF bij Interventiewaarde met pH volgens Bechtel-Jacobs (model 2, met pH afhankelijkheid)*

### 8.2.3 Relaties FBS-systematiek

In de rapportage "Functie gerichte BodemSystematiek" (Huinink et al., 1999) zijn grenswaarden voor bodemgehalten bij landbouwkundig gebruik afgeleid op basis van de meest kritische test uit: (1) consumptie van het gewas (2) fytotoxiciteit voor het gewas, (3) ingestie van grond door kinderen. Bij de eerste route wordt het gehalte in het gewas vergeleken met de normering van de warenwet. Bij gebruik van de bodem als moestuin blijken de meest kritische testen grondingestie en groentenconsumptie te zijn. Bij de beschrijving van de overdracht van bodem naar gewas wordt gebruik gemaakt van een functie van pH, OC% en L%. Voor afleiding hiervan zijn voornamelijk velddata gebruikt van het Maasoeveronderzoek (Van Driel et al., 1988, zie ook bijlage 8). Dit betekent een sterke beperking in de verontreinigingsbronnen waardoor de geldigheid niet zonder meer naar andere verontreinigingssituaties kan worden uitgebreid. Voor metalen zijn de volgende overdrachtsfuncties gebruikt (omgeschreven naar de terminologie van deze studie).

*Tabel 8.7 Relaties voor concentratie in gewas als functie van concentratie in bodem en als functie van bodemtype, gegevens gebaseerd op veldstudie Maasoevergronden; relaties op basis van versgewicht van kritische gewassen en OM% (zie noot onder tabel)*

Me-taal	Kritisch gewas	relaties op basis van vers gewicht van gewassen
As	aardappelen wortelen	$\log(Q) = \log(C\text{-plant}) - 0.53 + 3.22 \cdot \log(\text{pH}) + 0.55 \cdot \log(\text{OM}\%) + 0.61 \cdot \log(\text{H}\%)$ $\log(Q) = \log(C\text{-plant}) + 0.73 + 1.65 \cdot \log(\text{pH}) + 0.33 \cdot \log(\text{OM}\%) + 0.163 \cdot \log(\text{H}\%)$
Cd	sla	$\log(Q) = \log(C\text{-plant}) - 2.9 + 4.38 \cdot \log(\text{pH}) + 0.49 \cdot \log(\text{OM}\%) + 0.41 \cdot \log(\text{H}\%)$
Cu	sla	$\log(Q) = \log(C\text{-plant}) + 0.269 + 1.43 \cdot \log(\text{pH}) + 0.59 \cdot \log(\text{OM}\%) + 0.076 \cdot \log(\text{H}\%)$
Hg	spinazie	$\log(Q) = \log(C\text{-plant}) + 1.7 + 0.0144 \cdot \text{pH} + 0.0236 \cdot (\text{OM}\%) - 0.038 \cdot (\text{H}\%)$
Ni	-	-
Pb	spinazie	$\log(Q) = \log(C\text{-plant}) + 2.76 - 0.546 \cdot \log(\text{pH}) + 0.18 \cdot \log(\text{OM}\%) + 0.224 \cdot \log(\text{H}\%)$
Zn	aardappelen sla	$\log(Q) = \log(C\text{-plant}) - 0.637 + 2.11 \cdot \log(\text{pH}) + 0.69 \cdot \log(\text{OM}\%) + 0.284 \cdot \log(\text{H}\%)$ $\log(Q) = \log(C\text{-plant}) - 2.02 + 3.63 \cdot \log(\text{pH}) + 0.698 \cdot \log(\text{OM}\%) + 0.447 \cdot \log(\text{H}\%)$

%OC=OM%/1.72

Dit betekent dat is uitgegaan van een BCF die onafhankelijk is van het totaalgehalte in de bodem. Opmerkelijk is dat  $\log(\text{pH})$  wordt gebruikt i.p.v. pH (waarmee de relatie dubbellogaritmisch wordt t.o.v. de protonconcentratie  $[H^+]$  maar enkel logaritmisch voor metaalconcentraties). Ook zijn voor Hg lineaire relaties voor de bodemtypeparameters genomen in contrast met de andere metalen. De keuze hiervoor is op statistische gronden gemaakt.

De algemene vorm van FBS is:

$$\log(Q) = \log(C\text{-plant} [\text{vers gewicht}]) + a' + c' \cdot \log(\text{pH}) + d' \cdot \log(\text{OM}\%) + e' \cdot \log(\text{L}\%)$$

De relaties kunnen vergelijkbaar worden gemaakt met de relaties van Tabel 5.1 - Tabel 5.7. De uitkomsten van de omrekening zijn opgenomen in Tabel 8.8

#### Toelichting voor de interpretatie van de FBS relaties

Als C-plant wordt omgezet naar drooggewicht en organisch stof naar organisch koolstof (met  $\text{OM}\% = 1,72 \text{ OC}\%$ ) verandert de relatie in:

$$\begin{aligned} \log(Q) &= \log(C\text{-plant} \cdot (1-w)) + a' + c' \cdot \log(\text{pH}) + d' \cdot \log(1.72 \cdot \text{OC}\%) + e' \cdot \log(\text{L}\%) \Rightarrow \\ \log(Q) &= \log(C\text{-plant}) + \log(1-w) + a' + d' \cdot \log(1.72) + c' \cdot \log(\text{pH}) + d' \cdot \log(\text{OC}\%) + e' \cdot \log(\text{L}\%) \Rightarrow \\ \log(C\text{-plant}) &= -a'' + \log(Q) - c' \cdot \log(\text{pH}) - d' \cdot \log(\text{OC}\%) - e' \cdot \log(\text{L}\%) \\ \text{met } a'' &= a' + \log(1-w) + d' \cdot \log(1.72) \\ \text{of } \log(\text{BCF}) &= -[a'' + c' \cdot \log(\text{pH}) + d' \cdot \log(\text{OC}\%) + e' \cdot \log(\text{L}\%)] \end{aligned}$$

Evt. kan de term  $\log(\text{pH})$  omgewerkt worden om de coefficienten vergelijkbaar te maken met het model van deze studie, naar  $\log(\text{pH}) = 0,0724 \cdot \text{pH} + 0,344$ ; [n.b.  $\log(\cdot) = 10^{\log(\cdot)}$ ]

Namelijk met  $x = (\text{pH}/6) - 1$  (voor reeksontwikkeling om pH=6):

$$\begin{aligned} \log(\text{pH}) &= \log\{6(1+x)\} = \log(6) + \log(1+x) = \log(6) + \ln(1+x) / \ln(10) = \\ &\approx \log(6) + x / \ln(10) = \log(6) + (\text{pH} / (6 \ln(10))) - 1/\ln(10) = 0,0724 \cdot \text{pH} + 0,344 \end{aligned}$$

In deze benadering is het verschil met de werkelijke pH <0,1 voor de range pH= 4,9 - 7,0

met  $\log(\text{pH}) = 0,0724 \cdot \text{pH} + 0,344$  wordt de relatie van dit rapport in termen van FBS:

$$\begin{aligned} \log(C\text{-plant}) &= a + b \cdot \log(Q) + c \cdot \text{pH} + d \cdot \log(\text{OC}\%) + e \cdot \log(\text{L}\%) = \\ &-a'' - 0,344 c' - \log(Q) - 0,0724 \cdot c' \cdot \text{pH} - d' \cdot \log(\text{OC}\%) - e' \cdot \log(\text{L}\%) \end{aligned}$$

met  $a'' = a' + \log(1-w) + d' \cdot \log(1.72)$

De volgende watergehalten zijn gebruikt om de BCF-waarden van FBS van versgewicht naar drogestof om te rekenen: aardappelen 83.3%, wortelen 87.8%, sla 95.4%, spinazie 91.6%.

*Tabel 8.8: Relaties voor concentratie in gewas als functie van concentratie in bodem en bodemtype, gemodificeerde (\*) vergelijkingen uit FBS-studie*

Metaal	gewas	constante (*) (a)	Q- bodem (*) (b)	pH (c)	OC% (*) (d)	H% (*) (e)
<b>Arseen</b>	aardappelen	0,07	-1	-0,23	-0,55	-0,61
	wortelen	-0,46	-1	-0,12	-0,33	-0,163
<b>Cadmium</b>	sla	2,62	-1	-0,32	-0,49	0,41
<b>Koper</b>	sla	0,44	-1	-0,10	-0,59	-0,076
<b>Kwik (**)</b>	spinazie	-0,63	-1	-0,0010	-0,0236	0,038
<b>Lood</b>	spinazie	-1,54	-1	0,040	-0,18	-0,224
<b>Zinkc</b>	aardappelen	0,53	-1	-0,15	-0,69	-0,284
	sla	1,68	-1	-0,26	-0,698	-0,447

(\*) gemodificeerd voor gebruik op basis van drooggewicht van het gewas in plaats van versgewicht, organisch koolstof (OC%) in plaats van organisch stof (OM%) en lineair met pH in plaats van met log(pH)

(\*\*) aanname dat Hg als logaritmische vergelijking was bedoeld

Door de restrictie op b ( $b = -1$ ) bij FBS blijven de relaties moeilijk vergelijkbaar. Zie voor vergelijking op het niveau van BCF-waarden 8.3.3.

De gegevens van het Maasoeveronderzoek (de basis van de dataset van de FBS-systematiek) zijn voor dit rapport pas later beschikbaar gekomen. De uitwerking zoals in dit rapport wordt voorgesteld is in een later stadium voor de gegevens van het Maasoeveronderzoek separaat gedaan (zie bijlage 8). Een vergelijking met de uitkomsten van de dataset die is gebruikt in dit rapport is te vinden in B8.10.

Als vervolg op de FBS-rapportage en dit rapport is combinatie en uitbreiding van de datasets aan te bevelen.

## 8.3 Vergelijking van de resultaten van deze studie met relaties uit de literatuur

Alle hier geciteerde studies bevatten data over een mengsel van consumptiegewassen en niet voor humane consumptie geschikte gewassen. Bij geen van deze studies zijn data over aardappelen meegenomen (bij UMS wel inschattingen). De nadruk op aardappelen bij onze studie leidt tot relatief lage BCF-waarden. Het doel van deze studie is een inschatting van de risico's van bodemverontreiniging via de consumptie van moestuingewassen. Dit betekent dat een consumptiegemiddelde BCF, gebaseerd op de gemiddelde consumptie van moestuin-gewassen in ons geval meer bruikbaar is.

### 8.3.1 Vergelijking met amerikaanse studies

Bij de vergelijking van BCF-waarden is het van belang na te gaan voor welke gewassen, bodemparameters en concentratieranges deze geldig zijn. In sommige gevallen is er sprake van een model dat corrigeert voor bodemtype, concentratierange of gewasconsumptie. Als dit niet is gebeurd kan de mediaan van de dataset als maatgevend worden gekozen voor bodemtypeparameters en/of concentratie. In deze studie is met alle drie de factoren rekening gehouden. In onderstaande tabel dataset zijn bij DoE modelcorrecties voor totaalgehalte in de bodem of voor de combinatie van pH en totaalgehalte in de bodem toegepast.

Tabel 8.9: Vergelijking Bioconcentratiefactoren uit diverse amerikaanse studies

Auteurs	Baes 1984	DoE 1998	DoE 1998	DoE 1998	DoE 1998	dit rapport	dit rapport
BCF	mediaan van dataset	mediaan van dataset	model over meetpunt- en alle gewassen	model over meetpunt- en alle gewassen	model alle meet- punten	consumptie gemiddelde van modellering per gewas	consumptie gemiddelde van modellering per gewas
bodem- conc.	-	-	SW	IW/Q95 (*)	IW/Q95 (*)	-	IW/Q95 (*)
bodem type	divers	divers	divers	divers	divers, pH=5	divers	pH = 5, voorgestelde standaard- bodem
As	0.04	0.037	0.034	=0.034	0.032	0.009	0.003
Cd	0.55	0.51	0.69	0.37	0.49	0.32	0.10
Cu	0.40	0.12	0.22	0.19	0.16	0.35	0.29
Hg	0.90	0.34	0.77	=0.77	0.23	0.15	0.08
Ni	0.06	0.034	0.044	0.042	0.048	0.016	0.007
Pb	0.045	0.038	0.038	0.020	0.014	0.008	0.003
Zn	1.5	0.36	0.54	0.26	0.34	0.11	0.033

DoE: Bechtel Jacobs 1998

(\*): extrapolaties bij deze studie voor totaalgehalten bodem naar interventiewaarden niet verder dan 95-  
percentiel van dataset<sup>6</sup>

De dataset van DoE is voortgebouwd op die van Baes et al. (1984). Beide bevatten alle beschikbare gewassen, met nadruk op niet-moestuingewassen en excl. aardappelen. Door uitbreiding van de gegevens zijn er duidelijke correcties voor Cu, Hg, Zn. Door modellering volgens DoE is een correctie aan te brengen voor hogere totaalgehalten (behalve voor As en Hg omdat hierbij Q95 < IV). Dit leidt tot substantieel lagere BCF-waarden voor Cd, Pb, Zn. Door tevens te corrigeren voor een relatief lage pH worden de BCF-waarden iets verhoogd (omdat de meeste metalen bij lagere pH mobieler worden).

De uitkomsten van dit rapport als consumptiegemiddelde van de dataset liggen in het algemeen lager. De oorzaak is de samenstelling van het consumptie-pakket met een relatief hoog gewicht voor aardappelen. De correctie voor pH, totaalgehalte op het niveau van interventiewaarden en standaardbodem verlaagt de ingeschattte BCF-waarden van dit rapport verder.

<sup>6</sup> In de andere studies wordt er nauwelijks aandacht besteed aan de geldigheidsrange m.b.t. de totaalgehalten in de bodem. Een indruk is dat de geldigheid van de waarden van Lübben en Sauerbeck beperkt is tot lage metaalconcentraties in de bodem en de waarden van DoE voor een bredere range gelden. De data van DoE bevatten echter een maar beperkt aantal moetuingewassen.<sup>7</sup> Overigens als plantenopname bepalend zou blijken te zijn bij de vaststelling van de urgentie, is een eenvoudige risico-beperkende maatregel: geen consumptie van gewassen van deze locatie.

### 8.3.2 Vergelijking met duitse studies

Tabel 8.10: Vergelijking Bioconcentratiefactoren uit diverse duitse studies

Auteurs	Sauer-beck & Lübben	Sauer-beck & Lübben	Sauer-beck & Lübben	UMS 1999	UMS 1999	dit rapport	dit rapport
BCF	mediaan van dataset	model over meetpunt-en alle gewassen	model over meetpunt-en alle gewassen	inschatting over alle gewassen	inschatting over alle gewassen	consumptie gemiddelde van modellering per gewas	consumptie gemiddelde van modellering per gewas
bodem conc	-	SW	IW/Q95	-	-	SW	IW/Q95
bodem type	divers	divers	divers	pH = 6, huidige standaard bodem	pH = 5, voorgestelde standaard bodem	pH = 5, voorgestelde standaard bodem	pH = 5, voorgestelde standaard bodem
As	-	-	-	0.04	0.05	0.0025	<b>=0.003</b>
Cd	0.58	0.73	0.60	0.5	2	0.26	<b>0.11</b>
Cu	0.28	0.58	0.51	0.2	0.4	0.34	0.29
Hg	-	-	-	0.05	0.1	0.08	<b>=0.08</b>
Ni	0.13	0.31	0.31	0.018	0.3	0.009	0.007
Pb	0.03	0.04	0.04	0.01	0.04	0.006	<b>0.003</b>
Zn	0.86	0.97	0.30	0.9	2	0.10	0.033

SW = Streefwaarde, IW = Interventie Waarde

De data van Lübben en Sauerbeck omvatten naast moestuingewassen ook granen en grassen, maar geen aardappelen. De waarden van het UMS-systeem zijn afgeleid van de dataset van Lübben en Sauerbeck (1991). De BCF-waarden liggen daarom op een gelijk niveau en verschillen zijn afkomstig van een inschatting van verminderde of verhoogde beschikbaarheid van het metaal door invloed van pH en/of bodemtype. Hierbij zijn voor het UMS inschattingen gemaakt voor een consumptiepakket, echter zonder aandacht te besteden aan de concentratieafhankelijkheid (gezien vanuit hun data terecht, zie Bijlage 9 onderdeel B9.2).

De afname van de BCF met de concentratie zoals gevonden in onze studie wordt door Lübben en Sauerbeck en door DoE bevestigd voor Cd, Cu, Zn en alleen door de DoE studie voor Ni, Pb. Voor datasets die ook data bevatten die betrekking hebben op een laag totaalgehalte in de bodem kan daarom in het algemeen verwacht worden dat de BCF relatief hoog is.

Lübben en Sauerbeck vermelden gemiddelde waarden van de BCF per gewas (zonder basismetingen, bodemtype of totaalgehalte in de bodem). Hieruit kan een selectie voor groenten (moestuingewassen excl. aardappelen) worden gemaakt. Zie Tabel 8.11 Voor Cd, Zn, (Cr) blijkt deze significant hoger te liggen dan voor de totale dataset. Voor de andere metalen is het verschil verwaarloosbaar.

Tabel 8.11: Berekening met resultaten Lübben en Sauerbeck (1991)

BCF	mediaan alle gewassen (*1)	SE alle gewassen	aantal mtpt	mediaan groenten (*2)	SE groenten	aantal mtpt	BCF (SW)	BCF (Q95)
As	-	-		-	-		-	-
Cd	0.58	0.06	2233	1.17	0.13	928	0.92	0.19
Cr	0.01	0.001	1600	0.02	0.003	634	-	-
Cu	0.28	0.01	2231	0.29	0.02	935	0.016	0.011
Hg	-	-		-	-		-	-
Ni	0.13	0.01	2109	0.14	0.02	865	0.0023	0.0013
Pb	0.03	0.001	1992	0.03	0.002	859	0.0004	0.0001
Zn	0.86	0.04	2233	1.05	0.08	935	0.007	0.004

(\*1) alle gewassen: incl. grassen en granen, excl. aardappelen

(\*2) bladgroenten (sla, spinazie), wortelgroenten (wortelen, radijs), bonen, erwten, prei

(\*3) verrekening afhankelijkheid van de concentratie in de bodem met de door Lübben en Sauerbeck voorgestelde regressievergelijking van de vorm  $BCF = a \cdot \exp(-bQ)/Q$  op alle gewassen

SE= standard error

### 8.3.3 Vergelijking met resultaten FBS

Tabel 8.12: Berekening met resultaten FBS

Me- taal	Kritisch gewas	FBS huidige standaard- bodem	FBS voorgestel de standaard- bodem	dit rapport SW-Q95 huidige standaard- bodem (*1)	dit rapport SW-Q95 voorgestelde standaard-bodem (*1)
As	aardappelen wortelen	0.003 0.02	0.008 0.04	0.0015 (*3) 0.018	0.0017 (*3) 0.018
Cd	sla	2.0	0.6	1.1 - 0.4	1.6 - 0.6
Cu	sla	0.18	0.36	0.41 - 0.040	0.45-0.44
Hg	spinazie	0.88 (0.25) (*2)	1.01 (0.25) (*2)	0.27 (*3)	0.22 (*3)
Ni	-	-	-	-	-
Pb	spinazie	0.02	0.02	0.023 - 0.009	0.021 - 0.008
Zn	aardappelen sla	0.05 0.09	0.12 0.31	0.09 - 0.03 1.2 - 1.1	0.10 - 0.03 2.1 - 2.0

(\*1) met afkappen op geldigheidsrange bodemparameters

(\*2) berekend met logaritmische relatie

(\*3) SW &lt; Q95

De waarden uit de FBS-studie en deze studie liggen dicht bij elkaar (behalve voor Zn in sla, waarvan het resultaat, als enige van de combinaties vermeld in deze tabel niet was gebruikt in deze studie, vanwege de geringe significantie). De FBS-relaties voor Hg lijken als logaritmisch bedoeld te zijn. Voor een deel kunnen verschillen tussen deze studie en de FBS-resultaten verklaard worden uit de restricties die bij deze studie aan de geldigheidsranges van de verklarende parameters zijn opgelegd. De geldigheidsranges voor de relaties in termen van bodemparameters en concentraties zijn niet gegevens of gebruikt bij de FBS-studie.

### 8.3.4 Vergelijking met resultaten van Van Gestel et al. (1992)

De resultaten van de potproeven van Van Gestel et al., 1992a en 1992b zijn niet opgenomen in de dataset omdat het geen velddata zijn (en omdat er enige twijfel is over de vermelde pH-waarden). Van de consumptiegewassen betreft het alleen sla en radijs. De gegevens van Van Gestel bevatten ook data voor Ba, Co, Cr (en voor poriewater ook van Sn, V), wat relatief zeldzaam is. De Freundlichcoëfficiënten zijn door ons berekend en gegeven in Bijlage 10. Met de verkregen coëfficiënten zijn de waarden voor (de huidige) standaardbodem en voor interventiewaarden/Q95 hieronder vergeleken met de uitkomsten berekend met de dataset van deze studie.

*Tabel 8.13: Berekeningen met resultaten Van Gestel et al. (1992)*

Metaal	Van Gestel et al. BCF sla	Van Gestel et al. BCF radijs knol	dit rapport BCF sla	dit rapport BCF radijs knol
As	-	-	-	-
Ba	0.09	0.04	-	-
Cd	4.6	0.7	0.6	0.8
Co	0.12	-	-	-
Cr	0.029	-	-	-
Cu	0.18	0.13	0.40	-
Hg	0.21	0.0007	-	-
Ni	0.04	0.017	(0.005)	-
Pb	0.005	0.012	0.023	0.006
Sn	-	-	-	-
V	-	-	-	-
Zn	0.14	0.45	(2.0)	-

De relaties zijn meer significant dan bij de velddata. Voor sla zijn de BCF-waarden uit de potproeven hoger dan uit de velddata voor Cd, Ni, maar niet voor Cu, Pb, Zn. Misschien hangt dit samen met de relatief hoge pH-waarden in de dataset van Van Gestel et al. Uiteindelijk zijn alleen de waarden voor Ba, Cr, Co meegenomen in de inschattingen voor deze metalen in Bijlage 7.

## 9. Conclusies

Doelstelling van het onderzoek is de verbetering van de inschatting van het risico van verontreinigde bodem voor de mens op het onderdeel van de opname van metalen in geconsumeerde moestuingewassen, met name door bepaling van de invloed van lokale omstandigheden, zoals bodemtype.

Bij de aanpak van het onderzoek traden een aantal problemen op:

- de geringe beschikbaarheid van volledige en geschikte data, (o.a. door andere doelstellingen van de onderzoekers),
- de vele factoren die de uitslag van een meting kunnen beïnvloeden en niet met de gangbaar gemeten parameters kunnen worden beschreven (bijv. seisoensinvloeden, standplaatsverschillen, worteldiepte, depositie, verschil in methoden voor monstername en chemische analyse),
- de variatie in verontreinigingstypen/ verontreinigingsmatrices,
- de keuze van de consumptiegewassen, gewasdelen en invloed van bereidingswijze,
- de keuze van de relatie voor bodemtype-afhankelijkheid en het mogelijke belang van parallelen met poriewaterrelaties,
- de verschillen tussen de gewassen in de karakteristiek van de opname van metalen,
- de keuze van de huidige standaardbodem ten opzichte van de geldigheidsrange van de relaties ten opzichte van de bodemparameters,
- de wijze van omgaan met onzekerheid in het resultaat (bijv. gemiddelde/mediaan of realistische “worst case”, voor welke factoren “worst case” benadering toepassen, wanneer is model als betrouwbaar te beschouwen),
- de strijdigheid van het resultaat met de huidige bodemtypecorrectie voor de interventiewaarden.

In de loop van het onderzoek is, gezien de tijdsdruk en het gebrek aan beschikbare gegevens , meestal een pragmatische oplossing gevonden om met deze problemen om te gaan. Het resultaat dient dan ook in deze context te worden gezien. Bij een aantal van deze problemen is een diepergaand wetenschappelijk onderzoek aan te bevelen.

In eerdere stadia van het project is getracht om in grote lijnen de invloed van het bodemtype op de opname van metalen in moestuingewassen in te schatten op vergelijkbare wijze als bij UMS. De verzamelde literatuurgegevens gaven echter geen duidelijk uitsluitsel over de grootte en richting van de correcties. Wel bleek uit de literatuur dat in tegenstelling tot de aannname bij UMS het totaalgehalte in de bodem een belangrijke rol speelt. M.a.w. het gehalte in de plant is slechts in eerste benadering recht evenredig met het gehalte in de bodem. In de praktijk blijkt de relatie van plantgehalte met bodemgehalte niet lineair te zijn over het beschouwde traject (van niet verontreinigd tot verontreinigd bodems rond interventiewaarden). Pas na het beschikbaar komen van grotere hoeveelheden data (zie hoofdstuk 3.3) werd het mogelijk om systematisch relaties te leggen.

De berekende BCF-waarden in dit rapport zijn consumptiegemiddelde waarden voor moestuingewassen gegeven. Dit is met name van belang omdat de afzondelijke gewassen verschillende niveaus van BCF waarden hebben en ten opzichte van het bodemtype verschillend gedrag vertonen. De keuze van het consumptiegemiddelde hangt samen met het gebruik voor bepaling van het gemiddelde generieke risico.

De consumptiegmiddelde BCF is gecorrigeerd voor bodemtype naar geldigheid bij standaardbodem en gecorrigeerd voor totaalgehalte in de bodem naar geldigheid bij interventiewaarden. Dit is gedaan met een rekenschema op basis van de relaties afgeleid voor de afzonderlijke gewassen.

De opname van metalen in moestuingewassen wordt door meer factoren dan concentratie en bodemtype beïnvloed, met name seizoensinvloeden, standplaatsverschillen, verontreinigingstypen, verontreinigingsdiepten. Door het verzamelen van gegevens uit verschillende bronnen is geprobeerd hierover te middelen. Gezien de lacunes in gegevens is er echter weinig inzicht in of dit geslaagd is, vermoedelijk is dit niet het geval, gezien de vele mogelijke variaties en ten opzichte hiervan het beperkte aantal gegevens. Met name de invloed van de verontreinigingsvorm/ verontreinigingsmatrix is echter nog te beperkt onderzocht om hierover goede uitspraken te kunnen doen. Dit wordt ook geconstateerd in amerikaanse studies (EPA, CEA 1999, draft version, comments). In bijlage 4 wordt een methode voorgesteld om deze factor om te gaan. In een vervolgonderzoek zou de bruikbaarheid hiervan verder onderzocht kunnen worden.

Bij de berekening van BCF-waarden, zoals uiteindelijk uitgevoerd, treden nog de volgende bronnen van onzekerheid op:

- voor niet alle gewenste moestuingewassen zijn gegevens beschikbaar,
- voor niet ieder gewas waar gegevens beschikbaar over zijn, is een significante relatie af te leiden,
- voor niet iedere significante relatie komt de geldigheidsrange overeen met de gewenste range.

In het toegepaste rekenschema, dat hieronder wordt toegelicht, is hier zoveel mogelijk rekening mee gehouden. De invloed van bovenstaande effecten is per metaal verschillend, bijv. voor Cd is de onzekerheid kleiner dan voor As of Hg.

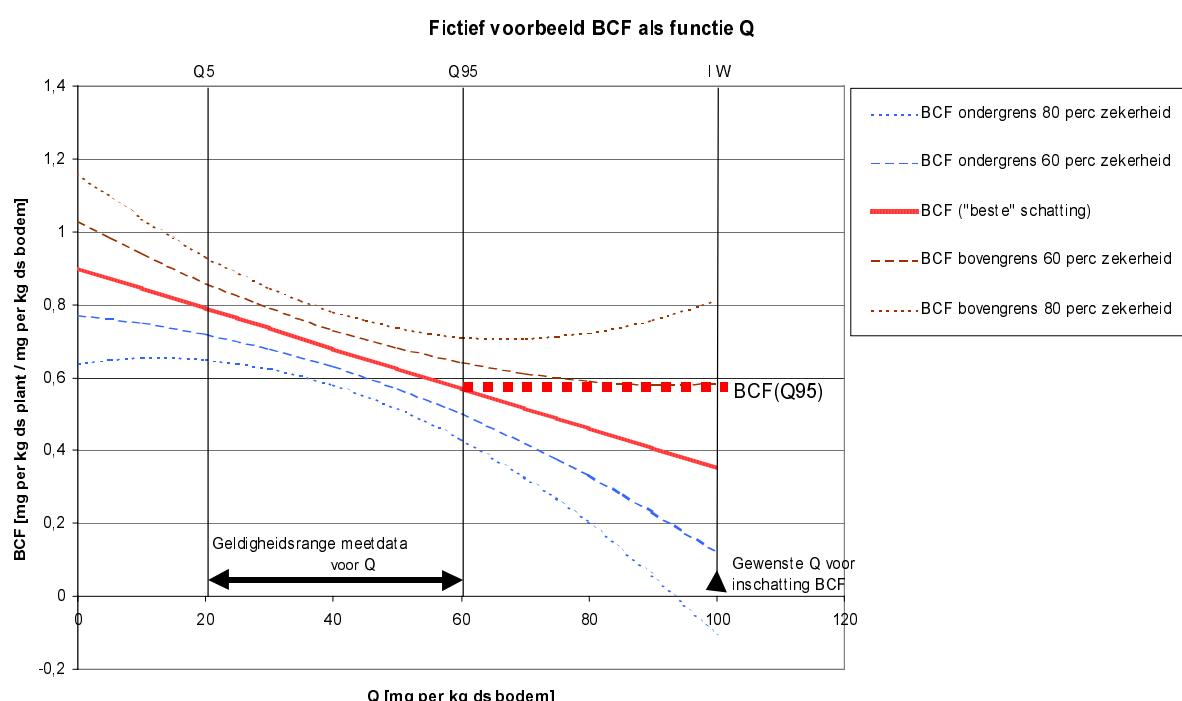
## 9.1 Het rekenschema

De ontwikkelde rekenmethode bestaat uit de volgende stappen:

1. Dataverzameling gehalte metalen in gewassen met als voorwaarden voor te verzamelen gegevens: moestuingewassen, geconsumeerde delen van de gewassen, verzameld op tijdstip van normale oogst, geen kunstmatige verontreiniging, in volle grond, bodemtypeparameters (pH, OC%, L%) bekend, geen indicatie voor uitzonderlijke depositie van buiten de lokatie, voor metaalanalyse op vergelijkbare wijze als bij normale consumptie afgespoeld/ gewassen, geen verdere bereiding, plantgehalte bekend op drooggewicht basis.
2. Bepaling coëfficiënten van Freundlich-relaties per metaal en gewastype, met als verklarende parameters totaal metaalgehalte in bodem(Q), en bodemtypeparameters pH, OC% en L%.
3. Verwerpen niet significante Freundlich-relaties (95% zekerheid significant in F-test), dan relatie vervangen door geometrische gemiddelde (schatter mediaan).
4. Bepaal geldigheidsrange voor totaalgehalte en bodemtypeparameters per afgeleide relatie met als ondergrens 5-percentiel en als bovengrens 95-percentiel van de beschikbare dataset. Gebruik bij alle berekeningen buiten deze geldigheidsrange de waarden op de grenzen van de geldigheidsrange (afkappen).
5. Bereken bij gegeven bodemparameters en totaalgehalte bodem, met inachtneming van de geldigheidsrange:
  - (a) per gewasgroep een gemiddelde BCF voor de gewasgroep uit de BCF-waarden van de beschikbare gewassen met weging op basis van consumptiehoeveelheden per gewas,

- (b) een totaal gemiddelde BCF uit BCF-waarden van de beschikbare gewasgroepen met weging op basis van consumptiehoeveelheden per gewasgroep.

Voor iedere combinatie van totaalgehalte in de bodem en bodemtype kan met het rekenschema een gemiddelde BCF worden berekend. De resultaten van een reeks van totaalgehalten en bodemtypen kunnen worden gebruikt om een meta-relatie af te leiden, d.w.z. van de gemiddelde BCF als functie van Q en bodemtypeparameters. Door het optreden van verschillende geldigheidsranges per gewas zal hierbij ook een correlatiecoëfficiënt ongelijk aan  $\pm 1$  voorkomen. Het metamodel introduceert dus een extra onzekerheid t.o.v. de uitkomst van het rekenschema, maar is wel makkelijker bruikbaar.



*Figuur 9.1.1: Fictief voorbeeld BCF als functie van Q ter verduidelijking van plaats van BCF(Q95)*

brengt de rol van de BCF(Q95) in beeld (met fictieve getallen). Het merendeel van de meetdata ligt in de range tussen Q5 en Q95. In deze range kan een redelijk nauwkeurige inschatting van de BCF als functie van Q worden gemaakt. De extrapolaties daarbuiten worden al snel onnauwkeurig. De Interventiewaarde waarbij een inschatting is gevraagd ligt ver buiten de range Q5-Q95. Er wordt een afschatting gedaan voor maximale accumulatie in het gewas. Bij monotoon dalende BCF met Q ligt de BCF(IW) tenminste onder de BCF(Q95). (Een alternatief zou zijn geweest om een gewenste zekerheid vast te stellen en de bovengrens bij de Interventiewaarde daarvoor te schatten).

## 9.2 De generieke BCF waarden voor berekening interventiewaarden

In Tabel 9.1 zijn de in dit rapport berekende generieke consumptiegemiddelde BCF-waarden gegeven. Deze BCF-waarden zijn berekend voor het gebied rondom de huidige interventiewaarden en voor de huidige standaardbodem. Als onafhankelijke toetsing van het resultaat is op dezelfde manier de BCF berekend uit de gegevens van de dataset van Maasoevergegevens (zie Bijlage B8). Ter vergelijking met resultaten uit de internationale literatuur zijn uitkomsten van UMS en DoE gegeven (zie paragrafen 8.2.1 en 8.2.2). In de laatste 2 gevallen was geen volledige correctie mogelijk.

*Tabel 9.1: Vergelijking van generieke BCF -waarden uit verschillende onderzoeken gecorrigeerd voor het niveau van interventiewaarden en de huidige standaardbodem*

Q= IW pH= 6 OC= 5.8 % L = 25 %	dataset 1 (dit rapport, sectie 6.4) voornamelijk gebaseerd op: Volkstuinen en onderzoek Wiersma et al. (1986)	dataset 2 (dit rapport, Tabel B. 33) Maasoevers	UMS (geen correctie voor concentratie, wel voor OC%, L%, pH)	Bechtel Jacobs (DoE, moestuingewassen, granen, grassen, alleen correctie Q en pH) (*)
As	0.009	0.002	0.04	0.024 (0.031)
Cd	0.31	0.17	0.5	0.20 (0.36)
Cu	0.20	0.19	0.2	0.06 (0.15)
Hg	0.15	0.03	0.05	0.08 (0.33)
Ni	0.028	-	0.18	0.08 (0.16)
Pb	0.017	0.006	0.010	0.012 (0.014)
Zn	0.18	0.16	0.9	0.29 (0.29)

(\*) tussen haakjes de waarden bij Q95 van dataset 1 huidige standaardbodem:

Er kan geconcludeerd worden dat er substantiële verschillen zijn in de uitkomsten. Een belangrijke oorzaak is de reikwijdte van de correcties voor bodemtype en totaalgehalte in de bodem. Deze komen voort uit de verschillen in ranges van bodemtypen van de oorspronkelijke datasets.

Daarnaast zijn er verschillen tussen de datasets in de verdeling van data over gewassoorten en verontreinigingstypen. De gegevens van DoE zijn mede gebaseerd zijn op granen en grassen. De gegevens van de datasets 1 en 2 betreffen uitsluitend moestuingewassen.

Het belang van de correctie op het totaalgehalte blijkt duidelijk uit de analyse van de resultaten van de laatste kolom: hier zijn de BCF -waarden berekend op het niveau van de huidige interventiewaarden (Q95 van DoE-gegevens is niet bekend). Tussen haakjes in de laatste kolom zijn de waarden volgens de DoE gegevens vermeld bij de Q95 van dataset 1. Dit gehalte ligt lager dan de huidige interventiewaarde (behalve bij Zn). Gevolg is in alle gevallen (behalve bij Zn) een hogere BCF. Voor Cd, Cu, Hg, Pb betekent dit een correctie in de richting van de resultaten van dataset 1. Dit is echter niet het geval voor As en Ni.

Mogelijk zijn hiervoor bodemtypecorrecties voor lutum en organisch stof meer van belang. De resultaten van dataset 2 zijn gebruikt voor onafhankelijke validatie van het resultaat. De gevonden verschillen hangen samen met het traject van totaalgehalten van de datasets. Tabel 9.2 geeft de Q95 waarden. Het blijkt dat steeds de BCF lager is als de Q95 hoger is, behalve bij Zn. (Verschillen in OC%, L% en pH tussen de datasets zijn hierbij buiten beschouwing gehouden.)

De data van beide datasets zijn niet gecombineerd omdat de dataset 2 in een te laat stadium beschikbaar kwam. Bovendien lijkt het meer raadzaam om de berekeningen voor verschillende verontreinigingstypen apart uit te voeren en de datasets gescheiden te houden. (Het onderzoek naar variatie met verontreinigingstypen is in dit rapport echter nog niet verder doorgevoerd.)

Ter verbetering van de resultaten van dataset 1 kan evt. gebruik gemaakt worden van de resultaten van beide datasets door middeling. Hierbij dient bedacht te worden dat de beide datasets zijn opgebouwd met uiteenlopende aantallen meetpunten. Een aantalgemiddelde ligt dus voor de hand. Zie voor dit resultaat de laatste kolom van Tabel 9.2. Hierbij blijkt dat de toevoeging van dataset 2 leidt tot een verschil met dataset 1 van maximaal ca. 25% (bij Hg waarbij de Q95 van dataset 2 1,6 maal zo groot is als van dataset 1). Het resultaat is dus redelijk robuust.

*Tabel 9.2: Vergelijking van dataset 1 en dataset 2*

	Q95 dataset 1	Q95 dataset 2	aantal meetpunten dataset 1	aantal meetpunten dataset 2	combinatie datasets 1 en 2 aantal gemiddelde BCF
As	24	54	270	144	0,007
Cd	3.2	3.2	749	144	0,29
Cu	45	49	45	144	0,19
Hg	0.2	0.32	271	144	0,11
Ni	44	-	36	-	0,028
Pb	359	180	834	144	0,015
Zn	748	479	50	144	0,17

Tenslotte is een vergelijkingstabel gemaakt als Tabel 9.1 voor BCF-waarden bij de voorgestelde standaardbodem (Otte et al., 2001). Het voordeel hiervan is dat er minder extrapolaties nodig zijn buiten de ranges van bodemparameters van de datasets, omdat de voorgestelde standaardbodem meer representatief is voor in Nederland voorkomende bodems. Het probleem van een Q95 die meestal kleiner is dan de huidige interventiewaarde blijft hierbij echter ook bestaan.

*Tabel 9.3: Vergelijking van generieke BCF -waarden uit verschillende onderzoeken  
gecorrigeerd voor het niveau van interventiewaarden en de voorgestelde standaardbodem*

Q=IW pH=5 OC = 2.9 % L = 20 %	dataset 1 (dit rapport, sectie 6.4) Volkstuinen en onderzoek Wiersma et al. (1986)	dataset 2 (dit rapport, Tabel B. 33) Maasoevers	UMS (geen correctie voor Q, wel pH, OC%, L%)	Bechtel Jacobs (DoE, moestuingewassen, granen, grassen, alleen correctie Q en pH)
As	0.009	0.002	0.05	0.024 (0.031)
Cd	0.35	0.22	2	0.26 (0.47)
Cu	0.33	0.19	0.4	0.06 (0.15)
Hg	0.15	0.03	0.10	0.05 (0.22)
Ni	0.030	-	0.30	0.06 (0.12)
Pb	0.020	0.006	0.04	0.012 (0.014)
Zn	0.18	0.17	2	0.36 (0.36)

Het verschil met de resultaten bij de huidige standaardbodem is beperkt. Bij Cu is er een substantieel verschil dat waarschijnlijk samenhangt met de gevoeligheid van de mobiliteit van Cu voor het organisch stof gehalte in de bodem. In het algemeen lijken variaties door verschillen in ranges van totaalgehalten meer bepalend.

De kolom voor dataset 1 geeft in Tabel 9.1 en Tabel 9.3de voorgestelde BCF-waarde voor gebruik bij afleiding van de interventiewaarde. De inschattingen uit dataset 1 komen voor alle metalen behalve Ni binnen een factor 3 overeen met de resultaten van Bechtel Jacobs (bij correctie voor vergelijkbare concentratierange). Vergelijken met UMS is dat alleen het geval voor : Cd, Cu, Hg, Pb. De waarden van UMS zijn echter meer gebaseerd op expert-judgment dan op meetdata.

Gezien het bovenstaande lijken met name de inschattingen voor Cd, Cu, Pb, Zn redelijk betrouwbaar en in de overige gevallen (As, Ni, Hg) is de kans groter dat verder onderzoek tot afwijkende waarden kunnen leiden. De bronnen van onzekerheid verschillen per metaal.

Gezien de vergelijking met andere inschattingen in de literatuur kan dit leiden tot verschillen in de orde van grootte van een factor 2-3.

In Tabel 9.4 wordt een vergelijking gemaakt met de BCF-waarden die eerder gebruikt zijn voor de berekening van de interventiewaarden en eerdere inschattingen met beperkte correcties voor bodemtype en concentratie. Er is een karakterisatie opgenomen op het gebied van (1) overeenstemming in de keuze van gewassen, (2) totaalgehalten bodem (3) bodemtype.

*Tabel 9.4: Inschattingen BCF uit studies met beperkte correcties voor bodemtype en niveau totaalgehalte bodem*

	Baes 1984	Sauerbeck en Lübben	Bockting en Van den Berg	dataset 1
keuze gewassen	landbouw	landbouw	moestuin, zonodig aangevuld met andere gewassen	moestuin-gewassen
totaalgehalte bodem	geen correctie	IV/Q95 (*)	geen correctie	IV/Q95
bodemtype	geen correctie	geen correctie	geen correctie	correctie naar huidige standaardbodem
As	0.04	-	0.021	0.009
Cd	0.55	0.60	0.37	0.31
Cu	0.40	0.51	0.10	0.20
Hg	0.90	-	0.02	0.15
Ni	0.06	0.31	0.082	0.028
Pb	0.045	0.04	0.013	0.017
Zn	1.5	0.30	0.22	0.18

(\*) keuze overeenkomend met die van dataset 1 (om reden van vergelijkbaarheid)

#### Concluderend voor de generieke BCF:

- Bij vergelijking van de in dit rapport afgeleide waarden (daatset 1) met de eerder voor de berekening van de interventiewaarden gebruikte waarden van Bockting en Van den Berg (1992), blijken de verschillen gezien de onzekerheden vaak gering te zijn. Er wordt nu een lagere BCF voorgesteld voor As, Cd, Ni, Hg, Zn en een hogere BCF voor Cu en Pb. De verschillen zijn een factor 2 of groter voor As, Cu, Hg en Ni.

- De toetsing van de resultaten op de dataset van Maasoevergronden leert dat het resultaat redelijk robuust is.
- De BCF is sterk afhankelijk van het totaalgehalte in de bodem en de resultaten van de berekeningen met verschillende datasets worden sterk beïnvloed door de verschillen in de ranges van totaalgehalten per dataset. Dit komt door de procedure van het afkappen op Q95. Bij extrapolaties buiten de ranges van de dataset treedt echter ook sterke onzekerheid op.
- De resultaten voor Cd, Cu, Pb en Zn lijken redelijk betrouwbaar te kunnen worden afgeleid. Bij de resultaten voor As, Hg en Ni is er meer onzekerheid. In het laatste geval kan gedacht worden aan mogelijke verschillen met een factor 2-3 bij verdergaand onderzoek.

### 9.3 De BCF-waarden voor inschattingen van actueel risico

Belangrijkste factoren die totstandkoming van de BCF beïnvloeden zijn:

- de keuze van de gewassen en gewasdelen
- de invloed van de concentratie
- de invloed van pH
- de invloed van organisch stof en lutumgehalte
- de verontreinigingsmatrix.

De eerste vier punten zijn verwerkt in de rekenmethode. Voor verwerking van de laatste factor in dit rapport ontbraken ons voldoende gegevens.

Andere gegevens zoals seizoensinvloeden, variaties voor aardappelrassen e.d., calcium, ijzer en aluminium gehalten in de bodem, ouderdom van de verontreiniging, variaties in oogstijdstippen, bemestingsschema's, relatie worteldiepte en ruimtelijke verdeling van de verontreiniging, invloed van depositie zijn niet in de berekeningsmethode verwerkt. Er wordt van uitgegaan dat deze door verzameling van gegevens uit uiteenlopende bronnen voldoende variatie opleveren om hierover te middelen.

Voor actuele inschattingen kunnen met de gegevens uit dit rapport inschattingen worden gemaakt voor het gehalte in de plant rekening houdend met het actuele bodemtype en het actuele consumptiepakket.

De uitkomsten van individuele gewassen zijn te vinden in de hoofdstukken 4 en 5. Hoofdstuk 4 bevat gemiddelde en ranges van plantgehalten en geldigheidsranges in termen van BCF-waarden. Hoofdstuk 5 bevat de modellering van BCF als functie van totaalgehalten en bodemtypen. Hiermee kunnen gehalten in individuele planten ingeschat worden. Bij de huidige stand van onderzoek moet het geen verbazing wekken als verschillen met gemeten waarden in veel gevallen een factor 2-5 bedragen.

De hoofdstukken 6 en 7 gaan in op de modellering van een generieke consumptiegemiddelde BCF, te gebruiken voor berekening van gemiddelde risico's. In hoofdstuk 6 wordt het rekenschema uitgewerkt. In hoofdstuk 7 wordt met de berekende waarden voor de generieke consumptiegemiddelde BCF als functie van totaalgehalten en bodemtypen een metamodel afgeleid. Dit is makkelijker hanterbaar maar minder nauwkeurig dan het rekenschema. Door de eis van aantoonbaarheid en het afkappen bij de gehanteerde geldigheidrange van bodempараметers heeft de inschatting het karakter van een gematigde "worst case" benadering in relatie tot de risico's.

Voor de getalsmatige uitwerking wordt verwezen naar de betreffende hoofdstukken.

## 9.4 Veldproeven bij beoordeling verontreinigde bodems

Gezien de beperkte zekerheid van de beschrijving van plantenopname kan worden toegewerkt naar een getrapte beoordeling van de “actuele” opname van de verontreiniging uit de bodem. Hierin wordt als eerste stap een globale verkennende berekening gemaakt met de standaardset van bodemparameters. Als dit aanleiding geeft tot een vermoeden van een ernstige bodemverontreiniging kan een tweede stap uitgevoerd worden waarbij dit nauwkeuriger wordt vastgesteld. In de tweede stap kunnen aanvullende gegevens over de bodemkarakteristiek worden verzameld en meegenomen, of biobeschikbaarheidsmetingen ( $\text{CaCl}_2$ - of EDTA-extracties) uitgevoerd of evt. onderzoek naar gewassen. De laatste 2 experimentele methoden kunnen o.a. van belang zijn om afwijkingen door het type verontreinigingsbron aan te tonen (dit kan sterk variabel zijn, een grote rol spelen en de invloed is bijna niet anders dan experimenteel te bepalen).

Dit kan alleen een succes zijn als er bij het onderzoek een motivering is om een vervolgstep uit te voeren. Bij de motivering om de tweede stap uit te voeren kunnen de volgende overwegingen spelen:

- bij de eerste stap is er een grotere onzekerheid; met een “worst case” benadering (bijv. 90-percentielberekening) leidt dit tot een hogere plantenopname, dus waarschijnlijk een te strenge inschatting van de blootstelling (beste schatting + onzekerheidsfactor).
- als de tweede stap wordt uitgevoerd, wordt de betrouwbaarheid vergroot en daarmee de onzekerheidsfactor verkleind, maar de beste schatting kan hoger of lager worden; het is waarschijnlijk dat de inschatting van de blootstelling minder streng wordt (maar zeker is dit niet, het hangt van de situatie af).
- de impact van de verbetering in de totale berekening: de inschatting van de blootstelling wordt niet alleen door de plantenopname bepaald; de mogelijke verbetering in de tweede stap hangt tevens af van onzekerheden in andere onderdelen van de berekening en van de grootte van de bijdrage van plantenopname in de inschatting van de blootstelling (bij de metalen is dit in het huidige csoil op het niveau van de humtox-ebcv voor Cd, Cu, Ni, Zn 80-95%, voor As, Cr, Pb, 30-50 %)<sup>7</sup>.

Om af te wegen of het voorstel voor een procedure bestaande uit 2 stappen zinvol is, zal naast mogelijke verbetering in de vaststelling van de plantenopname ook de invloed van het laatste punt nog moeten worden afgewogen.

## 9.5 Aanbevelingen

De voorgestelde BCF-waarden zijn met enige voorzichtigheid bruikbaar bij de berekening van interventiewaarden. De wijze van omgaan met onzekerheden dient te worden beschouwd in samenhang met de gehele modellering met CSOIL. De huidige inschattingen hebben door het afkappen bij de grenzen geldigheidsranges voor totaalgehalte in de bodem en bodemtypeparameters al enigszins het karakter van een “worst case” benadering. Een meer systematisch gebruik van percentielen bij de inschatting van de BCF in plaats van de inschatting van een gemiddelde BCF zou goed denkbaar zijn, omdat de BCF in de modellering van de HUMTOX EBVC vrij direct meetelt. In het algemeen bevelen wij een Monte Carlo analyse op het totale CSOIL model aan om beter inzicht in de onzekerheden te krijgen. In gevallen waarin de financiële consequenties groot zijn kan worden overwogen om veldproeven in te zetten zoals in de vorige sectie is omschreven.

De omrekening naar standaardbodem is met name een bron van onzekerheid omdat de gekozen standaardbodem ver buiten de gangbare bodemtypen voor moestuinen ligt en zeker buiten de bodemtypen van de beschikbare dataset. Het wordt dan ook aanbevolen om deze standaardbodem dichter bij de gangbare Nederlandse bodemtypen te leggen. De bodemtypecorrectie voor interventiewaarden zou kunnen uitgaan van de relaties met het bodemtype voor opname van metalen in planten. Dit is bij de berekening van de HUMTOX

EBVC het belangrijkste proces waarvoor bodemtypecorrectie nodig is. De huidige bodemtypecorrectie van de interventiewaarden is hier echter niet op gebaseerd. Het wordt aanbevolen een nieuwe bodemtypecorrectie te ontwikkelen door variaties te bepalen van de HUMTOX EBVC (SRC humaan) met bodemtypen via een CSOIL berekening met ingebouwde bodemtype afhankelijke relaties voor plantopname van metalen.

Voor een vervolgtraject wordt aanbevolen om:

- een systematische verzameling van meer data gehalten aan verontreinigingen in moestuin en (evt. andere) gewassen aan te leggen en daarin ook de gegevens op te nemen over gehalten in de bodem en bodemtypeparameters zoals pH, OC% en L%,
- evt. hierbij ook aandacht te besteden aan poriewatergehalten omdat het probleem hierbij vergelijkbaar is,
- evt. hierbij ook aandacht te besteden aan andere dan moestuingewassen i.r.t. ecologische en landbouwkundige risico's,
- hierbij onderscheid te maken naar verontreinigingsmatrix, dan wel na te gaan of een correctie hiervoor hanteerbaar is,
- bij het afleiden van relaties ook aandacht te besteden aan de competitie van metalen (synergisme en antagonisme) bij plantenopname
- afspraken te maken hoe in de beoordeling om te gaan met fytotoxiciteit en verminderde oogststopbrengst.



## Literatuur

Albering HJ, SM van Leusen, EJC Moonen, JA Hoogewerff, JCS Kleinjans, 1999. Human health risk assessment: a case study involving heavy metal contamination after the flooding of the river Meuse during the winter of 1993-1994 Environ-Health Perspect vol.107, ISS 1, 1999, p.37-43

Anderson PR, TH Christensen, 1983. Parameters controlling the distribution of Cd, Co, Ni and Zn in soils. In: Heavy metals in the environment, Proc. of International Conference Heidelberg 6-9 september (CEP Consultants Ltd., Edinburgh, UK)

Baes CF, RD Sharp, AL Sjoreen, RW Shor, 1984. A review and analysis of parameters for assessing transport of environmentally released radionucleotides through agriculture. ORNL-5786, Oak Ridge National Laboratories, Oak Ridge Tennessee, USA

Bechtel Jacobs, 1998. Empirical models for the uptake of inorganic chemicals from soil by plants. US Dept. of Energy, report no. BJC/OR-133

Berg R van den, 1995. Blootstelling van de mens aan bodemverontreiniging. Een kwalitatieve en kwantitatieve analyse, leidend tot voorstellen voor humaan toxicologische C-toetsingswaarden. RIVM rapport 725201006 (eerste versie: april 1991, herziene versie: maart 1995), RIVM, Bilthoven

Bockting GJM, R. van den Berg, 1992. De accumulatie van sporenmetalen in groenten geteeld op verontreinigde bodems. Een literatuurstudie. RIVM-rapport no. 725201009, RIVM, Bilthoven

Christensen TH, JC Tjell, 1984. Interpretation of experimental results on Cadmium crop uptake from sewage sludge amended soil. In: Processing and Use of Sewage Sludge , Proc. of the Third International Symposium, Brighton September 27-30, 1983 (Reidel Publishing Company, Dordrecht)

Davis RD, 1984. Crop uptake of metals from sludge treated soil and its implications for soil fertility and for the human diet. In: Processing and Use of Sewage Sludge , Proc. of the Third International Symposium, Brighton, September 27-30, 1983 (Reidel Publishing Company, Dordrecht)

Dooren-Flipsen, MMH van, JD van Klaveren, G Donkersgoed, 1996. Theoretical maximum daily intake of pesticide residues in de Netherlands - a model for Risk assessment (Report 96.28). RIKILT-DLO, Wageningen, september 1996.

Driel W van, JF Feenstra, ChH Henkens, PJ Meijer, 1984. Cadmium in de Nederlandse landbouw. Toxicologische Communicaties, data en documentatie 7.3(1984) 10-15

Driel W van, B van Luit, W Schuurmans, W de Vries, MJ Stienen, 1988. Zware metalen in oevergronden en daarop verbouwde gewassen in het stroomgebied van Maas, Geul, en Roer in de provincie Limburg. Deel 3. Bodem-gewas relaties. Rapport van de projectgroep zware metalen in oevergronden van Maas en zijrivieren, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, IB, Haren

Driel W van, JW Dalenberg, 1989. Bijdrage van atmosferische depositie aan de opname van lood en cadmium door veldgewassen. In: Jaarverslag 1986-1988 IB, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren

Dudka S, M Piotrowska, H Terelak, 1996. Transfer of cadmium, lead and zinc from industrially contaminated soil to crop plants: a field study. Environmental Pollution. Vol. 94. No. 2. pp. 181-188. 1996

Efroymson, RA, ME Will, GW Suter II, AC Wooten, 1997. Toxicological Benchmarks for Screening Contaminants of Potential Concern for Effects on Terrestrial Plants: 1997 Revision. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. ES/ER/TM-85/R3

EPA, 1997. Exposure factors Handbook. (section 9 table 27), Washington

EPA, CEA, 1999. Estimating risks from contaminants contained in agricultural fertilizers (Draft report august 1999), Washington

Förstner U, 1985. Chemical forms and reactivities of metals in sediments. In: Leschber R, RD Davis, P. L'Hermite, 1985 Chemical methods for assessing bio-available metals in sludges and soils, Elsevier, London

Fresenius Consult GmbH, focon-Ingenieursgesellschaft mbH, 1993. Umweltmedizinische Beurteilung der Exposition durch Altlastbedingte Schadstoffe (UMS) Umweltbundesamt, Berlin, 1993

Gestel CAM van, EM Dirven-van Breemen, JW Kamerman, 1992a. Beoordeling van gereinigde grond IV Toepassing van bioassays met planten en regenwormen op referentiegronden. RIVM rapport 216402004, RIVM, Bilthoven

Gestel CAM van, EM Dirven-van Breemen. JW Kamerman, 1992b. Beoordeling van gereinigde grond V Toepassing van bioassays met planten en regenwormen op verontreinigde en gereinigde gronden. RIVM rapport 216402005 RIVM, Bilthoven

Henkens ChH, KW Smilde, 1989. In: Bodembescherming, Handboek voor Milieubeheer, Samson HD Tjeenk Willink Alphen aan de Rijn.

Herms U, Brümmer G, 1983. Influence of different types of natural organic matter on the solubility of heavy metals in soils. In: Environmental effects of organic and inorganic contaminants in sewage sludge. Proc. of a workshop held in Stevenage May 25-26, 1982 (Reidel Publishing Company, Dordrecht)

Hetrick DM, LM McDowell-Bayer, 1984. Users manual for Toxscreen, EPA report no. 560/5-83-024, Washington

Hoop, MAGT van den, 1996. Metal speciation in Dutch soils: Field based partition coefficients for heavy metals at background levels. RIVM-rapport 719101013, RIVM, Bilthoven

Hovmand MF, JC Tjell, H Mosbaek, 1983. Plant uptake of airborn Cadmium. Env. Poll. (series A) 30, 27-38

Huinink J, P Rens, PE Hogendam et al., 1999. Functiegerichte BodemkwaliteitSystematiek 2. Functiegerichte bodemkwaliteitswaarden, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij

Janssen RPT, Pretorius PJ, Peijnenburg WJGM, Hoop MAGT van den (1996) Determination of field-based partition coefficients for heavy metals in Dutch soils and the relationship of these coefficients with soil characteristics. RIVM report nr. 719101203, RIVM, Bilthoven

Kampe W, 1984. Cd and Pb in the consumption of foodstuffs depending on various contents of heavy metals, Results of total diet studies. In: Processing and Use of Sewage Sludge, Proc. of the Third International Symposium Brighton , September 27-30, 1983 (Reidel Publishing Company, Dordrecht 1984)

Krebs R, Gupta SK, Furrer G, Schulin R, 1998. Solubility and plant uptake of metals with and without liming of sludge-amended soils. J. Environ. Qual.. Vol. 27. Jan-Feb 1998.

Lexmond ThM, Edelman Th, 1992. Huidige achtergrondwaarde van het gehalte aan een aantal zware metalen en arseen in grond. In: Bodembescherming, Handboek voor Milieubeheer, Samson HD Tjeenk Willink Alphen aan de Rijn.

Lijzen JPA, Baars AJ, Otte PF, Rikken MGJ, Swartjes FA, Verbruggen EMJ, van Wezel AP, 2001. Technical evaluation of the Intervention Values for Soil/Sediment and Groundwater, RIVM report 711710023, RIVM, Bilthoven

Logan TJ, LE Goins, BJ Lindsay, 1997. Field assessment of trace element uptake by six vegetables from N-Viro soil. Water Environment Research. 69 (1). Vol. 69. Number 1. 28-33.1997.

Lübben S, D Sauerbeck, 1991. Transferfactoren und Transferkoeffizienten für den Schwermetalleübergang Boden-Pflanze. In: Auswirkungen von Siedlungsabfällen auf Böden, Bodenorganismen und Pflanzen, eds Sauerbeck, Lübben, Forschungszentrum Jülich

Mellum HK, AKM Arnesen, BR Singh, 1998. Extractability and plant uptake of heavy metals in Alum Shale Soils. Commun. Soil Soc. Plant Anal.. 29 (9&10). 1183-1198 (1998)

Otte JG, PFAM Römkens, A Tiktak, W de Vries, 2000. Partitierelaties voor zware metalen (Cd, Cu, Pb, Zn) voor diffuus verontreinigde Nederlandse bodems. Rapporten PGBO deel 30, Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek Wageningen / SKB Gouda

Otte PF, JPA Lijzen, JG Otte, FA Swartjes, CW Versluijs (2001). Evaluation and revision of the CSOIL parameter set. RIVM-report 711701 021 RIVM, Bilthoven

Peijnenburg W, R Baerselman, A de Groot, T Jager, D Leenders, L Posthuma, R van Veen, in press. Quantification of metal bioavailability for lettuce (*Lactuca Sativa L.*) in field soils. Archives Environmental Contamination and Toxicology

Römkens P, 1999. Persoonlijke mededelingen

Sauerbeck D, 1990. Transfer of heavy metals in plants. In: Hazard Assessment of Chemical Contaminants in Soil, Technical Report no. 40, European Chemical Industry Ecology and Toxicology Center, Brussel

Sauerbeck DR, Styperek P, 1985. Evaluation of chemical methods for assessing the Cd en Zn availability from different soils and sources. In: Leschber R, RD Davis, P. L'Hermite , 1985 Chemical methods for assessing bio-available metals in sludges and soils, Elsevier, London

Stubenrauch S, A Mahr, D Bauer, HJ Koschmieder, D Grünhoff, 1997. UMS-System zur Altlastenbeurteilung - Instrumente für die Pfadübergreifende Abschätzung und Beurteilung von altlastverdächtigen Flächen -Abschlussbericht - Anhang 1 : Expositionsszenario-spezifische Beschreibung der Ableitungsvoraussetzungen der Transfer- und Expositionsdaten, 4.3 Expositionspfad Pflanze oral; ARGE Fresenius-focon (im Auftrag des Umweltbundesamtes), F&E Vorhaben 109 01 215

Torn P, BJA van der Groot, F Woudenberg, 1994. BIO Bodemverontreiniging in Volkstuinen Rotterdam. Gemeentewerken Rotterdam

Versluijs CW, R. Koops, P. Kreule, MFW Waitz, 1998a. The accumulation of soil contaminants in crops, location-specific calculation based on the CSOIL module. Part I Evaluation and suggestions for model development, RIVM report 711701008, RIVM, Bilthoven

Versluijs CW, Lijzen JPA, Otte PF, Jager DT, 1998b. De accumulatie van bodemverontreinigende stoffen in planten, locatie-specifieke berekeningen, gebaseerd op de module in CSOIL. Voortgangsrapport 1997. Werkdocument project 711703, RIVM, Bilthoven.

Werf P van der, 1999. Een alternatieve methode voor het modelleren van metaalopname door moestuingewassen . projectnummer 398101, Van Hall Instituut, Leeuwarden

Wichman W et al., 1999. World Fertilizer Use Manual (IFA, International Fertilizer Industry Association, 1999; [www.fertilizer.org/PUBLISH/PUBMAN/manual.htm](http://www.fertilizer.org/PUBLISH/PUBMAN/manual.htm))

Wiersma D, BJ van Goor, NJ van der Veen, 1986. Cadmium, lead, mercury and arsenic concentrations in crops and corresponding soils in the Netherlands. Agric. Food Chem. 34. 6. p. 1067-74

Wilde PGM de, J Keijzer, GLJ Janssen, ThG Aalbers, C Zevenbergen 1992. Beoordeling van gereinigde grond I. Uitloogkarakteristieken en chemische samenstelling van referentiegronden, RIVM report 216402001, RIVM, Bilthoven.

Will ME, GE Suter II (1995). Toxicological Benchmarks for Screening Potentials Contaminants of Concern for Effects on Terrestrial Plants: 195 Revision. US Department of Energy Oak Ridge Tennessee

## Bijlage 1: Verzendlijst

- 1- 6 DGM/BWL-directeur, Drs. J.A. Suurland  
7 Plv. Directeur-Generaal Milieubeheer, VROM, Dr.ir. B.C.J. Zoeteman  
8 Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Bodem, Water en Landelijk gebied,  
Afdeling Landelijk gebied en Bodembeheer, Dr. J.M. Roels  
9 Hoofdinspectie van de Volksgezondheid voor de Milieuhygiëne, Mr. G.J.R. Wolters  
10-14 Regionale Inspecties van de Volksgezondheid voor de Milieuhygiëne  
15 Mr. drs. A. Gravesteijn (DGM/BWL)  
16 Drs. N.H.S.M. de Wit (DGM/BWL)  
17 Dr. ir. A.E. Boekhold (DGM/BWL)  
18 Dr. T. Crommentuijn (DGM/BWL)  
19 Mr. A.B. Holtkamp (DGM/LMV)  
20 Dr. J.A. van Zorge (DGM/SAS)  
21 Dr. M.E.J. van der Weiden (DGM/SAS)  
22-44 Onderzoeksbegeleidingsgroep ECO, via dr. D.T.H.M. Sijm (RIVM-CSR)  
45-61 Onderzoeksbegeleidingsgroep HUMAAN, via ir. J.P.A. Lijzen (RIVM-LBG)  
62-70 Leden Werkgroep UI, via Dr. T. Crommentuijn (DGM/BWL)  
71 VNG/WEB, via J. Verburg (VNG, Den Haag)  
72 IPO/ABO, via F. Kok (Prov. Zuid-Holland, Den Haag)  
73 NARIP, via Dr. H. Leenaers (NITG-TNO, Delft)  
74 ONRI-werkgroep bodem, via Drs. M.F.X. Veul (Witteveen en Bos, Deventer)  
75 CLARINET, via Mr. H. Kasamas (CLARINET office, Vienna, Austria)  
76 Dr. N. Earl (University of Nottingham, UK)  
77 Ir. C. Cornelis (VITO, Belgium)  
78 Dr. D. Müller (Umweltbundesamt, Vienna ,Austria)  
79 Dr. R. Bonnart (INERIS, Verneuil-en-Halatte, France)  
80 Dr. J. Brogan (EPA, Dublin, Ireland)  
81 Dr. F. Quercia (ANPA, Rome, Italy)  
82 Dr. C. Jorge (LNEC, Lissabon, Portugal)  
83 Dr. J. Sovari (Finish Environment Institute, Helsinki, Finland)  
84 S. Stubenrauch (Arge Fresenius, Erlangen D)  
85 Prof. dr. L. Bender (Fachhochschule Osnabrück, D)  
86 Dr. S. Trapp (institut fur Umweltforschung Universitat Osnabrück, D)  
87 Dr. W. Kördel (fraunhofer Institut fur Umweltchemie, D)  
88 Dr. Th. Delschen ( LUA, Essen, D)  
89 Dr. M. McLaughlin (CSIRO, Adelaide, AU)  
90 Dr. J. Vegter (TCB, Den Haag)  
91 Ir. T.M. Lexmond (WUR, Wageningen)  
92 Drs. J. Wezenbeek (Grontmij, Houten)  
93 Ing. P.J. Smit (Van Hall Instituut, Groningen)  
94 Dr. ir. P. Römkens (Alterra, Wageningen)  
95 Dr. ir. W. de Vries (Alterra, Wageningen)  
96 Dr. B. Bosveld (Alterra, Wageningen)  
97 Drs. J.J. Schreuder (DHV)  
98 Dr. C.A.M. van Gestel (VU Amsterdam)  
99 Dr. ir. G.A. Pak (CLM)  
100 Drs. P. Kreule (TAUW)  
101 Drs. M.F.W. Waitz (TAUW)  
102 Dr. A. Sinke (TNO-MEP)  
103 Drs. J. Tuinstra (IWACO)  
104 Dr. I. Canter-Cremers (IWACO)  
105 Drs. E. van der Plassche (Haskoning)

- 106 Dr. V. Dries (OVAM)  
107 Dr. J. Vink (RIZA)  
108 Drs. M. van Elswijk (RIZA)  
109 Dr. D. den Besten (RIZA)  
110 Ir. A.B. Roeloffzen (Gemeentewerken Rotterdam)  
111 Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie  
112 Directie van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu  
113 Prof.ir. N.D.van Egmond (dir. Milieu)  
114 Ir. F. Langeweg (dir. Sector Milieuonderzoek)  
115 Dr. ir. G. de Mik (dir. Sector Stoffen en Risico's)  
116 Dr. W.H. Könemann (hCSR)  
117 Ir. R. van den Berg (hLBG)  
118 Ir. J.J.G. Kliest (hIEM)  
119 Dr. R.C.G.M. Smetsers (hLSO)  
120 Ir. A.H.M. Bresser (hLWD)  
121 Dr. A. Opperhuizen (hLEO)  
122 Drs. J.H. Canton (hECO)  
123 Dr. A.P. van Wezel (CSR)  
124 Prof.dr. C.J. van Leeuwen (CSR)  
125 Drs. T.G. Vermeire (CSR)  
126 Ing. P. Janssen (CSR)  
127 Drs. M.G.J. Rikken (CSR)  
128 Dr. E.M.J. Verbruggen (CSR)  
129 Dr. A.J. Baars (CSR)  
130 Dr. T. Traas (CSR)  
131 Drs. D.T. Jager (ECO)  
132 Dr. W. Peijnenburg (ECO)  
133 Dr. L. Postuma (ECO)  
134 Dr. M. Rutgers (ECO)  
135 Dr. A.J.A.M. Sips (LBM)  
136 Dr. M.P.M. Janssen (LSO)  
137 Drs. B.J. de Haan (LBG)  
138 Dr. H.W. Köster (LBG)  
139 Ir. R.O.G. Franken (LBG)  
140 Dr.ir. F.A. Swartjes (LBG)  
141 ir. J.P.A. Lijzen (LBG)  
143- 144 Auteurs  
145 SBD/Voorlichting and Public Relations  
146 Bureau Rapportenregistratie  
147 Bibliotheek RIVM  
148 Bibliotheek RIVM, depot LBG  
149 Bibliotheek CSR  
150-170 Bureau Rapportenbeheer  
171-180 Reserve exemplaren

## Bijlage 2: Poriewater relaties volgens R. Koops op basis van selectie verontreinigde bodems uit Janssen-Hoop dataset

R. Koops, C.W. Versluijs

De plantenopname wordt beïnvloed door mobiliteit van de metalen in de bodem. Hierbij spelen pH, redoxpotentiaal en adsorptiecapaciteit een rol. De laatste is afhankelijk van hoeveelheid en aard organisch stof (en daarmee ook weer van pH), van oppervlak minerale deeltjes (voornamelijk bepaald door lutum gehalte). De adsorptiecapaciteit is van belang i.r.t. de concentratie van het betreffende metaal en de metalen hoger in de verdringingsreeks en de totale ionsterkte (als meest bepalende voor activiteit en adsorptiedrag). Een bevredigende modellering van dit complexe gedrag in de bodem is niet bekend. Bij het RIVM wordt gewerkt met Freundlich-adsorptie-isothermen die worden gebruikt als empirische vergelijkingen van de vorm:

$$Q_p = 10^a \cdot Q^b \cdot [H^+]^{-c} \cdot L^d \cdot O^e$$

Met a,b,c,d,e = coëfficiënten verkregen uit numerieke aanpassing van experimentele gegevens

Q<sub>p</sub> = concentratie betreffende metaal in poriewater

Q = totaal-concentratie betreffende metaal in bodem

L = percentage lutumdeeltjes (< 50-64 µm) in de bodem

O =percentage organisch koolstof

Deze vergelijkingen zijn experimenteel getoetst in bodems over een beperkt traject van concentraties en bodempараметers. Extrapolatie vanuit dit traject is maar heel beperkt mogelijk.

Gezien het hier benodigde concentratietraject rond interventiewaarden is door Koops in kader van dit project een berekening gedaan van de coëfficiënten van de afhankelijkheden in dit concentratietraject.

Uit onderzoek Koops voor plantenopname project:

*Tabel B. 1: Formules voor de afhankelijkheid van poriewaterconcentraties van standaardbodemparameters ( $\log = {}^{10}\log$ ) (selectie Janssen-Hoop dataset)*

	Log[met]pw = constante + b * Log [Q] + c * pHKCL + d * log (klei) + e * log (OM)					
	factoren voor de bovenstaande formule					Verklaarde variantie %
stof	constante	Log(Q)	pHKCL	Log(klei)	Log (OM)	R-SQ
As	-2.29	0.16	0.02	-0.53	0.16	22.7
Cd	-1.18	0.61	-0.26	-0.60	0.33	78.7
Cr	-2.40	0.14	-0.03	0.14	-0.11	29.5
Cu	-1.53	0.12	-0.07	-0.20	0.87	57.2
Ni	-1.59	0.71	-0.13	-0.33	-0.08	44.7
Pb	-2.90	1.26	-0.32	-0.47	0.45	65.8
Zn	0.372	0.82	-0.40	-0.50	-0.27	71.8

*Tabel B. 2 : Formules voor de afhankelijkheid van poriewaterconcentraties van standaard en additionele bodemparameters (selectie Janssen-Hoop dataset)*

	Log[met]pw = constante + b * Log [Q] + c * pHKCL + d * log (klei) + e * log (OM)+ f * log (Fe-ox)+ g * log (Al-ox)							Verklaarde variantie %
	factoren voor de bovenstaande formule							
stof	constante	Log(Q)	pHKCL	Log(klei)	Log (OM)	Log (Feox)	Log (Alox)	R-SQ
As	-1.78	0.87	0.05	-0.34	0.33	-0.90	-	59.4
Cd	-1.39	0.48	-0.32	-0.84	0.22	0.37	-	83.9
Cr	-2.39	0.04	-0.04	0.14	-0.14	0.10	-	34.9
Cu	-2.37	-0.31	0.01	-0.17	0.69	-	0.74	75.9
Ni	-2.69	0.40	-0.08	-0.24	-0.17	-	0.39	48.9
Pb	-2.84	1.28	-0.24	-0.29	0.65	-0.46	-	74.9
Zn	0.23	0.78	-0.38	-0.54	-0.31	-	0.10	71.8

De concentratieranges waarover bovenstaande relaties zijn bepaald zijn beperkt door de beschikbare gegevens. Voor ranges pH, org-C- en klei-gehalten in de Janssen-Hoop-set, zie Tabel B. 3. De beschikbare concentratie-ranges waar de Kd-relaties voor zijn afgeleid zijn:

*Tabel B. 3: Concentratieranges van dataset poriewatergegevens samengesteld op basis van selectie uit Janssen-Hoop dataset voor relatief hoge concentraties*

Metaal	Ondergrens concentratie range /IW	Bovengrens concentratie range /IW	SW [mg/kg ds]	IW [mg/kg ds]
As	0,03	2,02	29	55
Cd	0,00	5,81	0,8	12
Cr	0,02	0,59	100	380
Cu	0,01	0,80	36	190
Ni	0,01	0,47	35	210
Pb	0,20	2,16	85	530
Zn	0,02	7,57	140	720

Een correlatie tussen bijv. afhankelijkheid van pH en organisch koolstof kan met de gebruikte formule alleen indirect worden beschreven. Ontbrekende maar waarschijnlijk niet onbelangrijke factoren zijn de redox-potentiaal en het verontreinigingstype / de invloed van de verontreinigende matrix.

#### Basisvergelijking

$$\log(C\text{-poriewater}) = a + b \cdot \log (Q) + c \cdot \text{pH} + d \cdot \log (\text{OC}\%) + e \cdot \log (\text{L}\%)$$

$$\log = {}^{10}\log$$

C-poriewater = concentratie in poriewater

Q= totaalgehalte bodem

OC% = percentage organisch koolstof in bodem

L% = percentage lutum in bodem

a,b,c,d,e = uit velddata te bepalen empirische coëfficiënten

R<sup>2</sup> = correlatiecoëfficiënt

*Tabel B. 4: Coëfficiënten Freundlich-isotherm op basis van selectie uit Janssen-Hoop dataset*

	a	b	c	d	e	n	R^2	Q95
As	-2.29	0.16	0.02	0.16	-0.53	19	0.23	75
Cd	-1.18	0.61	-0.26	0.33	-0.60	33	0.79	20.4
Cr	-2.40	0.14	-0.03	-0.11	0.14	20	0.30	166
Cu	-1.53	0.12	-0.07	0.87	-0.20	33	0.57	127
Ni	-1.59	0.71	-0.13	-0.08	-0.33	33	0.45	2.7
Pb	-2.90	1.26	-0.32	0.45	-0.47	33	0.66	210
Zn	0.372	0.82	-0.40	-0.27	-0.50	33	0.72	2222

Op basis van de velddata van de Wilde et al., 1992, hebben Versluijs et al., (1998a) vergelijkbare relaties voor meerder metalen afgeleid.

*Tabel B. 5: Coëfficiënten Freundlich-isotherm op basis van dataset De Wilde, Versluijs (velddata)*

	a	b	c	d	e	n	R^2	Q95
As	0.42	0.16	0.09	-0.04	-0.29	19	0.21	28
Ba	1.69	0.09	0.08	0.05	0.25	35	0.68	212
Cd	0.83	0.05	-0.20	-0.13	0.23	36	0.40	5.4
Co	3.31	0.96	-0.49	-0.59	-0.53	8	0.28	12
Cr	2.77	0.46	-0.50	-0.25	-0.45	17	0.67	45
Cu	2.39	-0.11	-0.09	-0.02	0.15	28	0.24	33
Hg	-	-	-	-	-	-	-	0.3
Ni	1.24	-0.09	0.05	-0.38	0.50	29	0.16	43
Pb	3.43	0.10	-0.65	0.24	-0.68	35	0.85	135
Sn	-	-	-	-	-	-	-	28
V	1.75	0.31	-0.24	0.31	-0.59	19	0.66	54
Zn	3.30	0.17	-0.26	0.18	-0.22	35	0.48	720

De R^2 is i.h.a. laag omdat data van verschillende verontreinigingstypen zijn opgenomen. Voor volledige overzicht geldigheidsranges van parameters, zie uitwerking Versluijs, november 1999.



## Bijlage 3: Geldigheidsrange verklarende parameters per metaal per gewas

Tabel B. 6: Overzicht ranges per gewas in dataset als 5-95 percentielen, voor concentraties in plant en bodem en bodemtypeparameters

		C-plant	Q	pH	OC%	L%
As	alles	0.02 - 0.43	1.4 - 24	5.1 - 7.5	0.8 - 3.7	2 - 45
	aardappelen	0.02 - 0.15	4.2 - 34	5.4 - 7.6	0.9 - 3.4	6 - 50
	wortelen	0.07 - 0.62	1.2 - 13	5.0 - 7.5	0.6 - 3.2	0.5 - 11
	spinazie	0.10 - 0.28	2.0 - 19	5.1 - 7.4	1.0 - 4.4	3 - 42
Cd	alles	0.06 - 2.1	0.12 - 3.2	5.4 - 7.5	0.9 - 12.8	3 - 33
	aardappelen	0.04 - 0.3	0.19 - 1.7	5.3 - 7.6	0.8 - 3.4	6 - 48
	rode bieten	0.12 - 0.7	0.41 - 3.1	5.7 - 7.5	3.4 - 12.8	13 - 26
	wortelen	0.10 - 2.4	0.07 - 2.7	5.1 - 7.6	0.3 - 6.6	1 - 26
	radijs	2.0 - 20.4	2.6 - 42.7	6.0 - 7.2	4.1 - 5.8	24 - 30
	prei	0.05 - 0.2	0.41 - 2.5	5.7 - 7.5	3.4 - 12.8	12 - 26
	tomaat	0.23 - 0.9	0.02 - 2.4	6.8 - 8.3	2.9 - 2.9	12 - 12
	r&w kool	0.01 - 0.7	0.02 - 2.4	5.7 - 8.3	2.9 - 3.5	12 - 15
	boerenkool	0.11 - 0.5	0.08 - 0.4	5.7 - 7.5	3.4 - 12.8	12 - 26
	sla	0.24 - 1.6	0.39 - 3.3	5.7 - 7.5	2.9 - 12.8	12 - 29
	andijvie	0.21 - 2.3	0.17 - 2.4	5.7 - 7.5	3.4 - 12.8	12 - 30
	spinazie	0.30 - 2.2	0.68 - 7.0	4.9 - 7.4	1.1 - 4.4	3 - 42
	bonen	0.04 - 0.6	0.07 - 18.0	5.1 - 8.1	1.5 - 2.9	12 - 16
Cu	alles	3.4 - 21	21 - 45	5.2 - 8.4	1.6 - 3.5	12 - 16
	aardappelen	6.3 - 13	22 - 45	5.7 - 8.3	2.9 - 3.5	12 - 15
	wortelen	4.9 - 11	22 - 43	6.8 - 8.3	2.9 - 2.9	12 - 12
	tomaat	15 - 21	22 - 43	6.8 - 8.3	2.9 - 2.9	12 - 12
	r&w kool	2.1 - 4.0	22 - 45	5.7 - 8.3	2.9 - 3.5	12 - 15
	kropsla	8.1 - 15	22 - 43	6.8 - 8.3	2.9 - 2.9	12 - 12
	bonen	6.4 - 23	25 - 44	5.1 - 8.1	1.5 - 2.9	12 - 16
Hg	alles	0.002 - 0.11	0.01 - 0.21	5.1 - 7.5	0.8 - 3.7	2 - 45
	aardappelen	0.001 - 0.04	0.04 - 0.19	5.4 - 7.6	0.9 - 3.4	6 - 50
	wortelen	0.013 - 0.04	0.02 - 0.16	5.0 - 7.5	0.6 - 3.2	0.5 - 11
	spinazie	0.01 - 0.35	0.01 - 0.25	5.1 - 7.4	1.1 - 4.4	3 - 42
Ni	alles	0.2 - 3.8	19 - 44	6.8 - 6.8	2.9 - 3.7	12 - 16
	aardappelen	0.2 - 6.3	19 - 41	6.8 - 6.8	2.9 - 3.5	12 - 15
	wortelen	0.3 - 3.0	19 - 32	6.8 - 6.8	2.9 - 2.9	12 - 12
	tomaat	0.4 - 2.0	19 - 32	6.8 - 6.8	2.9 - 2.9	12 - 12
	r&w kool	0.2 - 1.2	19 - 41	6.8 - 6.8	2.9 - 3.5	12 - 15
	sla	0.5 - 1.1	19 - 32	6.8 - 6.8	2.9 - 2.9	12 - 12
	bonen	1.0 - 7.8	18 - 33	6.8 - 6.8	2.9 - 2.9	12 - 12
Pb	alles	0.1 - 6.1	10 - 359	5.0 - 7.5	0.9 - 12.8	2 - 33
	aardappelen	0.1 - 1.3	10 - 210	5.4 - 7.6	0.8 - 3.4	6 - 47
	rode bieten	0.2 - 2.1	57 - 369	5.7 - 7.5	1.9 - 12.8	12 - 26
	wortelen	0.2 - 2.4	6 - 144	5.1 - 7.5	0.6 - 4.0	1 - 30
	radijs	0.4 - 32	1 - 136	2.8 - 7.6	0.7 - 21.5	0.1 - 33
	uien	1.1 - 2.5	104 - 258	6.9 - 7.4	1.9 - 1.9	12 - 12
	prei	0.4 - 1.7	57 - 393	5.7 - 7.5	3.4 - 12.8	12 - 26

		C-plant	Q	pH	OC%	L%
	tomaat	0.1 - 1.1	11 - 155	6.8 - 8.3	2.9 - 2.9	12 - 12
	r&w kool	0.1 - 3.3	12 - 210	6.2 - 8.2	1.9 - 3.2	12 - 14
	boerenkool	2.4 - 8.4	57 - 393	5.7 - 7.5	3.4 - 12.8	12 - 26
	sla	0.3 - 7.4	26 - 393	3.3 - 7.5	2.0 - 12.8	1 - 30
	andijvie	1.0 - 5.6	57 - 393	5.7 - 7.5	3.2 - 12.8	12 - 26
	spinazie	0.5 - 2.6	16 - 80	5.1 - 7.4	1.1 - 4.4	3 - 42
	bonen	0.1 - 2.4	18 - 157	6.9 - 8.1	1.9 - 2.9	12 - 12
Zn	alles	19 - 147	57 - 748	5.2 - 8.4	0.5 - 3.3	6 - 16
	aardappelen	15 - 144	56 - 8364	6.1 - 8.2	0.4 - 3.3	6 - 14
	wortelen	18 - 44	84 - 238	6.8 - 8.4	2.9 - 2.9	12 - 12
	tomaat	36 - 1075	84 - 238	6.8 - 8.4	2.9 - 2.9	12 - 12
	r&w kool	20 - 31	84 - 238	5.7 - 8.3	2.9 - 3.5	12 - 15
	sla	40 - 97	84 - 238	6.8 - 8.3	2.9 - 2.9	12 - 12
	bonen	39 - 97	55 - 207	5.1 - 8.1	1.5 - 2.9	12 - 16

## Bijlage 4: Voorstel voor manier van correctie van de dataset voor de verontreinigingsmatrix

Een van de problemen met het bepalen van de bodemtypeafhankelijkheid van de BCF-waarden is dat de data niet gauw representatief zullen zijn voor alle mogelijke verontreinigingssituaties/matrices, wat eigenlijk wel de bedoeling is. In het algemeen zijn data van een beperkt aantal verontreinigingsmatrices verzameld. Deze introduceren een bepaalde afhankelijkheid van het totaalgehalte in de bodem (Q) van de bodemtypeparameters (zie o.a. de introductie bij hoofdstuk 5.1). Deze afhankelijkheid wordt o.a. bepaald door de verhouding van aantallen meetpunten die representatief zijn voor de verschillende mogelijke verontreinigingssituaties. Het is mogelijk om te corrigeren voor de bodemtypeafhankelijkheid van Q van de dataset, door deze apart te bepalen en hiermee als volgt nieuwe coëfficiënten te berekenen:

Uit de dataset kan worden bepaald (covarianties buiten beschouwing gelaten):

$$(1) \log(\text{Me-plant}) = a + b \cdot \log(Q) + c \cdot \text{pH} + d \cdot \log(\text{OC}\%) + e \cdot \log(\text{L}\%)$$

$$(2) \log(Q) = \alpha + \gamma \cdot \text{pH} + \delta \cdot \log(\text{OC}\%) + \varepsilon \cdot \log(\text{L}\%)$$

gecorrigeerde vergelijking:

$$(3) \log(\text{Me-plant}) = (a - b \cdot \alpha) + b \cdot \log(Q) + (c - b \cdot \gamma) \cdot \text{pH} + (d - b \cdot \delta) \cdot \log(\text{OC}\%) + (e - b \cdot \varepsilon) \cdot \log(\text{L}\%)$$

Namelijk, stel dat  $a_0, b_0, c_0, d_0, e_0$  uitsluitend de opname van de verontreiniging in de plant beschrijven voor een dataset met  $\alpha = \gamma = \delta = \varepsilon = 0$ . Als het opbrengen van verontreiniging gepaard is gegaan met beïnvloeding van de bodemparameters zoals beschreven in (2), dan zal voor deze dataset een superpositie van de 2 processen, verontreiniging en plantenopname, worden gevonden, beschreven door:

$$(3) \log(\text{Me-plant}) = (a_0 + b_0 \cdot \alpha) + b_0 \cdot \log(Q) + (c_0 + b_0 \cdot \gamma) \cdot \text{pH} + (d_0 + b_0 \cdot \delta) \cdot \log(\text{OC}\%) + (e_0 + b_0 \cdot \varepsilon) \cdot \log(\text{L}\%)$$

Uit de dataset waarvoor (2) geldt kunnen de coëfficiënten  $a, b, c, d, e$  en  $\alpha, \gamma, \delta, \varepsilon$  worden bepaald en  $a_0, \dots$  etc. berekend als  $a_0 = a - b \cdot \alpha, \dots$  etc.

De waarden  $a_0, b_0, \dots$  die uit een dataset kunnen worden berekend zijn minder afhankelijk van de toevallige beschikbaarheid van data van verschillende verontreinigingsmatrices en daarom beter standaardiseerbaar. Aangezien de bepaling van beide relaties (1) en (2) uit de relaties een onzekerheid zullen blijven bevatten zal de onzekerheid van de geschatte waarden voor  $a_0, b_0, \dots$  nog steeds bepaald worden door de dataset.

Dit is hieronder voor Cd als voorbeeld uitgewerkt. De factoren  $a, \dots e$  en ook  $\alpha, \gamma, \dots \varepsilon$  zijn per gewas verschillend, afhankelijk van beschikbaarheid meetpunten.

*Tabel B. 7: Voorstel voor correctie dataset voor berekening consumptiegemiddelde BCF Cd*

	weeg-factor	BCF(Q95) huidige standaard-bodem, zonder cor.	BCF(Q95) huidige standaard-bodem, met correctie	BCF(Q95) voorgestelde standaard-bodem, zonder cor.	BCF(Q95) voorgestelde standaard-bodem, met correctie
aardappelen	61,6	0,05	0,10	0,05	0,09
rode bieten	1,3	0,14	0,13	0,32	0,16
wortelen	3,4	0,62	0,61	0,76	1,02
radijs	0,05	0,57	0,03	0,77	0,62
prei	4,5	0,07	0,06	0,13	0,08
tomaat	3,2	0,71	1,58	1,48	4,8
rode en witte kool	1,6	0,00	0,00	4,7	0,0
boerenkool	1,6	0,11	0,10	0,23	0,07
sla	0,8	0,41	0,41	0,68	0,77
andijvie	0,9	0,42	0,32	0,46	0,18
spinazie	1,8	0,45	0,74	1,07	1,60
bonen	2,3	0,00	0,00	0,00	0,00
generiek (cons.gemid)		0,12	0,19	0,27	0,35

(Bij de berekeningen voor deze tabel zijn geen correcties uitgevoerd in de vorm van afkappen op randen geldigheidsrange bodemtypeparameters of vervanging van uitkomst door geometrisch gemiddelde bij niet-significante relaties.)

## Bijlage 5: Monte Carlo analyseonzekerheid Freundlich relaties per gewas

Voor ieder metaal kan uit de Freundlich-relaties per gewas een consumptiegemiddelde generieke BCF worden berekend per bodemtype en totaalgehalte in de bodem. Met behulp van de standaardfout van de coëfficiënten kan de onzekerheid in de resulterende BCF worden geanalyseerd. Hierbij bleek dat gegevens van sommige gewassen een grote bijdrage in de onzekerheid van de resulterende generieke BCF geven. Daarom zijn gegevens van sommige gewassen verworpen. De correlatiecoëfficiënt geeft echter om bovenstaande reden geen goed beeld van de bruikbaarheid van de gegevens van een gewas. Als criterium is genomen: de verhouding van de 90-percentiel en de 50-percentiel van de BCF bij standaardbodem en zo dicht mogelijk als verantwoord bij de interventiewaarde (op het 95-percentiel van het totaalgehalte Q, de Q95). Deze verhouding van 90p/50p voor de BCF(Q95) werd berekend met een Monte Carlo-analyse met 1000 trekkingen met een variatie op de coëfficiënten met een normale verdeling  $\pm$  SE. Op basis hiervan zijn de resultaten van de hierboven in grijs aangegeven gewassen verworpen. In onderstaande Tabel B. 8 is een overzicht gegeven per metaal van gewassen die bruikbare resp. onbruikbare resultaten hebben opgeleverd.

Resultaten van de Monte Carlo-analyse voor de ratio van 90percentiel en 50 percentiel van de BCF(Q95) voor (nieuwe) standaardbodem. Voor de oude standaardbodem zijn de resultaten vergelijkbaar.

*Tabel B. 8: Ratio 90- en 50-percentiel van BCF(Q95) uit Monte Carlo analyse als relatieve maat voor onzekerheid van geschatte BCF-waarden*

	As	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
aardappelen	9	4	540	40	270	4	1640
rode bieten	-	72	-	-	-	93	$10^7$
wortelen	3	2	780	2	6000	3	-
radijs	-	8 (2)	-	-	-	-	-
uien	-	-	-	-	-	$10^6$	-
prei	-	17	-	-	9500	31	-
tomaat	-	$10^7$	21	-	-	$10^{38}$	$10^{24}$
rode en witte kool	-	$10^{67}$	$10^6$	-	750	$10^{19}$	$10^4$
boerenkool	-	22	-	-	-	17	-
sla	-	6	61	-	130	4	$10^8$
andijvie	-	45	-	-	-	31	-
spinazie	2	3	-	10	-	5	-
bonen	-	$10^{12}$	1300	-	9600	7000	9

Er is, voor ieder metaal, een duidelijk onderscheid van gewassen waarbij de percentiel-ratio redelijk klein zijn en gewassen waarbij deze waarden te groot zijn. Als grens is ca. 5000 aangehouden (op basis van doorwerking naar de generieke BCF). Bij Ni zijn lagere waarden aangehouden. Hierbij bleek een grote invloed te zijn van de gegevens van kool op de ratio 90-percentiel/50-percentiel van de generieke BCF. Dit hangt samen met het geringe beschikbare aantal gewassen en het grote aantal onvolledige bodemtype-relaties (niet voor alle bodemtype-parameters).

*Tabel B. 9: Overzicht van bruikbaarheid van beschikbare data voor het leggen van Freundlich-relaties per metaal en per gewas op basis van Monte Carlo analyse*

Metalen	Aantal meetpunten in dataset	Gewassen die bruikbare resultaten hebben opgeleverd (*)	Gewassen waarvan resultaten niet bruikbaar bleken	Gedekt deel van consumptiepakket [%]
As	270	aardappelen, wortelen, spinazie	-	71
Cd	746	aardappelen, rode bieten, wortelen, radijs (L%), prei, boerenkool, sla, andijvie, spinazie	tomaat (OC%, L%), witte kool (L%), bonen	86
Cu	46	aardappelen (L%), wortelen (OC%, L%), tomaat (OC%, L%), sla (OC%, L%), bonen	witte kool (L%)	83
Hg	271	aardappelen, wortelen, spinazie	-	76
Ni	37	aardappelen (pH, L%), sla (pH, OC%, L%)	wortelen (pH, OC%, L%), bonen (pH, OC%, L%), witte kool (pH, L%), tomaat (pH, OC%, L%)	71
Pb	750	aardappelen, rode bieten, wortelen, radijs, prei, boerenkool, sla, andijvie, spinazie	uien (OC%, L%), tomaat (OC%, L%), witte kool, bonen (L%)	86
Zn	51	aardappelen, bonen (L%)	wortelen (OC%, L%), tomaat (OC%, L%), sla (OC%, L%), witte kool (L%)	74

*bruikbaar:* voldoende aantal meetpunten en voldoende spreiding in meetpunten voor afleiden gewenste relaties en consistent (schatting standaardfout BCF standaardbodem kleiner dan 50% van de waarde), grootte gebied bodemtypeparameters en concentratie voldoende voor het betreffende gewas (als gebied te klein dan is extrapolatie nodig en deze kan tot onzinnige waarden leiden)

(\*) : bij tussen haakjes vermelde verklarende parameters is bij het betreffende gewas geen relatie af te leiden, omdat de data voor deze parameter onvoldoende/ geen spreiding vertonen, in zo'n geval is de bijbehorende Freundlich-coëfficiënt op nul gehouden.

*De waarde van de BCF wordt bepaald door het pakket van gewassen dat beschikbaar is. Dit blijft een punt van zorg. De waarde voor aardappelen bepaalt voor meer dan 60% het resultaat en de overige gewassen voor ca. 5% per gewasgroep, maar de BCF waarden kunnen tot ca. een factor 1000 verschillen. Door de hoge bijdrage van aardappelen is het resultaat redelijk robuust als tenminste aardappelen worden meegenomen. Het verzamelen van meer data lijkt echter gewenst, voor een schatting die beter de variaties in gewassen verdisconteert.*

Middelingen voor het consumptiepakket zijn uitgevoerd per gewasgroep. De beschikbare gegevens van een gewas zijn gebruikt om het gedrag van de gehele gewasgroep in te schatten. (Bij de opgave van het gedekte deel van een consumptiepakket is niet zichtbaar in hoeverre de inschatting van een gewasgroep berust op een of meerdere gewassen).

## Bijlage 6: Phytotoxicity

In the US EPA Soil Screening Guidance: User's Guide it is suggested that with the exception of Arsenic metal concentrations in soils that are considered toxic to plants are well below the levels that may impact human health through the exposure route of soil-plant-human. This should imply that phytotoxic effects may prevent completion of this exposure route. Only the other metals Cd, Hg, Ni, Se, Zn were considered.

The Soil Screening Guidance concludes however that phytotoxicity, like plant uptake, is greatly influenced by site-specific factors i.e.: soil type, pH, plant type and chemical form. So a site specific evaluation is necessary for human health impacts as well for ecological impacts of plant uptake of soil contaminants (phytotoxicity and chain toxicity).

### B6.1 US bench marks for phytotoxicity compared with the human toxicology based part of CSOIL's intervention values

Will and Suter (1995) collected values for phytotoxicity from many different sources in terms of LOECs. The data are updated later by Efroymson et al., 1997. The LOEC is defined as the lowest observed concentration with an adverse effect; that is at least 20% in the observed response. They derived benchmarks for ecotoxicologic effects as 10% percentiles of the collected data. To decide whether phytotoxicity prevents completion of the human exposure we need to know if the bulk of phytotoxicity data is below the intervention value and this relates with the 90% percentile of the same data (see Tabel B.10).

*Tabel B.10: Range of values of lowest observed concentrations with adverse effects in plants, resulting phytotoxicity 90 percentile benchmark concentration compared with human toxicology based value for serious soil contamination for metals*

Metal	Range LOEC values [mg/kg] (and number of observations)	Phytotoxicity in soil 90-percentile benchmark concentration [mg/kg soil]	Human toxicology based value for serious soil contamination (*) HUMTOX SCC [mg/kg soil]
Arsenic (As)	2 -1000 (16)	250	68
Barium (Ba)	500 -2000 (2)	-	4260
Cadmium (Cd)	1 - 300 (73)	168	35
Chromium (III) (Cr <sup>3+</sup> )	-	-	2250
Chromium (VI) (Cr <sup>6+</sup> )	1.8 -31 (7)	30	0.3
Cobalt (Co)	25 (1)	-	452
Copper (Cu)	100- 200 (3)	-	15700
Mercury (Hg)	0.3 (1)	-	197
Lead (Pb)			1460
- all plants	50 -5000 (17)	2600	
- no trees, grasses	250 -5000 (10)	1400	
- trees and grasses	50 -5000 (7)	2300	
Molybdenum (Mo)	2 (1)	-	911
Nickel (Ni)	25 -294 (14)	250	6580
Tin (Sn)	50 -500 (2)	-	646000

Metal	Range LOEC values [mg/kg] (and number of observations)	Phytotoxicity in soil 90-percentile benchmark concentration [mg/kg soil]	Human toxicology based value for serious soil contamination (*) HUMTOX SCC [mg/kg soil]
Zinc (Zn)	3.3 - 1000 (14)	900	56500
Selenium (Se)	1 - 4 (13)	2	-

(\*) zie Leidraad Bodembescherming

From Tabel B.10 we can distinguish 3 classes of metals with respect to inhibiting effects on plant development that prevent the completion of the exposure pathway of human intake of soil contaminants by crop consumption.

*Tabel B.11: Classes of metals in relation with ratio of phytotoxicity range and with human toxicology based value for serious soil contamination*

	Metals
I. Phytotoxicity prevents completion of the soil-plant human exposure route (LOEC << Ch)	Ni, Zn
II. Phytotoxicity does not necessarily stop completion of the human exposure route via plant uptake (LOEC >= Ch)	As, Cd, Cr(VI), Pb
III. Data insufficient to decide firmly on relative levels of LOEC and Ch	Ba, Cu, Cr(III), Co, Mo, Hg, Sn

For the metals in class I the phytotoxicity of individual consumption crops is not approaching the human toxicologically based part of the CSoIL intervention values. The conclusion is that for Zinc and Nickel the existing CSoIL intervention values should be recalculated with exclusion of the soil-plant-human exposure route. The contribution of this exposure route in the current calculations is large (CSoIL v. 1995 for Pb, Ni, Zn respectively of 39%, 80% and 91%) and it may lead to major changes (higher values) in the values for human toxicology based value for serious soil contamination of these metals. It should be noted, however, that because of the low phytotoxicity benchmarks these metals are also important with respect of ecotoxicological risks

Lead falls in class II when trees and grasses are included, but because these are not involved in direct human crop consumption it can be decided to exclude these plants. The result is that Lead comes closer to class I (see also table on Lead below). For all metals in class III the scarce available data give a vague suggestion that they should belong in class I.

## B6.2 Phytotoxicity and ecotoxicological risks

The metals in class I are becoming less important for the soil-plant-human exposure route as a result of the reasoning in section B6.1. However, a consequence of a low phytotoxic benchmark is that the ecotoxicological benchmark is also low and the ecotoxicological risks may set the rule.

### B6.3 Example of phytotoxicity data as function of soil parameters

For site specific evaluation of phytotoxicity it can be concluded that more data are needed. As an example we look into the data for chromium VI. (Will en Suter 1995).

*Tabel B.12: Available data for LOECs of chromium VI as function of soil pH and soil organic matter for some soil types*

Chromium (VI)				
Crop	Soil	Soil-pH	Soil organic matter [%]	LOEC (mg/kg soil)
Lettuce	loam	8	1.4	1.8
	humic sand	5	3.7	>11
Tomato	loam	8	1.4	6.8
	humic sand	5	3.7	21
Oats	loam	8	1.4	7.4
	humic sand	5	3.7	31
Soybean	loam	-	-	30

This table shows that the number of data are insufficient for clear conclusions. The metal Cr(VI) seems to be less toxic for plants at lower soil pH and higher organic matter content.

### B6.4 Synergetic and antagonistic effects

As an example we look into more detail for Cadmium. This is not essential for plant growth and readily taken up by the roots, if present. Phytotoxic effects are: poor photosynthetic rate and root system development and consequentially growth reduction, necrosis and wilting. The competition of Cadmium with Zinc, which in contrary is an essential element for plant growth, may explain some of the toxic effects. The consequence of this mechanism of competition is that also relative levels of Zinc are decisive for the level of uptake of Cadmium in the plant. It possibly explains occurring variations. Such competition occurs also for other metals for plants (Ca/Pb) and for human toxicity (Fe /Hg). For this report it is not investigated further.

## Bijlage 7: Gemiddelde BCF-waarden voor andere metalen met beperkte gegevens

### B7.1 Barium

Voor barium zijn twee referenties gevonden met gegevens voor opname door specifieke gewassen (Tabel B. 13).

De standaard BCF waarden van Ng (1982) zijn gebaseerd op velddata van Boerngen (1980). Andere (standaard) BCF-waarden zijn bepaald door Baes (1984) en Sauerbeck (1990). Deze uit diverse waarnemingen samengestelde BCF waarden zijn gebruikt door Bockting en Van den Berg (1992) voor de schatting van een BCF-waarde voor wortel- en bladgewassen.

Tabel B. 13: BCF-waarden voor barium uit literatuur

Gewas	BCF (geometrisch gemiddelde)	std. dev.	N	Referentie
Kool	0.021	0.00096	onbekend	Boerngen, 1980
Sla	0.096	0.0056	onbekend	Boerngen, 1980
Bonen	0.023	0.006	onbekend	Boerngen, 1980
Tomaten	0.010	0.0006	onbekend	Boerngen, 1980
Wortelen	0.024	0.0027	onbekend	Boerngen, 1980
Uien	0.021	0.0097	onbekend	Boerngen, 1980
Aardappelen	0.0047	0.00064	onbekend	Boerngen, 1980
Mais	0.00062	0.00018	onbekend	Boerngen, 1980
Radijs	1.13	4.07	19	Van Gestel, 1992
Sla	0.273	1.3	16	Van Gestel, 1992
Standaard BCF	0.05			Ng, 1982 *)
Standaard BCF blad	0.15			Baes, 1984 **)
Standaard BCF wortel	0.015			Baes, 1984 **)
BCF blad	0.01-0.1			Sauerbeck, 1989 ***)
BCF blad	0.1			Bockting, 1992
BCF wortel	0.005			Bockting, 1992

Uit de gegevens van Boerngen (1980) en Van Gestel (1992) is het mogelijk om een BCF te af te leiden die het gemiddelde consumptiepatroon van moestuingewassen in rekening brengt. Tabel B. 14 laat duidelijk zien dat de gemiddelde BCF wordt gedomineerd door de hoge BCF-waarden van radijs. Omdat radijs een kleine rol speelt in het totale consumptiepatroon wordt het gebruikt van een consumptiegewogen BCF aanbevolen.

*Tabel B. 14: Ba, overzicht gemiddelden en variaties BCF-waarde berekend uit beschikbare literatuurgegevens*

	BCF-waarde
Gemiddelde	0.177
Geometrisch gemiddelde	0.035
Minimum waarde	0.0047
Maximum waarde	1.13
Aantal gewassen	8
Consumptiegewogen	0.0167
BCF-waarde	

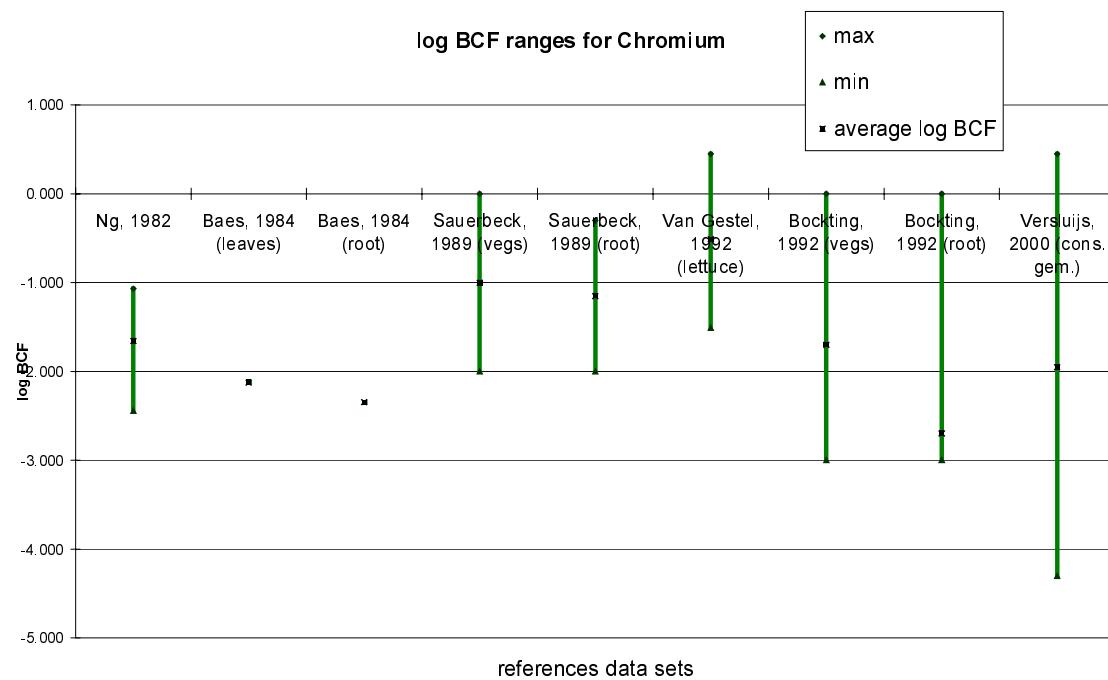
**De voorgestelde BCF-waarde voor barium is 0.017**

Door de beperkte gegevens voor bariumopname moet benadrukt worden dat (onder andere) de volgende belangrijke factoren voor de opname niet in rekening konden worden gebracht:

- invloed van het bodemtype
- mate van verontreiniging (totaalgehalte in de bodem)
- nederlandse bodem en klimaat

## B7.2 Chroom

Er wordt een gemiddelde consumptiegewogen BCF van **0.011** voorgesteld (log BCF: -1.95). Zie figuur B. 1 voor een vergelijking met andere gepubliceerde BCF waarden voor chroom.



*Figuur B. 1: Cr, ranges van BCF waarden uit literatuur*

## B7.3 Cobalt

Tabel B. 15: Co, BCF-waarden uit literatuur i.r.t. selectiecriteria

Selectie criteria	Aantal data (N)	BCF (geom.gem.)	standard dev.	Co in bodem (mg/kg d.m.)
1. geen	128	0.062	7.21	
2. velddata	105	0.055	7.95	
3. alleen moestuin-gewassen	26	0.58	15.3	
4. alleen verontreinigde bodem	74	0.026	0.063	min 91 max 3865 geom.gem. 484
5. combinatie van criteria 2 en 3	18	0.77	17.9	min 0.1 max 11.7 geom.gem. 0.9
6. combinatie van criteria 3 en 4	0	-	-	
7. individuele gewassen				
• sla	7	8.75	24.2	
• aardappel	3	0.066	0.045	
• radijs	6	0.290	0.516	
• wortelen	1	0.180	-	
• tomaten	1	0.070	-	

De BCF-waarde voor sla van Van Gestel is zeer hoog vergeleken met de andere BCF-waarden, namelijk 8.75, tegenover een range van 0.07 – 0.4 voor de overige gewassen. De waarden van Van Gestel waren verkregen voor niet verontreinigde bodem. Bij de berekening het gemiddelde wordt het resultaat gedomineerd door deze BCF-waarde van Van Gestel. Om te voorkomen dat metingen voor een enkel gewas de uitkomst overheersen wordt aanbevolen om tenminste een geometrische gemiddelde BCF of een BCF gewogen op het gemiddelde consumptie patroon te gebruiken.

Tabel B. 16: Co, overzicht gemiddelden en variaties BCF-waarde berekend uit beschikbare literatuurgegevens

BCF gemiddeld	1.87
BCF geometrisch gemiddelde	0.29
BCF minimum	0.066
BCF maximum	8.8
N	5
BCF consumptie gemiddeld	0.58

De BCF gewogen op het gemiddelde consumptie patroon is bepaald op 0.58 en gelijk aan het geometrisch gemiddelde van de waarden voor moestuingewassen (3 in tabel B.14).

## B7.4 Molybdeen

Voor de opname van molybdeen zijn geen geschikte aanvullende data gevonden. Daarom zijn alleen de referenties van Bockting en Van den Berg (1992) geëvalueerd.

Bockting en Van den Berg (1992) hebben de BCF-waarden voor molybdeen gebaseerd op de gegevens van Ng (1982) en Baes (1984). Deze waarden zijn gebaseerd op een combinatie van oorspronkelijke data uit openbare literatuur en statistische analyse en interpretatie van de verkregen gegevens. Baes legt er de nadruk op dat de acceptatie of verwerping van gegevens voor opname door planten subjectief is, omdat deze afhankelijk is van de afweging van een reeks van argumenten.

Met deze overwegingen en het feit dat er geen aanvullende gegeven over de opname van molybdeen zijn gevonden wordt voorgesteld de huidige BCF-waarden van CSOIL te handhaven.

*Door integratie van de huidige afzonderlijke BCF-waarden voor wortelgewassen (0,015) en bladgewassen (0,3) is een generieke BCF-waarde van 0,12 vastgesteld.*

## B7.5 BCF overige metalen, grassen en wilde kruidgewassen, gemiddelde BCF

Inschattingen gemiddelde BCF (op basis van drooggewicht) voor metalen met onvoldoende gegevens voor het leggen van relaties met bodemtype, gehalte in de bodem of consumptiepatroon, door Bechtel Jacobs (1998) [gewassen: grassen en wilde kruidgewassen]

*Tabel B. 17: Gemiddelde BCF-waarden uit gegevens van Bechtel-Jacobs (1998) voor metalen met onvoldoende gegevens voor het leggen van relaties met bodemtype, gehalte in de bodem of met consumptiepakket*

	n	Geometrisch gemiddelde	mediaan	gemiddelde	standaard deviatie gemiddelde	standaard deviatie steekproef	90-p
Al	28	0,0025	0,0029	0,0032	0,0005	0,0025	0,0050
Sb	2	0,0102	0,0102	0,0102	0,0016	0,0016	0,0114
Ba	28	0,15	0,16	0,21	0,04	0,20	0,48
Cr	28	0,048	0,041	0,065	0,017	0,086	0,084
Co	28	0,0084	0,0075	0,0115	0,0020	0,0104	0,0248
Mn	28	0,081	0,079	0,113	0,018	0,096	0,234
Ag	10	0,013	0,014	0,016	0,004	0,012	0,037
V	21	0,0048	0,0049	0,0055	0,0007	0,0031	0,0097

## B7.6 BCF overige metalen, grassen en wilde kruidgewassen, modellering voor Barium, Chroom en Cobalt

Voor Ba, Cr en Co is een modellering op de door Bechtel Jacobs verzamelde gegevens uitgevoerd in de vorm:

$$\log(C\text{-plant}) = a + b \cdot \log(Q) + c \cdot \text{pH}$$

met a, b, c te bepalen empirische coëfficiënten

C-plant = concentratie in plant [mg /kg ds]

Q = totaalgehalte bodem [mg /kg ds]

*Tabel B. 18: Beperkte modellering voor Ba, Co en Cr uit de gegevens van Bechtel Jacobs (1998)*

	A	b	c	Q (5 -95 percentiel)	pH (5 -95 percentiel)	IW
Ba	6.73	-1.05	-4.68	92 - 216	6 - 7.1	625
Co	2.54	0.83	-0.68	7.6 - 15.6	6 - 7.1	240
Cr	3.40	2.63	-1.11	21 -43	6 - 7.1	380

Hiermee kan de correctie voor de gewenste bodemconcentratie en standaardbodem deels uitgevoerd worden, door berekening van de BCF bij pH en Q95 (zo dicht mogelijk bij IW en standaardbodem):

BCF(Ba) = 0.14 ; BCF(Co) = 0.019 en BCF(Cr) = 0.25

Als geometrisch gemiddelden vonden we :

BCF(Ba) = 0.15 ; BCF(Co) = 0.008 en BCF(Cr) = 0.048

De berekeningsmethode komt neer op een selectie binnen de dataset van de BCF-waarden bij relatief lage pH en relatief hoge concentratie. Met name voor Co en Cr zijn de BCF-waarden in dit gebied lager.

## Bijlage 8: Relaties uit gegevens Maasoevergronden

Deze gegevens (van Driel et al., 1988) zouden geïntegreerd kunnen worden met de dataset van dit project als ze niet in een te laat stadium beschikbaar waren gekomen.

### B8.1 Geometrische gemiddelen per gewas

Bodemtypekarakterisatie en gehalten van As, Cd, Cu, Hg, Pb en Zn in de bodem zijn beschikbaar voor de volgende planten:

*Tabel B. 19: Geometrisch gemiddelde van BCF uit dataset onderzoek Maasoevergronden (van Driel et al., 1988)*

Gewas	Aantal meet-punten per metaal	Geometrisch gemiddelde van BCF (op basis drooggewicht)					
		As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn
Aardappelen	25	0.0008	0.16	0.24	0.027	0.002	0.093
Rode bieten	1	0.0007	0.55	0.26	0.041	0.002	0.46
Wortelen	2	0.008	1.41	0.35	0.14	0.024	0.49
Prei	15	0.008	0.51	0.30	0.026	0.045	0.40
Ui	2	0.0022	0.13	0.15	0.016	0.0012	0.11
Komkommer / augurk	5	0.016	0.19	0.35	0.058	0.008	0.17
Courgette	1	0.0024	0.15	0.18	0.045	0.007	0.47
Bloemkool	4	0.0012	0.12	0.14	0.040	0.003	0.32
Broccoli	1	0.0031	0.15	0.18	0.044	0.007	0.47
Witte kool	6	0.0013	0.09	0.13	0.055	0.005	0.19
Rode kool	2	0.0010	0.13	0.18	0.063	0.004	0.31
R&W Kool	8	0.0012	0.10	0.14	0.057	0.005	0.22
Savoye kool	1	0.0012	0.18	0.08	0.057	0.003	0.34
Sla survey	77 27	0.012 0.006	0.99 0.90	0.31 0.32	0.16 0.18	0.016 0.012	0.36 0.36
IJssla	4	0.0013	0.89	0.53	0.13	0.011	0.60
Andijvie survey	52 2	0.011 0.017	1.00 2.53	0.29 0.41	0.11 0.18	0.013 0.023	0.40 0.99
Tuinbonen	2	0.0011	0.13	1.26	0.015	0.003	0.40
Doperwten	4	0.0006	0.05	0.26	0.015	0.008	0.31
Rabarber	3	0.002	1.09	0.21	0.056	0.012	0.45
Consgemid		0.0026	0.26	0.26	0.038	0.006	0.18

(\*) excl. enkele ontbrekende waarden voor sommige metalen

## B8.2 Bodemtypecorrectie aardappelen

Voor de gegevens van enkele gewassen zijn de Freundlich-coëfficiënten uit te rekenen. Voor aardappelen:

*Tabel B. 20: Freundlich coëfficiënten voor aardappelen uit onderzoek Maasoevergronden (van Driel et al., 1988)*

	a (cst)	b (log (Me- bodem))	c (pH)	d (log (OC%))	e (log (L%))	R <sup>2</sup>	n (*)	F-toets (95%)
As	-1.84	0.09	0.06	0.27	-0.62	0.19	24	1
Cd	-0.22	0.07	-0.07	0.31	-0.18	0.25	25	1
Cu	0.86	-0.11	-0.03	0.41	0.09	0.19	23	1
Hg	-2.7	-0.085	0.016	0.37	-0.045	0.10	25	0
Pb	0.17	0.003	-0.16	0.75	-0.16	0.18	25	1
Zn	1.4	-0.10	-0.02	0.41	0.02	0.05	25	0

(n= aantal meetpunten, vrijheidsgraden: n-5)

Hiermee kan voor aardappelen de correctie worden gemaakt naar een totaalgehalte rond interventiewaarde en voor standaardbodem. Extreme parameterwaarden zijn afgekapt op 5- en 95-percentielen. Hierbij is gebruikt dat voor de dataset van Maasoevergronden voor aardappelen geldt:

*Tabel B. 21: Dataset aardappelen, range en gemiddelde van bodemtypeparameters en totaalgehalten bij onderzoek Maasoevergronden (van Driel et al., 1988)*

dataset aardappelen Maasoevergronden	5-percentiel	50-percentiel	95-percentiel
DS%	19.6	22.9	25.6
pH	5	6.45	7.2
OC%	0.7	1.3	3.6
L%	4.6	13.6	23.3
Q(As)	4.6	11	54
Q(Cd)	0.43	0.87	3.2
Q(Cu)	11	19	49
Q(Hg)	0.043	0.09	0.32
Q(Pb)	24	55	180
Q(Zn)	58	159	479

*Tabel B. 22: BCF waarden aardappelen berekend uit onderzoek Maasoevergronden (van Driel et al., 1988), bij gemiddeld totaalgehalte van dataset (A, B) en geëxtrapoleerd naar hogere concentraties (C, D, E)*

	A	B	C	D	E
Q	-	Q50	min(IW,Q95)	min(IW,Q95)	min(IW,Q95)
BCF	geometrisch gemiddelde	bodemtype als mediaan dataset	bodemtype als mediaan dataset	huidige standaard- bodem	voorgestelde standaard- bodem
As	0.0008	0.00085	0.00020	0.00018	0.00016
Cd	0.16	0.16	0.05	0.07	0.07
Cu	0.24	0.25	0.09	0.14	0.14
Hg	0.027	0.034	0.009	0.012	0.011
Pb	0.002	0.0020	0.0006	0.0014	0.0018
Zn	0.093	0.083	0.025	0.039	0.037

In deze Tabel B. 22 staat in kolom A het geometrisch gemiddelde van de BCF voor aardappelen. Kolom B is ter controle berekend met de afgeleide Freundlichcoëfficiënten, bij medianen van totaalgehalte in de bodem Q en medianen van bodemtypeparameters. De waarden komt redelijk overeen met die van kolom A. In kolom C is alleen voor de Q gecorrigeerd (door keuze van een waarde zo dicht mogelijk bij de interventiewaarde, maar niet verder dan Q95, het 95-percentiel van de dataset voor Q). Bij kolommen D en E is ook gecorrigeerd voor het bodemtype (door een keuze zo dicht mogelijk bij de standaardbodem maar niet buiten het traject tussen 5- en 95-percentiel), voor de huidige en voorgestelde standaardbodems. Vooral de correctie voor de concentratie is aanzienlijk (factor 3-4). Door de bodemtypecorrectie wordt dit bij de meeste metalen weer enigszins geneutraliseerd. De resultaten voor beide standaardbodems verschillen hier weinig.

Voor de andere gewassen is een bodemtypecorrectie, gezien het beschikbare aantal meetpunten, alleen zinvol voor sla, andijvie, prei en kool.

### B8.3 Bodemtypecorrectie sla

*Tabel B. 23: Freundlich coëfficiënten voor sla uit onderzoek Maasoevergronden (Driel et al., 1988)*

	a (cst)	b (log (Me- bodem))	c (pH)	d (log (OC%))	e (log (L%))	R^2	n	F-toets (95%) (*)
As	-0.17	-0.26	0.02	0.74	-0.68	0.21	77	1
Cd	2.07	0.65	-0.28	-0.14	-0.15	0.52	77	1
Cu	0.87	0.20	-0.06	0.04	0.14	0.40	77	1
Hg	-1.10	0.35	-0.008	-0.43	0.027	0.16	77	1
Pb	-0.13	0.39	-0.017	0.18	-0.40	0.33	77	1
Zn	2.78	0.34	-0.21	0.009	-0.27	0.71	77	1

(\*) Toets Tafel XI. uit: Verklarende Statistiek, Wijvekate Aula , 1976 (n.b. R^2 => R)

*Tabel B. 24: Dataset sla, range en gemiddelde van bodemtypeparameters en totaalgehalten bij onderzoek Maasoevergronden (Driel et al., 1988)*

dataset sla Maasoevergronden	5-percentiel	50-percentiel	95-percentiel
DS%	3.7	4.5	5.7
pH	5,1	6.4	7.2
OC%	0.8	2.2	5.0
L%	6.1	15	25
Q(As)	6.3	12.2	25
Q(Cd)	0.43	1.5	9.7
Q(Cu)	12	28	88
Q(Hg)	0.05	0.14	1.1
Q(Pb)	24	84	319
Q(Zn)	66	234	1038

*Tabel B. 25: BCF waarden sla, berekend uit onderzoek Maasoevergronden (van Driel et al., 1988), bij gemiddeld totaalgehalte van dataset (A, B) en geëxtrapoleerd naar hogere concentraties (C, D, E)*

sla	A	B	C	D	E
Q	-	Q50	min(IW,Q95)	min(IW,Q95)	min(IW,Q95)
BCF	geometrisch gemiddelde	bodemtype als mediaan dataset	bodemtype als mediaan dataset	huidige standaard- bodem	voorgestelde standaard- bodem
As	0.012	0.010	0.004	0.006	0.004
Cd	0.99	2.09	0.51	0.55	1.09
Cu	0.31	0.40	0.13	0.15	0.16
Hg	0.16	0.18	0.05	0.04	0.05
Pb	0.016	0.015	0.007	0.006	0.007
Zn	0.36	0.63	0.17	0.18	0.30

De totaalgehalten in de bodem liggen voor sla/andijvie hoger dan voor aardappelen omdat hierbij ook gegevens van een proefveld met hogere verontreiniging zijn meegenomen.

#### B8.4 Bodemtypecorrectie andijvie

*Tabel B. 26: Freundlich coëfficiënten voor andijvie uit onderzoek Maasoevergronden (van Driel et al., 1988)*

	a (cst)	b (log (Me- bodem))	c (pH)	d (log (OC%))	e (log (L%))	R^2	n	F-toets (95%)
As	-1.3	0.29	0.07	-0.38	-0.13	0.06	52	0
Cd	2.3	0.82	0.301	-0.79	-0.065	0.46	52	1
Cu	0.25	0.40	-0.027	-0.67	0.48	0.13	52	1
Hg	-1.44	0.15	0.0004	-0.71	0.11	0.19	52	1
Pb	-0.46	0.18	0.006	-0.48	0.31	0.05	52	0
Zn	2.7	0.29	-0.20	-0.59	0.07	0.44	52	1

*Tabel B. 27: Dataset andijvie, range en gemiddelde van bodemtypeparameters en totaalgehalten bij onderzoek Maasoevergronden (van Driel et al., 1988)*

dataset andijvie Maasoevergronden	5-percentiel	50-percentiel	95-percentiel
DS%	3.6	4.5	5.7
pH	5.0	6.4	7.1
OC%	1.0	2.4	4.4
L%	6.3	15	21
Q(As)	6.8	11.6	24
Q(Cd)	0.58	1.6	5.3
Q(Cu)	15	29	79
Q(Hg)	0.06	0.15	0.7
Q(Pb)	42	91	270
Q(Zn)	88	279	919

*Tabel B. 28: BCF waarden andijvie, berekend uit onderzoek Maasoevergronden (van Driel et al., 1988), bij gemiddeld totaalgehalte van dataset (A, B) en geëxtrapoleerd naar hogere concentraties (C, D, E)*

	A	B	C	D	E
Q	-	Q50	min(IW,Q95)	min(IW,Q95)	min(IW,Q95)
BCF	geometrisch gemiddelde	bodemtype als mediaan dataset	bodemtype als mediaan dataset	huidige standaard- bodem	voorgestelde standaard- bodem
As	0.011	0.012	0.007	0.005	0.005
Cd	1.00	0.88	0.71	0.57	1.62
Cu	0.29	0.32	0.18	0.14	0.20
Hg	0.11	0.13	0.04	0.02	0.03
Pb	0.013	0.014	0.006	0.005	0.006
Zn	0.40	0.35	0.18	0.15	0.31

## B8.5 Bodemtypecorrectie prei

*Tabel B. 29: Freundlich coëfficiënten voor prei uit onderzoek Maasoevergronden (Van Driel et al., 1988)*

	a (cst)	b (log (Me- bodem))	c (pH)	d (log (OC%))	e (log (L%))	R^2	n	F-toets (95%)
As	-1.34	0.14	-0.06	-0.32	0.57	0.42	15	1
Cd	2.17	1.40	-0.23	-1.23	-0.98	0.48	15	1
Cu	-0.006	0.29	0.014	-0.003	0.30	0.59	15	1
Hg	-3.56	-0.34	0.05	0.80	-0.14	0.26	15	0
Pb	-0.70	0.14	0.08	-0.10	0.10	0.09	15	0
Zn	1.91	0.34	-0.12	-0.17	-0.41	0.48	15	1

*Tabel B. 30: Dataset prei, range en gemiddelde van bodemtypeparameters en totaalgehalten bij onderzoek Maasoevergronden (Van Driel et al., 1988)*

dataset prei Maasoevergronden	5-percentiel	50-percentiel	95-percentiel
DS%	8.6	10.4	12.4
pH	5.2	5.8	7.3
OC%	0.7	1.0	1.3
L%	5.1	6.5	15.0
Q(As)	5.2	7.7	26
Q(Cd)	0.25	0.39	0.76
Q(Cu)	12	16	23
Q(Hg)	0.028	0.048	0.089
Q(Pb)	15	26	46
Q(Zn)	44	58	100

*Tabel B. 31: BCF waarden prei, berekend uit onderzoek Maasoevergronden (Van Driel et al., 1988), bij gemiddeld totaalgehalte van dataset (A, B) en geëxtrapoleerd naar hogere concentraties (C, D, E)*

	A	B	C	D	E
Q	-	Q50	min(IW,Q95)	min(IW,Q95)	min(IW,Q95)
BCF	geometrisch gemiddelde	bodemtype als mediaan dataset	bodemtype als mediaan dataset	huidige standaard- bodem	voorgestelde standaard- bodem
As	0.008	0.010	0.004	0.005	0.006
Cd	0.51	0.75	0.98	0.28	0.43
Cu	0.30	0.29	0.23	0.29	0.28
Hg	0.026	0.024	0.011	0.012	0.011
Pb	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02
Zn	0.40	0.52	0.36	0.23	0.29

## B8.6 Bodemtypecorrectie kool

*Tabel B. 32: Significatie lineaire regressie op Freundlich isotherm voor data kool uit onderzoek Maasoevergronden (Driel et al., 1988)*

	a (cst)	b (log (Me- bodem))	c (pH)	d (log (OC%))	e (log (L%))	R^2	n	F-toets (95%)
As						0.66	8	0
Cd						0.53	8	0
Cu						0.67	8	0
Hg						0.61	8	0
Pb						0.19	8	0
Zn						0.53	8	0

Gezien de geringe significantie niet verder uitgewerkt.

## B8.7 Gecorrigeerde BCF-waarden uit onderzoek Maasoevergronden

De consumptiegemiddelde waarden die volgen uit het Maasoevergronden onderzoek kunnen met bovenstaande resultaten van de afzonderlijke gewassen worden gecorrigeerd (voor zover er significante relaties waren, anders geometrisch gemiddelde) voor bodemtype (zo dicht mogelijk bij standaardbodem) en bodemgehalte (zo dicht mogelijk bij interventiewaarde): Correcties zijn dus alleen toegepast voor zover ze behoorlijk zeker zijn.

*Tabel B. 33: Consumptiegemiddelde BCF waarden, berekend uit onderzoek Maasoevergronden (Van Driel et al., 1988), bij gemiddeld totaalgehalte van dataset (A, B) en geëxtrapoleerd naar hogere concentraties (C, D, E) - niet-significante relaties vervangen door geometrisch gemiddelden*

	A	B	C	D	E
Q	-	Q50	min(IW,Q95)	min(IW,Q95)	min(IW,Q95)
BCF	geometrisch gemiddelde	bodemtype als mediaan dataset	bodemtype als mediaan dataset	huidige standaard- bodem	voorgestelde standaard- bodem
As	0.0026	0.0027	0.0019	0.0020	0.0019
Cd	0.26	0.29	0.20	0.17	0.22
Cu	0.26	0.26	0.15	0.19	0.19
Hg	0.038	0.039	0.034	0.033	0.034
Pb	0.006	0.006	0.005	0.006	0.006
Zn	0.18	0.19	0.17	0.16	0.17

De aantoonbare verschillen zijn gering, met name omdat voor het merendeel van de gewassen het geometrisch gemiddelde wordt gebruikt. Voor de gevolgen van een wat minder voorzichtige benadering: zie de volgende paragraaf.

## B8.9 Correctie BCF voor bodemtypen en totaalgehalten met extrapolaties

Ter controle is nagegaan of de procedure van vervanging door geometrisch gemiddelden bij niet-significante relaties veel effect op de uitkomsten heeft.

*Tabel B. 34: Consumptiegemiddelde BCF waarden, berekend uit onderzoek Maasoevergronden (Van Driel et al., 1988), bij gemiddeld totaalgehalte van dataset (A, B) en geëxtrapoleerd naar hogere concentraties (C, D, E) - incl. niet-significante relaties*

	A	B	C	D	E
Q	-	Q50	min(IW,Q95)	min(IW,Q95)	min(IW,Q95)
BCF	geometrisch gemiddelde	bodemtype als mediaan dataset	bodemtype als mediaan dataset	huidige standaard- bodem	voorgestelde standaard- bodem
As	0.0026	0.0027	0.0018	0.0018	0.0018
Cd	0.26	0.29	0.20	0.17	0.22
Cu	0.26	0.26	0.15	0.19	0.19
Hg	0.038	0.053	0.022	0.024	0.023
Pb	0.006	0.006	0.004	0.005	0.005
Zn	0.18	0.19	0.13	0.13	0.14

De verschillen met de waarde berekend met restrictie op extrapolatie en significantie zijn niet extreem, maar worden afgevlakt door het meenemen van de geometrisch gemiddelden van de andere gewassen. Er is geen reden af te zien van de waarden van de vorige paragraaf.

## B8.10 Vergelijking uitkomsten Maasoevergronden en eerdere uitkomsten

*Tabel B. 35: Vergelijking van consumptiegemiddelde BCF-waarden uit paragraaf 7 met de uitkomsten van het onderzoek van de Maasoevergronden en de resultaten van Amerikaans onderzoek*

	Volkstuinen dataset 1, nstb (Tabel 7.4)	Maasoeverdataset 2 nstb (Tabel B. 33)	EPA (*) paragraaf 8.2.2,	California (*)
As	0.009	0.0019	0.086	0.016
Cd	0.35	0.22	0.77	0.45
Cu	0.33	0.19	-	
Hg	0.15	0.034	-	
Ni	0.030	-	-	
Pb	0.020	0.006	0.075	0.021
Zn	0.18	0.17	-	

(\*) zie Bechtel Jacobs (1998)

## Bijlage 9: Inschattingen bodemtypeafhankelijkheid BCF volgens UMS

### B9.1 Inschattingen BCF van UMS

Inschattingen van de BCF-waarden als functie van bodemtype zijn door Stubenrauch et al. (1997) gemaakt voor systeem voor "Umweltmedizinische Beurteilung der Exposition von atllastbedingte Schadstoffe" (UMS). Men baseert zich voornamelijk op de gegevens van Lübben en Sauerbeck (1991). De afname van BCF met totaalgehalte in de bodem zoals gevonden door Lübben en Sauerbeck (1991) wordt wel door Fresenius vermeld, maar verder genegeerd. De getalsmatige invulling van variaties met bodemparameters berust grotendeels op beredeneerde inschattingen ("expert-judgement"). De inschattingen (voor Ni, Cu, Cr, Hg) en ranges van bodemparameters (L%) verschillen van Fresenius (1993), zoals eerder geciteerd in RIVM-rapport 711701008.

Tabel B. 36: BCF's for Cd uptake in relation to soil characteristics

	pH <5.5			pH 5.5 -6.5			pH >6.5		
	C-org			C-org			C-org		
clay	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%
< 15%	3	2.5	2	1.6	1.2	0.8	1.2	0.8	0.5
15-30 %	2.5	2	1.5	1.2	<b>0.8</b>	0.5	0.8	0.5	0.3
>30 %%	2	1.5	1	0.8	0.5	0.3	0.5	0.3	0.1

Tabel B. 37: BCF's for Zn uptake in relation to soil characteristics

	pH <5.5			pH 5.5 -6.5			pH >6.5		
	C-org			C-org			C-org		
clay	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%
< 15%	2.9	2.6	2.3	1.7	1.5	1.1	0.9	0.8	0.7
15-30 %	2.3	2	1.7	1.3	<b>1.1</b>	0.9	0.6	0.5	0.4
>30 %%	1.7	1.4	1.1	0.9	0.7	0.5	0.3	0.2	0.1

Tabel B. 38: BCF's for Ni uptake in relation to soil characteristics, (no dependance on C-org content)

	pH <5.5			pH 5.5 -6.5			pH >6.5		
	C-org			C-org			C-org		
clay	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%
< 15%	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.10	0.10	0.10
15-30 %	0.3	0.3	0.3	0.18	<b>0.18</b>	0.18	0.07	0.07	0.07
>30 %%	0.2	0.2	0.2	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05

Tabel B. 39: BCF's for Cu uptake in relation to soil characteristics

	pH <5.5			pH 5.5 -6.5			pH >6.5		
	C-org			C-org			C-org		
clay	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%
< 15%	0.8	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.15
15-30 %	0.5	0.4	0.35	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	0.1
>30 %%	0.4	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.05

Tabel B. 40: BCF's for Pb uptake in relation to soil characteristics

	pH <5.5			pH 5.5 -6.5			pH >6.5		
	C-org			C-org			C-org		
clay	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%
< 15%	0.08) *	0.06	0.04	0.06	0.04	0.04	0.2	0.015	0.01
15-30 %	0.06	0.04	0.02	0.04	<b>0.02</b>	0.01	0.015	0.01	0.005
>30 %%	0.04	0.02	0.01	0.02	0.01	0.05	0.01	0.005	0.005

)\* corrected in RIVM-report (also in new UMS-version)

Tabel B. 41: BCF's for Cr uptake in relation to soil characteristics (no dependance on clay-content)

	pH <5.5			pH 5.5 -6.5			pH >6.5		
	C-org			C-org			C-org		
clay	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%
< 15%	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
15-30 %	0.03	0.03	0.03	0.02	<b>0.02</b>	0.02	0.01	0.01	0.01
>30 %	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.005	0.005	0.005	0.005

Tabel B. 42: BCF's for As uptake in relation to soil characteristics

	pH <5.5			pH 5.5 -6.5			pH >6.5		
	C-org			C-org			C-org		
clay	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%	<1 %	1-3 %	> 3%
< 15%	0.07	0.06	0.05	0.07	0.06	0.05	0.07	0.06	0.05
15-30 %	0.06	0.05	0.04	0.06	<b>0.05</b>	0.04	0.06	0.05	0.04
>30 %	0.05	0.04	0.03	0.05	0.04	0.03	0.05	0.04	0.03

Tabel B. 43: BCF's for Hg (inorganic bound) uptake in relation to soil characteristics

## B9.2 Berekeningen uit UMS-gegevens en correctie voor totaalgehalten bodem

Uit deze relaties kunnen de bijbehorende coëfficiënten van de Freundlich isothermen worden berekend, mits een keuze wordt gemaakt voor de parameters in de aangegeven trajecten. Deze keuze is gemaakt in onderstaande Tabel B. 44. In Tabel B. 45 zijn de resulterende Freundlich-coëfficiënten opgenomen.

*Tabel B. 44: Keuze voor bodemparameters voor berekening van Freundlich-coëfficiënten met inschattingen BCF uit UMS*

Bodemparameter	Laag	midden	hoog
pH-KCl	<5,5 => 5	5,5 - 6,5 => 6	>6,5 =>7
Org-C [%]	<1 =>0,5	1 - 3 => 2	>3 => 8
Klei [%]	< 15 =>6	15 - 30 => 23	>30 => 35
Fe-ox	-	-	-
Al-ox	-	-	-

Als wordt aangenomen dat de inschattingen voor normale totaalgehalten in de bodem gelden (d.w.z. niet-verontreinigde bodems, op streefwaardeniveau) kunnen met een concentratie-afhankelijkheid volgens Lübben en Sauerbeck, 1991 de volgende coëfficiënten van de Freundlich-vergelijking worden afgeleid.

*Tabel B. 45: Formules voor de afhankelijkheid van BCF-waarden van standaardbodemparameters zoals afgeleid van UMS-inschattingen en inschatting van b uit Lübben en Sauerbeck (zie 8.2.1, niet beschikbaar voor As en Hg))*

$\text{Log}[\text{met}]_{\text{pw}} = \text{constante} + b * \text{Log } [Q] + c * \text{pH(KCl)} + d * \log (\text{OC}\%) + e * \log (\text{L}\%)$ ( $\text{Log} = {}^{10}\text{Log}$ )						
factoren voor de bovenstaande formule:						
stof	constante	b voor Log(Q)	c voor p HKCL	d voor Log(OC%)	e voor Log (L%)	Gem. Afw. %
As	-1.03	-	0.000	-0.14	-0.19	0.7
Cd	2,13	-0.22	-0.30	-0.20	-0.27	1.7
Cr	1.38	-0,005	-0,18	-0.005	-0.40	2.3
Cu	0.89	-0.006	-0.16	-0.23	-0.35	1.9
Hg	0.68	-	-0.34	-0.004	0.002	0.4
Ni	1.61	-0.02	-0.31	0.000	-0.044	1.2
Pb	-1.20	-0,001	0.13	-0.69	-0.91	6.2
Zn	2.09	-0.001	-0.28	-0.11	-0.30	1.7

De correctie voor totaalgehalten in de bodem die op deze manier uit de UMS-gegevens kan worden berekend valt binnen de foutenmarge (door de onnauwkeurigheid van de aanpassing van de UMS-tabellen aan de Freundlich-vergelijking) en de afhankelijkheid van bodemtype is op deze basis van meer belang.

*Tabel B. 46: BCF-waarden voor huidige en voorgestelde standaardbodem volgens UMS bij streefwaarden en bij interventiewaarden*

	BCF bij streef-waarde en huidige standaardbodem	BCF bij interventie-waarde en huidige standaardbodem	BCF bij streef-waarde en voorgestelde standaardbodem	BCF bij interventie-waarde en voorgestelde standaardbodem
As	0.04 (0.04)	-	0.05 (0.05)	-
Cd	0.5 (0.7)	0.4	2 (1.7)	1.0
Cr	0.02 (0.02)	0.02	0.03 (0.02)	0.02
Cu	0.2 (0.2)	0.2	0.4 (0.4)	0.4
Hg	0.05 (0.05)	-	0.1 (0.1)	-
Ni	0.18 (0.14)	0.13	0.3 (0.3)	0.3
Pb	0.01 (0.005)	0.005	0.04 (0.01)	0.01
Zn	0.9 (0.8)	0.8	2 (1.8)	1.8

**huidige standaardbodem:** pH=6, OC=5.5%, L= 25%

**voorgestelde standaardbodem:** pH=5, OC=2.9% , L=20%

- bij streefwaarden** volgens Tabel B. 37 -
- Tabel B. 43; tussen haakjes de teruggerekende waarden met waarden van coëfficiënten volgens Tabel B. 45
- bij interventiewaarden** met coëfficiënten van tussen haakjes de teruggerekende waarden met waarden van coëfficiënten Tabel B. 45

## Bijlage 10: BCF -waarden uit potproeven Van Gestel

Uit de oorspronkelijke data van Van Gestel et al. (1992a en 1992b) zijn de volgende Freundlich-coëfficiënten (zie 5.1) berekend.

Tabel B. 47: Opname in sla, volgens potproeven Van Gestel et al.

	a	b	c	d	e	n	R^2	Q95
As	-	-	-	-	-	-	-	28
Ba	1.66	0.99	-0.25	-1.10	-0.72	16	0.49	212
Cd	2.11	0.71	-0.19	-0.47	-0.05	26	0.67	5.4
Co	2.59	-0.08	-0.57	-0.27	0.48	7	0.84	12
Cr	1.59	-0.07	-0.21	-0.31	-0.13	16	0.60	45
Cu	0.14	-1.14	0.28	0.04	0.72	16	0.41	33
Hg	-0.78	-0.57	-0.170	0.03	0.09	9	0.14	0.3
Ni	1.92	0.74	-0.43	-0.86	-0.26	14	0.47	43
Pb	0.99	0.013	-0.13	0.08	-0.47	25	0.33	135
Sn	-	-	-	-	-	-	-	28
V	-	-	-	-	-	-	-	54
Zn	1.86	0.1	-0.002	0.32	-0.21	25	0.15	720

Tabel B. 48: Opname in radijs volgens potproeven Van Gestel et al.

	a	b	c	d	e	n	R^2	Q95
As	-	-	-	-	-	-	-	28
Ba	2.73	-0.05	-0.32	-0.38	0.09	19	0.71	212
Cd	1.85	0.64	-0.24	-0.88	-0.09	32	0.43	5.4
Co	-	-	-	-	-	-	-	12
Cr	-	-	-	-	-	-	-	45
Cu	1.45	0.19	-0.16	-0.04	-0.21	33	0.48	33
Hg	3.18	-0.59	-1.43	-0.12	0.05	10	0.39	0.3
Ni	2.32	-0.10	-0.54	-0.58	0.52	13	0.17	43
Pb	1.81	0.25	-0.27	-0.27	-0.50	33	0.28	135
Sn	-	-	-	-	-	-	-	28
V	-	-	-	-	-	-	-	54
Zn	2.47	0.77	-0.31	-0.23	-0.39	33	0.49	720

Tabel B. 49: BCF-waarden Van Gestel et al. data

	Q95/IW	sla	sla	sla	radijs	radijs	radijs
		BCF(SW)	BCF(Q95)	BCF(IW)	BCF(SW)	BCF(Q95)	BCF(IW)
Ba	0,3	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.011
Cd	0,5	5.7	3.3	2.6	0.8	0.4	0.3
Co	0,1	0.06	0.11	0.004	-	-	-
Cr	0,1	0.010	0.02	0.002	-	-	-
Cu	0,2	0.18	0.21	0.005	0.12	0.12	0.03
Hg	0,03	0.22	0.22	0.009	0.0007	0.0007	3E-6
Ni	0,2	0.02	0.02	0.014	-	-	-
Pb	0,3	0.007	0.004	0.0011	-	-	-
Zn	1	0.7	0.17	0.17	0.5	0.3	0.3

## Bijlage 11: Andere modelconcepten uit de literatuur

### B11.1 Mechanisme cadmium opname volgens Christensen en Tjell

In Christensen en Tjell (1984) wordt voor de opname van Cadmium uit de bodem onderscheid gemaakt in opname vanuit

- de lucht door depositie
- de bovengrond door opwaaien en opspatten en opname en via het wortelstelsel
- de ondergrond door opname via het wortelstelsel

Het model is gemaakt voor een situatie waarbij de verontreiniging ontstaat door opbrengen van een zuiveringsslip en weinig migratie van Cd naar de ondergrond. Cadmium is ook een natuurlijk bestanddeel van moedergesteenten waaruit de Nederlandse bodem is ontstaan (Van Driel et al., 1984). De basislijn voor opname wordt gevormd door opname vanuit de lucht en de ondergrond. Voor een bepaalde regio kan deze als constant worden beschouwd<sup>8</sup>. De opname uit de bovengrond wordt evenredig verondersteld met de concentratie in het poriewatergehalte. De concentratie in het poriewater in de bovengrond wordt bepaald door adsorptie (bij lage concentraties) en precipitatie van CdCO<sub>3</sub> (bij hogere concentraties) en is daarmee onafhankelijk van het totaalgehalte in de bodem (bij voldoende hoog totaalgehalte in de bodem en voldoende CO<sub>2</sub> in bodemlucht). Er is wel een afhankelijkheid van pH en luchtdoorlatendheid (ruwweg functie van OC% en L%). Bij lage pH is er een hoger gehalte in de plant te verwachten. Uit oplosbaarheidsproducten is af te leiden:

$$\log(\text{Cd-poriewater}) = 14,2 - 2 \cdot \text{pH} - \log[\text{CO}_2 \text{ atm}]$$

De totale opname is afhankelijk van de actuele evapotranspiratie van de plant. Deze wisselt per plant en per seizoen (neerslag). Afhankelijk van de opbouw van het wortelstelsel wordt een deel van het vocht betrokken uit de ondergrond en een deel uit de bovengrond. Ook deze verhouding is afhankelijk van plant en seizoen<sup>9</sup>.

Bij laag totaalgehalte in de bodem overheersen adsorptie/desorptie processen en stijgt het gehalte in de plant met het totaalgehalte en bij hoge concentraties overheersen precipitatiedprocessen. Het niveau constant op een waarde bepaald door pH, [CO<sub>2</sub> atm], seizoen en plant. De partiële CO<sub>2</sub> druk hangt af van de doorlatendheid van de bodem en biologische processen in de bodem en daarmee van gehalte organisch stof en lutumgehalte. Dit rechtvaardigt het gebruik van de Freundlich isotherm met afhankelijkheid van pH, OC% en L% en de bepaling van de coëfficiënten per plant.

De afhankelijkheid van het totaalgehalte die door ons ook in de Freundlich isotherm is gevonden, zou echter op basis van de theorie van Christensen en Tjell alleen voor lagere totaalgehalten gelden. Het concentratieniveau van het overgangsgebied is daarbij sterk

<sup>8</sup> Hovmand et al. (1983) bepaalde 0.02 - 0.4 mg Cd /kg.ds voor deense granen, grassen en groenten als afkomstig van depositie; Van Driel en Dalenberg (1989) schatten uit experimenten in dat bij niet verontreinigde bodem in de relatief schone atmosfeer van Haren de bijdrage van depositie aan gehalten in de plant ca. 70% is voor Pb in spinazie en ca.. 10% voor ondergronds groeiende plantendelen zoals peen, voor Cd was in beide gevallen geen bijdrage van depositie aantoonbaar. Sinds het gebruik van ongelode benzine zal de depositie van lood op bladgewassen waarschijnlijk ook verminderd zijn.

<sup>9</sup> Anderson en Christensen (1983) bepaalden dat voor granen en bieten, ca. 55% uit bovengrond afkomstig was en voor grassen ca. 85%

afhankelijk van de pH<sup>10</sup>. Bij hoge mineralisatiegraad en daardoor hoge CO<sub>2</sub> gehalten in bodemlucht kan het niveau van het overgangsgebied een factor 2-3 lager liggen.

Bij deze theorie resteert er nog een ruis-term door seizoensinvloeden. Hiernaast zijn er met name voor cadmium meer ruistermen, bijv.

- de competitie van Cd en Zn bij de opname door de plant
- de vorming van mobiele chloride complexen in het poriewater
- de aanwezigheid van andere chelaatvormers.

Förstner (1985) gaat op deze mechanismen in bij sedimenten en onderscheid 5 mechanismen die de mobiliteit een daarmee de ook beschikbaarheid voor gewassen beïnvloeden:

- adsorptie/desorptie aan oppervlakken fijnkorrelige deeltjes,
- precipitatie-evenwichten van metaalzouten (carbonaten, sulfiden) /hydroxiden/oxiden,
- co-precipitatie met neerslagen met ijzer en mangaan (hydr)oxiden,
- associaties met organische stoffen (humus-, fulvozuren) ,
- metalen opgenomen in kristallijne matrizes.

Hieraan kan worden toegevoegd:

- (1) interactie met anorganische complexvormers zoals choride-ionen.

## B11.2 Plantopname en poriewatergehalte

Er wordt vaak aangenomen dat de plant voornamelijk via poriewateropneemt en daarom ook bij het gehalte van het metaal in de plant de relatie met bodemtypen bepaald wordt door de poriewatergehalten (zie 5.1). Omdat de opname van metalen per type gewas verschilt zou het afhankelijk kunnen zijn van de evapotranspiratie die per plant verschilt. In dit project is dit ook als uitgangspunt uitgeprobeerd maar dit bleek niet goed werkbaar. Omdat

- ◆ de keuze van de juiste poriewaterrelaties niet vanzelfsprekend is (hier kan een afhankelijkheid in zitten van het niveau van het totaalgehalte in de bodem en van de verontreinigingsmatrix),
- ◆ geconstateerd werd dat de verhouding Cplant / Cporiewater niet constant is
  - ⇒ per metaal bij gelijkblijvende gewastypen en bodemtypen
  - ⇒ per gewastype bij gelijkblijvende metalen en bodemtypen
  - ⇒ per bodemtype bij gelijkblijvende metalen en gewastypen,
- ◆ bij de opname van metalen in planten het bodemtype op andere manieren een rol kan spelen dan bij verdeling over bodemdeeltjes en poriewater, bijv. doordat de doordringbaarheid van de bodem voor het wortelstelsel bepaald wordt door het bodemtype.

De eerste 2 punten worden hieronder nog toegelicht.

Het poriewatergehalte kan als functie van het totaalgehalte in de bodem en het bodemtype worden berekend met de Freundlich-adsorptie isothermen zoals afgeleid door Otte et al. (2000) enerzijds en in een eerder stadium door Koops in het kader van dit project (zie bijlage 2). Het verschil ligt voornamelijk in de meetpunten die in de dataset zijn meegenomen. Koops heeft zich zoveel mogelijk beperkt tot de meetpunten bij totaalgehalten rond interventie-waarden. De relaties van Otte et al., zijn over een groter traject van totaalgehalten in de bodem en met meer meetpunten bepaald.

---

<sup>10</sup> Christensen en Tjell (1984) schatten in: bij pH =7 een lineaire toename tot 4 mg Cd /kg ds en bij pH=8 tot ca. 1 mg Cd /kg ds

Ter illustratie de berekening van enkele de verhoudingen van gehalten in plant en in poriewater. In Tabel B. 50 worden poriewatergehalten gegeven bij Q95 voor de huidige en de voorgestelde standaardbodem:

*Tabel B. 50: Berekening poriewatergehalten bij Q95 voor de huidige en de voorgestelde standaardbodem*

		huidige standaardbodem			voorgestelde standaardbodem		
	Q	Cporie Otte/ Cbodem	Cporie Koops/ Cbodem	Cp(Koops)/ Cp(Otte)	Cporie Otte/ Cbodem	Cporie Koops/ Cbodem	Cp(Koops)/ Cp(Otte)
Cd	3,2	0.0005	0.0004	0.7	0.0014	0.0003	0.2
Cu	45	0.0014	0.0015	1.1	0.0014	0.0008	0.6
Pb	359	0.00002	0.00004	2.3	0.00004	0.00003	0.8
Zn	720	0.0004	0.0003	0.8	0.0011	0.0004	0.3

De orde van grootte van de poriewatergehalten is bij beide coëfficiënten gelijk, maar de relaties met bodemtype zijn verschillen.

*Tabel B. 51: Verhouding gehalte in plant en gehalte in poriewater*

		huidige standaardbodem			voorgestelde standaardbodem		
(*)	Q	Csla/ Cporie	Caardappel/ Cporie	Cmeta- model/ Cporie	Csla/ Cporie	Caardappel/ Cporie	Cmeta- model/ Cporie
Cd	3,2	15000	200	200	3800	50	80
Cu	45	69	0.04	3.8	66	0.00001	5.2
Pb	359	20	1.2	2.5	5	0.5	1.4
Zn	720	620	620	0.6	220	470	0.14

(\*) Cporie water berekend met relaties van Otte et al.

Met de variatie verhoudingen van gehalten in gewas en poriewater in Tabel B. 51 is voldoende toegelicht dat uit de door ons gebruikte gegevens geen sprake is van een constante verhouding. Het kan dus geconstateerd worden dat het geen bruikbaar uitgangspunt is om te veronderstellen dat de variaties met het bodemtype voor poriewater evenredig zijn met de variaties met het bodemtype voor het metaalgehalte in planten, al is dit mogelijk geldig voor jonge sla. Gedurende het project is dit uitgangspunt dan ook verlaten.

### B11.3 Modellering metaalopname Van der Werf (1999)

De “Alternatieve methode voor het modelleren van metaalopname door moestuingewassen” (P vd Werf 1999) betreft een uitgewerkt concept voor de berekening van de locatie specifieke metaalopname door moestuingewassen in het kader van humane risicobeoordeling bij het gebruik van verontreinigde bodems. Dit werk is verricht door P. van der Werf en begeleid door R. Eleveld en P. Smit (van Hall Instituut, Leeuwarden).

In deze notitie worden, aan de hand van het metaal cadmium, de verschillende berekeningsstappen kritisch beschouwd, en de resultaten onderworpen aan een eenvoudige onzekerheidsanalyse.

Tabel B. 52: Overzicht rekenstappen en formularium Van der Werf (1999)

stappen	Formularium	codes
bodemgehalte (totaal)	Cs (mg/kg d.s.)	
1. poriewaterconcentratie	$C_{pw} = Cs / \{10^{[a+b*pH+c*\log(OM)]}\}$	
2. metaal aanbod	$M_{aanbod} = C_{pw} * TC$	
3. plantgehalte (totaal)	$C_{pl} = C_{pw} * TC * PF$	
4. plantgehalte (eetbaar)	$C_{pl} = C_{pw} * TC * PF * ID$	

waarin

- Cs: totaal metaalgehalte in de bodem  
 Cpw: poriewaterconcentratie op basis van partitievergelijking van Janssen et al. (1996)  
 M aanbod: de hoeveelheid metaal die naar de plant getransporteerd wordt  
 TC: transpiratiecoëfficiënt  
 PF: preferentiefactor  
 ID: interne distributiefactor  
 Cpl: concentratie in de plant

#### Korte toelichting

- 1) *De metaal concentratie in het poriewater* wordt berekend op basis van partitievergelijkingen (Janssen et al., 1996). Belangrijke beperkingen van de gebruikte vergelijking zijn:
  - Er is geen concentratieafhankelijkheid, d.w.z. dat de Kp constant verondersteld wordt over het gehele concentratiebereik,
  - Het is niet aangegeven of de partitievergelijking geldig is voor het toepassingsgebied (toepassingsgebied in termen van concentratie-, pH-, lutum- en organische stof range)
- 2) *Het metaalaanbod* wordt bepaald door de Cpw en de transpiratiecoëfficient (in l/kg d.w.). De vaststelling van de TC is geschied op basis van het gemiddelde van beschikbare data. Hierbij is **geen** rekening gehouden met:
  - variatie veroorzaakt door gewassoort
  - verschillen tussen knol- en bladgewassen.
 Bovendien is geconstateerd dat de TC een behoorlijke variatie vertoont o.a. veroorzaakt door seizoen en klimaat.  
 De berekeningen worden uitgevoerd met een constante TC van 300 l/kg d.s. (minimum en maximum waarde TC respectievelijk 164 en 401 l/kg d.s.).
3. *Het metaalgehalte in de totale plant* wordt berekend door het metaalaanbod te vermenigvuldigen met de Preferentie Factor. Met deze factor wordt getracht de affiniteit van een gewassoort voor een bepaald metaal tot uitdrukking te brengen. Deze preferentiefactor wordt op de volgende wijze berekend.

$$PF = (C_{pl} / Cs) * (Kd, loc, sp. / TC)$$

Vervolgens wordt het metaalgehalte als volgt vastgesteld:

$$C_{pl} = C_{pw} * TC * PF * ID$$

Omdat de Transpiratie Coefficient constant wordt gehouden en de Interne Distributie constant wordt verondersteld kan voornoemde rekensessie vereenvoudigd worden tot:

$$Cpl = Cs * BCF \text{ st. bodem} * (Cpw, loc sp. / Cpw, st. bodem)$$

N.B. Alleen indien de Interne Distributie gelijk wordt gesteld aan 1 (*bijv. indien alleen de eetbare plantendelen in beschouwing worden genomen*).

### Discussie

Over het beschreven concept van “*De alternatieve methode voor het modelleren van metaalopname door moestuingewassen*” en de praktische uitwerking daarvan kan het volgende worden opgemerkt:

1. De Preferentie Factor geeft (volgens de definitie van het model) de affiniteit van een gewassoort weer voor een bepaald metaal. Echter er wordt voor alle gewassen dezelfde Transpiratie Coefficient aangenomen, een versimpeling die niet terecht lijkt. De gemiddelde PF (waarmee wordt gerekend) is gebaseerd op empirische gegevens van een willekeurige set groentegewassen. Hierdoor kunnen bepaalde gewassen de gemiddelde PF ontrecht (gezien het gemiddelde consumptie pakket) domineren.
  - *In feite is de PF niet meer en niet minder dan een voor biobeschikbaarheid (Cpw) gecorrigeerde gemiddelde BCF.*
  - Er is geen concentratie afhankelijkheid verondersteld.*
2. De set van veldgegevens is over het algemeen nogal onevenwichtig samengesteld. Veel gegevens over metaalopname in het *lage* concentratie gebied (rondom streefwaarde) terwijl de toepassing van dergelijke modellen veelal rondom Interventie Waarde zal liggen. Bovendien blijkt de variatie aan gewassoorten nogal klein te zijn.
3. De geldigheid van de partitie vergelijkingen met betrekking tot bodemtype en concentratieniveau) is niet onderzocht. Extrapolatie naar bodemtypen of bodemgehalten buiten de dataset van Janssen en van den Hoop kan leiden tot foutieve inschattingen.
4. Er is in de partitie vergelijkingen geen concentratieafhankelijkheid opgenomen
5. De onderbouwing van de Transpiratie Coefficient is nogal zwak.
  - *Een grote spreiding (164 (min.)  $\Rightarrow$  300 (gem.)  $\Leftarrow$  401 (max), eenheid l/kg d.s.)*
  - *Selectief gebruik van data*
  - *Geen onderscheid tussen knol en bladgewassen*
  - *Opname van niet-moestuin gewassen in de dataset*
6. De Interne Distributie factor is de verhouding tussen het metaal in het eetbare plantgedeelte en het metaalgehalte in de totale plant. De onderbouwing van deze ID's zijn nogal zwak. Dit komt hoofdzakelijk door de nogal beperkte datasets. Een oplossing voor dit probleem is het gebruik van data voor eetbare plantendelen.

In de loop van deze studie is gezocht naar een manier van modellering van de accumulatie van metalen in gewassen. Hierbij werd in de eerste plaats gedacht aan de parallel met poriewatergehalten (zie B11.2). Dit model is een verdere uitwerking hiervan. Het is niet gebruikt, enerzijds vanwege de moeilijkheid een bruikbare poriewatervergelijking te vinden, maar ook omdat gebruikte parameters als Transpiratiecoëfficiënt, Preferentiefactor en Interne Distributie niet onafhankelijk bekend zijn en alleen kunnen worden achterhaald uit een grote en systematische dataset van meetgegevens.

## Bijlage 12: Overzicht figuren en tabellen

### B12.1 Figuren

FIGUUR 1.3.1: SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE OPBOUW VAN DIT RAPPORT.....	18
FIGUUR 1.3.2: ROUTES OPNAME VERONTREINIGING IN EEN PLANT.....	19
FIGUUR 1.3.3: DE BLOOTSTELLINGSROUTE VAN VERONTREINIGDE BODEM VIA PLANT NAAR DE MENS DOOR DIRECTE CONSUMPTIE VAN PLANTEN .....	21
FIGUUR 2.3.1: FICTIEVE VOORBEELDEN VAN VERLOOP C-PLANT EN BCF MET TOTAALGEHALTE IN DE BODEM....	25
FIGUUR 3.2.1: RELATIEF BELANG VAN METALEN BIJ SANERINGEN .....	30
FIGUUR 4.4.1: RELATIEVE VERHOUDING RANGES TOTAALGEHALTE BODEM DATASET TEN OPZICHTE VAN HUIDIGE INTERVENTIEWAARDE .....	49
FIGUUR 4.4.2: RANGES DATASET VOOR pH VERGELEKEN MET WAARDE VOOR HUIDIGE STANDAARDBODEM.....	49
FIGUUR 4.4.3: RANGES DATASET VOOR OC% VERGELEKEN MET WAARDE VOOR HUIDIGE STANDAARDBODEM....	50
FIGUUR 4.4.4: RANGES DATASET VOOR L% VERGELEKEN MET WAARDE VOOR HUIDIGE STANDAARDBODEM.....	50
FIGUUR 7.1.1: BCF-WAARDEN BIJ IW/Q95 VOOR DIVERSE BODEMTYPEN BEREKEND MET EXTRAPOLATIE VOOR BODEMPARAMETERS BUITEN GELDIGHEIDS RANGE DATASET.....	68
FIGUUR 7.1.2: BCF-WAARDEN BIJ IW/Q95 VOOR DIVERSE BODEMTYPEN BEREKEND MET AFKAPPEN OP GRENZEN GELDIGHEIDS RANGE DATASET VOOR BODEMPARAMETERS .....	70
FIGUUR 7.1.3: BCF-WAARDEN BIJ IW/Q95 VOOR DIVERSE BODEMTYPEN BEREKEND MET AFKAPPEN OP GRENZEN GELDIGHEIDS RANGE DATASET VOOR BODEMPARAMETERS EN VERVANGING NIET SIGNIFICANTE RELATIES DOOR GEOMETRISCH GEMIDDELLEN.....	71
FIGUUR 7.1.4: GENERIEKE BCF VAN Cd VOOR DIVERSE BODEMTYPEN .....	72
FIGUUR 7.2.1: INVLOED VAN pH OP BCF-WAARDE BIJ IW/Q95 VOLGENS REKENMODEL MET EXTRAPOLATIE BODEMPARAMETERS .....	74
FIGUUR 7.2.2: INVLOED VAN ORGANISCH STOFGEHALTE OP BCF-WAARDE BIJ IW/Q95 VOLGENS REKENMODEL MET EXTRAPOLATIE BODEMPARAMETERS .....	74
FIGUUR 7.2.3: INVLOED VAN LUTUMGEHALTE OP BCF-WAARDE BIJ Q95/IW VOLGENS REKENMODEL MET EXTRAPOLATIE BODEMPARAMETERS.....	75
FIGUUR 7.2.4: INVLOED VAN pH OP BCF-WAARDE BIJ IW/Q95 VOLGENS REKENMODEL MET AFKAPPEN OP GRENZEN GELDIGHEIDS RANGE BODEMPARAMETERS.....	76
FIGUUR 7.2.5: INVLOED VAN ORGANISCH STOFGEHALTE OP BCF-WAARDE BIJ IW/Q95 VOLGENS REKENMODEL MET AFKAPPEN OP GRENZEN GELDIGHEIDS RANGE BODEMPARAMETERS .....	76
FIGUUR 7.2.6: INVLOED VAN LUTUMGEHALTE OP BCF-WAARDE BIJ IW/Q95 VOLGENS REKENMODEL MET AFKAPPEN OP GRENZEN GELDIGHEIDS RANGE BODEMPARAMETERS .....	77
FIGUUR 7.2.7: INVLOED VAN pH OP BCF-WAARDE BIJ IW/Q95 VOLGENS MENGMODEL (AFKAPPEN EN GEOMETRISCH GEMIDDELLEN).....	78
FIGUUR 7.2.8: INVLOED VAN ORGANISCH STOFGEHALTE OP BCF-WAARDE BIJ IW/Q95 VOLGENS REKENMODEL MET EXTRAPOLATIE BODEMPARAMETERS .....	78
FIGUUR 7.2.9: INVLOED VAN LUTUMGEHALTE OP BCF-WAARDE BIJ IW/Q95 VOLGENS REKENMODEL MET EXTRAPOLATIE BODEMPARAMETERS.....	79
FIGUUR 7.2.10: VERGELIJKING VAN UITKOMSTEN VOOR Cd UIT REKENSHEMA EN UIT METAMODEL VOOR DIVERSE BODEMTYPEN.....	79
FIGUUR 8.2.1: AFNAME BCF MET TOTAALGEHALTE BODEM VOLGENS LÜBBEN EN SAUERBECK, 1991 .....	83
FIGUUR 8.2.2: AFNAME BCF MET TOTAALGEHALTE BODEM VOLGENS BECHTEL-JACOBS (MODEL 1, ZONDER pH AFHANKELIJKHEID) .....	85
FIGUUR 8.2.3: VARIATIE BCF BIJ INTERVENTIEWAARDE MET pH VOLGENS BECHTEL-JACOBS (MODEL 2, MET pH AFHANKELIJKHEID) .....	86
FIGUUR 9.1.1: FICTIEF VOORBEELD BCF ALS FUNCTIE VAN Q TER VERDUIDEIJING VAN PLAATS VAN BCF(Q95) .....	95

## B12.2 Tabellen hoofdtekst

TABEL 1.1: MINIMUM EN MAXIMUM WAARDEN VOOR BIOCONCENTRATIEFACTOREN (BOCKTING EN VAN DEN BERG, 1992).....	16
TABEL 2.1: INDELING VAN GEWASGROEPEN .....	24
TABEL 2.2: ESSENTIELLE METALEN (HENKENS EN SMILDE, 1989).....	26
TABEL 2.3: OPTIMALE CONCENTRATIE IN MG /KG DS VAN METALEN IN HET GEWAS VOLGENS KUNSTMESTINDUSTRIE (WICHMAN ET AL., 1999) TUSSEN HAAKJES, VOOR ZOVER BESCHIKBAAR, DE RANGES (5P-95P) VAN DE IN DIT PROJECT VERZAMELDE DATASET .....	26
TABEL 2.4: ACHTERGRONDWAARDEN GEHALTE IN DE PLANT IN MG/KG DS UIT NEDERLANDSE BRONNEN .....	27
TABEL 3.1: OVERZICHT VERZAMELDE GEGEVENS EN BRONNEN; AANTALLEN GEGEVENS .....	31
TABEL 3.2: STUDIES NAAR BCF VAN METALEN, VERGELIJKING VAN ASPECTEN DIE DE BRUIKBAARHEID BEPALEN VOOR BEREKENING VAN DE GENERIEKE BCF VOOR MOESTUINEN .....	32
TABEL 4.1: As, RANGES TOTAALGEHALTE BODEM (Q) EN BODEMTYPEN VOOR ALLE GEWassen .....	36
TABEL 4.2: As, RANGES GEMETEN BCF-WAARDEN (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES) ....	36
TABEL 4.3: As, RANGES GEHALTEN IN HET GEWAS (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES) ....	36
TABEL 4.4: Cd, RANGES TOTAALGEHALTE BODEM EN BODEMTYPEN VOOR ALLE GEWassen .....	37
TABEL 4.5: Cd, RANGES GEMETEN BCF-WAARDEN (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES)....	37
TABEL 4.6: Cd, RANGES GEHALTEN METAAL IN HET GEWAS (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES) .....	37
TABEL 4.7: Cu, RANGES TOTAALGEHALTE BODEM EN BODEMTYPEN VOOR ALLE GEWassen .....	38
TABEL 4.8: Cu, RANGES GEMETEN BCF-WAARDEN (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES)....	38
TABEL 4.9: Cu, RANGES GEHALTE METAAL IN DE GEWassen (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES) .....	38
TABEL 4.10: Hg, RANGES TOTAALGEHALTE BODEM EN BODEMTYPEN VOOR ALLE GEWassen .....	39
TABEL 4.11: Hg, RANGES GEMETEN BCF-WAARDEN (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES) ...	39
TABEL 4.12: Hg, RANGES METAALGEHALTEN IN DE GEWassen (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES) .....	39
TABEL 4.13: Ni, RANGES TOTAALGEHALTE BODEM EN BODEMTYPEN VOOR ALLE GEWassen .....	40
TABEL 4.14: Ni, RANGES GEMETEN BCF-WAARDEN (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES)....	40
TABEL 4.15: Ni, RANGES GEHALTE METALEN IN DE GEWassen (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES) .....	40
TABEL 4.16: Pb, RANGES TOTAALGEHALTE BODEM EN BODEMTYPEN VOOR ALLE GEWassen .....	41
TABEL 4.17: Pb, RANGES GEMETEN BCF-WAARDEN (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES)....	41
TABEL 4.18: Pb, RANGES GEHALTE METAAL IN DE GEWassen (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES) .....	41
TABEL 4.19: Zn, RANGES TOTAALGEHALTE BODEM EN BODEMTYPEN VOOR ALLE GEWassen .....	42
TABEL 4.20: Zn, RANGES GEMETEN BCF-WAARDEN (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES) ...	42
TABEL 4.21: Zn, RANGES GEHALTE METAAL IN DE GEWassen (BIJ UITEENLOPENDE BODEMTYPEN EN CONCENTRATIES) .....	42
TABEL 4.22: OVERZICHT RANGES EN GEMIDDELDEN VAN VERZAMELDE DATASET PER METAAL EN PER GEWAS ...	43
TABEL 4.23: RANGSCHIKKING GEWassen NAAR NIVEAU VAN METAALOPNAME OP BASIS VAN GEOMETRISCH GEMIDDELDEN VAN DE DATASET VAN DIT RAPPORT .....	45
TABEL 4.24: KRITISCHE GEWassen VOOR METAALACCUMULATIE VOLGENS HUINK ET AL. (1999).....	45
TABEL 4.25: RANGSCHIKKING GEWassen NAAR ALGEMEEN NIVEAU VAN METAALOPNAME VOLGENS SAUERBECK (1990).....	45
TABEL 4.26: RANGSCHIKKING GEWassen NAAR NIVEAU VAN METAALOPNAME, GESPECIFICEERD NAAR METAAL, VOLGENS LÜBBEN EN SAUERBECK (1991).....	46
TABEL 4.27: CONSUMPTIEGEMIDDELDE GENERIEKE BCF UIT VELDDATA, MET BIJBEHOREnde GEMIDDELDE NIVEAU'S VAN TOTAALGEHALTE EN BODEMTYPEPARAMETERS .....	47
TABEL 4.28: CONSUMPTIEGEMIDDELDE GENERIEKE BCF UIT VELDDATA OPGESPLITST NAAR AARDAPPELEN EN GROENTEN .....	47
TABEL 4.29: VARIATIE IN CONSUMPTIEGEMIDDELDE GEHALTE IN HET GEWAS EN DE GENERIEKE BCF BEREKEND UIT VELDDATA .....	48
TABEL 4.30: RANGES TOTAALGEHALTE EN BODEMTYPEPARAMETERS VELDDATA, IN DE VORM VAN 5 - EN 95- PERCENTIELEN.....	48
TABEL 5.1: As, OVERZICHT RESULTATEN LINEAIRE REGRESSIE TER BEREKENING FREUNDLICH-COËFFICIËNTEN .	53
TABEL 5.2: Cd, OVERZICHT RESULTATEN LINEAIRE REGRESSIE TER BEREKENING FREUNDLICH-COËFFICIËNTEN .	53
TABEL 5.3: Cu, OVERZICHT RESULTATEN LINEAIRE REGRESSIE TER BEREKENING FREUNDLICH-COËFFICIËNTEN .	54
TABEL 5.4: Hg, OVERZICHT RESULTATEN LINEAIRE REGRESSIE TER BEREKENING FREUNDLICH-COËFFICIËNTEN .	54

TABEL 5.5: Ni, OVERZICHT RESULTATEN LINEAIRE REGRESSIE TER BEREKENING FREUNDLICH-COËFFICIËNTEN ..	54
TABEL 5.6: Pb, OVERZICHT RESULTATEN LINEAIRE REGRESSIE TER BEREKENING FREUNDLICH-COËFFICIËNTEN ..	55
TABEL 5.7: Zn, OVERZICHT RESULTATEN LINEAIRE REGRESSIE TER BEREKENING FREUNDLICH-COËFFICIËNTEN ..	55
TABEL 5.8: OVERZICHT SIGNIFICANTIE VAN GEVONDEN RELATIES LINEAIRE REGRESSIE FREUNDLICH ISOTHERM ..	56
TABEL 6.1: WEEGFACTOREN PER GEWAS VOOR BEREKENING CONSUMPTIEGEMIDDELDE BCF .....	59
TABEL 6.2: GENERIEKE BCF WAARDEN ZONDER EXTRAPOLATIE NAAR INTERVENTIEWAARDEN OF STANDAARDBODEMS .....	62
TABEL 6.3: GENERIEKE BCF-WAARDEN GECORRIGEERD VOOR HET GEWENSTE CONCENTRATIEBEREIK, ROND DE INTERVENTIEWAARDEN .....	63
TABEL 6.4: OVERZICHT AFKAPWAARDEN VOOR PARAMETERS DIE HET BODEMTYPE KARAKTERISEREN, UIT DATASET PER METAAL OP BASIS VAN TABEL 4.30 .....	64
TABEL 6.5: GENERIEKE BCF-WAARDEN GECORRIGEERD VOOR HET GEWENSTE CONCENTRATIEBEREIK TOT Q95/IW (GEEN EXTRAPOLATIES) EN GECORRIGEERD VOOR STANDAARDBODEM .....	65
TABEL 7.1: ILLUSTRATIEVE RANGE VAN NEDERLANDSE BODEMTPEN .....	67
TABEL 7.2: BCF WAARDEN BIJ IW/Q95 BEREKEND IN MODEL MET EXTRAPOLATIE BODEMTYPEPARAMETERS ..	68
TABEL 7.3: BCF WAARDEN BIJ IW/Q95 BEREKEND IN MODEL MET AFKAPGRENZEN BODEMTYPEPARAMETERS ..	69
TABEL 7.4: BCF WAARDEN BIJ IW/Q95 BEREKEND IN MODEL MET AFKAPGRENZEN BODEMTYPEPARAMETERS EN VERVANGING NIET SIGNIFICANTE RELATIES DOOR GEOMETRISCH GEMIDDELDEN .....	70
TABEL 7.5: COËFFICIËNTEN METAMODEL VOLGENS REKENMODEL MET EXTRAPOLATIE BODEMTYPEPARAMETERS (BCF UIT TABEL 7.2) .....	73
TABEL 7.6: COËFFICIËNTEN META MODEL BCF WAARDEN VOLGENS REKENMODEL MET AFKAPGRENZEN BODEMTYPEPARAMETERS (BCF UIT TABEL 7.3) .....	75
TABEL 7.7: COËFFICIËNTEN META MODEL BCF WAARDEN VOLGENS REKENMODEL MET AFKAPGRENZEN BODEMTYPEPARAMETERS EN VERVANGING NIET SIGNIFICANTE RELATIES DOOR GEOMETRISCH GEMIDDELDEN (BCF UIT TABEL 7.4) .....	77
TABEL 8.1: VERSCHILLEN IN DE BENADERING BOCKTING EN VAN DEN BERG (1992) EN DE BENADERING VAN DIT RAPPORT .....	81
TABEL 8.2: DE RELATIES VAN LÜBBEN EN SAUERBECK (1991) .....	82
TABEL 8.3 : BCF -WAARDE ALS FUNCTIE VAN TOTAALGEHALTE BODEM VOLGENS LÜBBEN EN SAUERBECK, 1991 .....	83
TABEL 8.4: MEDIANEN VAN ENKELE MOESTUIN GEWassen VOLGENS LÜBBEN EN SAUERBECK, 1991 (50-80 METINGEN PER VERMELDE BCF, DIVERSE BODEMTPEN EN TOTAALGEHALTEN BODEM) .....	84
TABEL 8.5: COËFFICIËNTEN VAN RELATIES VOLGENS BECHTEL-JACOBS (1998) VOOR DE INVLOED VAN TOTAALGEHALTE OP HET METAALGEHALTE IN DE PLANT .....	84
TABEL 8.6: COËFFICIËNTEN VAN RELATIES VOLGENS BECHTEL-JACOBS 1998 VOOR DE GEZAMELIJKE INVLOED VAN TOTAALGEHALTE EN DE pH OP HET METAALGEHALTE IN DE PLANT .....	85
TABEL 8.7 RELATIES VOOR CONCENTRATIE IN GEWAS ALS FUNCTIE VAN CONCENTRATIE IN BODEM EN ALS FUNCTIE VAN BODEMTYPE, GEGEVENS GEBASEERD OP VELDSTUDIE MAASOEVERGRONDEN; RELATIES OP BASIS VAN VERSGEWICHT VAN KRITISCHE GEWassen EN OM% (ZIE NOOT ONDER TABEL) .....	87
TABEL 8.8: RELATIES VOOR CONCENTRATIE IN GEWAS ALS FUNCTIE VAN CONCENTRATIE IN BODEM EN BODEMTYPE, GEMODIFICEERDE (*) VERGELIJKINGEN UIT FBS-STUDIE.....	88
TABEL 8.9: VERGELIJKING BIOCONCENTRATIEFACTOREN UIT DIVERSE AMERIKAANSE STUDIES.....	89
TABEL 8.10: VERGELIJKING BIOCONCENTRATIEFACTOREN UIT DIVERSE DUITSE STUDIES .....	90
TABEL 8.11: BEREKENING MET RESULTATEN LÜBBEN EN SAUERBECK (1991).....	91
TABEL 8.12: BEREKENING MET RESULTATEN FBS .....	91
TABEL 8.13: BEREKENINGEN MET RESULTATEN VAN GESTEL ET AL. (1992) .....	92
TABEL 9.1: VERGELIJKING VAN GENERIEKE BCF -WAARDEN UIT VERSCHILLEnde ONDERZOEKEN GECORRIGEERD VOOR HET NIVEAU VAN INTERVENTIEWAARDEN EN DE <u>HUIDIGE</u> STANDAARDBODEM .....	96
TABEL 9.2: VERGELIJKING VAN DATASET 1 EN DATASET 2.....	97
TABEL 9.3: VERGELIJKING VAN GENERIEKE BCF -WAARDEN UIT VERSCHILLEnde ONDERZOEKEN GECORRIGEERD VOOR HET NIVEAU VAN INTERVENTIEWAARDEN EN DE <u>VOORGESTELDE</u> STANDAARDBODEM .....	97
TABEL 9.4: INSCHATTINGEN BCF UIT STUDIES MET BEPERKTE CORRECTIES VOOR BODEMTYPE EN NIVEAU TOTAALGEHALTE BODEM .....	98

## B11.3 Tabellen uit bijlagen

TABEL B. 1: FORMULES VOOR DE AFHANKELIJKHEID VAN PORIEWATERCONCENTRATIES VAN STANDAARDBODEMPARAMETERS ( $\log = {}^{10}\log$ ) (SELECTIE JANSSEN-HOOP DATASET).....	109
TABEL B. 2 : FORMULES VOOR DE AFHANKELIJKHEID VAN PORIEWATERCONCENTRATIES VAN STANDAARD EN ADDITIONELE BODEMPARAMETERS (SELECTIE JANSSEN-HOOP DATASET).....	110
TABEL B. 3: CONCENTRATIERANGES VAN DATASET PORIEWATERGEGEVENS SAMENGESTELD OP BASIS VAN SELECTIE UIT JANSSEN-HOOP DATASET VOOR RELATIEF HOGE CONCENTRATIES.....	110
TABEL B. 4: COËFFICIËNTEN FREUNDLICH-ISOTHERM OP BASIS VAN SELECTIE UIT JANSSEN-HOOP DATASET....	111
TABEL B. 5: COËFFICIËNTEN FREUNDLICH-ISOTHERM OP BASIS VAN DATASET DE WILDE, VERSLUIS (VELDDATA) .....	111
TABEL B. 6: OVERZIHT RANGES PER GEWAS IN DATASET ALS 5-95 PERCENTIELEN, VOOR CONCENTRATIES IN PLANT EN BODEM EN BODEMTYPEPARAMETERS .....	113
TABEL B. 7: VOORSTEL VOOR CORRECTIE DATASET VOOR BEREKENING CONSUMPTIEGEMIDDELDE BCF Cd.....	116
TABEL B. 8: RATIO 90- EN 50-PERCENTIEL VAN BCF(Q95) UIT MONTE CARLO ANALYSE ALS RELATIEVE MAAT VOOR ONZEKERHEID VAN GESCHATTE BCF-WAARDEN .....	117
TABEL B. 9: OVERZIHT VAN BRUIKBAARHEID VAN BESCHIKBARE DATA VOOR HET LEGGEN VAN FREUNDLICH-RELATIES PER METAAL EN PER GEWAS OP BASIS VAN MONTE CARLO ANALYSE .....	118
TABEL B.10: RANGE OF VALUES OF LOWEST OBSERVED CONCENTRATIONS WITH ADVERSE EFFECTS IN PLANTS, RESULTING PHYTOTOXICITY 90 PERCENTILE BENCHMARK CONCENTRATION COMPARED WITH HUMAN TOXICOLOGY BASED VALUE FOR SERIOUS SOIL CONTAMINATION FOR METALS .....	119
TABEL B.11: CLASSES OF METALS IN RELATION WITH RATIO OF PHYTOTOXICITY RANGE AND WITH HUMAN TOXICOLOGY BASED VALUE FOR SERIOUS SOIL CONTAMINATION .....	120
TABEL B.12: AVAILABLE DATA FOR LOECs OF CHROMIUM VI AS FUNCTION OF SOIL pH AND SOIL ORGANIC MATTER FOR SOME SOIL TYPES .....	121
TABEL B. 13: BCF-WAARDEN VOOR BARIUM UIT LITERATUUR .....	122
TABEL B. 14: BA, OVERZIHT GEMIDDELDEN EN VARIATIES BCF-WAARDE BEREKEND UIT BESCHIKBARE LITERATUURGEGEVENS .....	123
TABEL B. 15: Co, BCF-WAARDEN UIT LITERATUUR I.R.T. SELECTIECRITERIA .....	124
TABEL B. 16: Co, OVERZIHT GEMIDDELDEN EN VARIATIES BCF-WAARDE BEREKEND UIT BESCHIKBARE LITERATUURGEGEVENS .....	124
TABEL B. 17: GEMIDDELDE BCF-WAARDEN UIT GEGEVENS VAN BECHTEL-JACOBS (1998) VOOR METALEN MET ONVOLDOENDE GEGEVENS VOOR HET LEGGEN VAN RELATIES MET BODEMTYPE, GEHALTE IN DE BODEM OF MET CONSUMPTIEPAKKET.....	125
TABEL B. 18: BEPERKTE MODELLERING VOOR BA, CO EN CR UIT DE GEGEVENS VAN BECHTEL JACOBS (1998).126	
TABEL B. 19: GEOMETRISCH GEMIDDELDE VAN BCF UIT DATASET ONDERZOEK MAAsoEVERGRONDEN (VAN DRIEL ET AL., 1988).....	127
TABEL B. 20: FREUNDLICH COËFFICIËNTEN VOOR AARDAPPELEN UIT ONDERZOEK MAAsoEVERGRONDEN (VAN DRIEL ET AL., 1988).....	128
TABEL B. 21: DATASET AARDAPPELEN, RANGE EN GEMIDDELDE VAN BODEMTYPEPARAMETERS EN TOTAALGEHALTEN BIJ ONDERZOEK MAAsoEVERGRONDEN (VAN DRIEL ET AL., 1988) .....	128
TABEL B. 22: BCF WAARDEN AARDAPPELEN BEREKEND UIT ONDERZOEK MAAsoEVERGRONDEN (VAN DRIEL ET AL., 1988), BIJ GEMIDDELD TOTAALGEHALTE VAN DATASET (A, B) EN GEËXTRAPOLEERD NAAR HOGERE CONCENTRATIES (C, D, E) .....	129
TABEL B. 23: FREUNDLICH COËFFICIËNTEN VOOR SLA UIT ONDERZOEK MAAsoEVERGRONDEN (DRIEL ET AL., 1988).....	129
TABEL B. 24: DATASET SLA, RANGE EN GEMIDDELDE VAN BODEMTYPEPARAMETERS EN TOTAALGEHALTEN BIJ ONDERZOEK MAAsoEVERGRONDEN (DRIEL ET AL., 1988).....	130
TABEL B. 25: BCF WAARDEN SLA, BEREKEND UIT ONDERZOEK MAAsoEVERGRONDEN (VAN DRIEL ET AL.,1988), BIJ GEMIDDELD TOTAALGEHALTE VAN DATASET (A, B) EN GEËXTRAPOLEERD NAAR HOGERE CONCENTRATIES (C, D, E) .....	130
TABEL B. 26: FREUNDLICH COËFFICIËNTEN VOOR ANDIJVIE UIT ONDERZOEK MAAsoEVERGRONDEN (VAN DRIEL ET AL., 1988).....	130
TABEL B. 27: DATASET ANDIJVIE, RANGE EN GEMIDDELDE VAN BODEMTYPEPARAMETERS EN TOTAALGEHALTEN BIJ ONDERZOEK MAAsoEVERGRONDEN (VAN DRIEL ET AL., 1988).....	131
TABEL B. 28: BCF WAARDEN ANDIJVIE, BEREKEND UIT ONDERZOEK MAAsoEVERGRONDEN (VAN DRIEL ET AL., 1988), BIJ GEMIDDELD TOTAALGEHALTE VAN DATASET (A, B) EN GEËXTRAPOLEERD NAAR HOGERE CONCENTRATIES (C, D, E) .....	131
TABEL B. 29: FREUNDLICH COËFFICIËNTEN VOOR PREI UIT ONDERZOEK MAAsoEVERGRONDEN (VAN DRIEL ET AL., 1988) .....	131

TABEL B. 30: DATASET PREI, RANGE EN GEMIDDELDE VAN BODEMTYPEPARAMETERS EN TOTAALGEHALTEN BIJ ONDERZOEK MAASOEVERGRONDEN (VAN DRIEL ET AL., 1988) .....	132
TABEL B. 31: BCF WAARDEN PREI, BEREKEND UIT ONDERZOEK MAASOEVERGRONDEN (VAN DRIEL ET AL., 1988), BIJ GEMIDDELD TOTAALGEHALTE VAN DATASET (A, B) EN GEËXTRAPOLEERD NAAR HOGERE CONCENTRATIES (C, D, E) .....	132
TABEL B. 32: SIGNIFICANTIE LINEAIRE REGRESSIE OP FREUNDLICH ISOTHERM VOOR DATA KOOL UIT ONDERZOEK MAASOEVERGRONDEN (DRIEL ET AL., 1988).....	132
TABEL B. 33: CONSUMPTIEGEMIDDELDE BCF WAARDEN, BEREKEND UIT ONDERZOEK MAASOEVERGRONDEN (VAN DRIEL ET AL., 1988), BIJ GEMIDDELD TOTAALGEHALTE VAN DATASET (A, B) EN GEËXTRAPOLEERD NAAR HOGERE CONCENTRATIES (C, D, E) - NIET-SIGNIFICANTE RELATIES VERVERGANGEN DOOR GEOMETRISCH GEMIDDELDEN.....	133
TABEL B. 34: CONSUMPTIEGEMIDDELDE BCF WAARDEN, BEREKEND UIT ONDERZOEK MAASOEVERGRONDEN (VAN DRIEL ET AL., 1988), BIJ GEMIDDELD TOTAALGEHALTE VAN DATASET (A, B) EN GEËXTRAPOLEERD NAAR HOGERE CONCENTRATIES (C, D, E) - INCL. NIET-SIGNIFICANTE RELATIES .....	133
TABEL B. 35: VERGELIJKING VAN CONSUMPTIEGEMIDDELDE BCF-WAARDEN UIT PARAGRAAF 7 MET DE UITKOMSTEN VAN HET ONDERZOEK VAN DE MAASOEVERGRONDEN EN DE RESULTATEN VAN AMERIKAANS ONDERZOEK .....	134
TABEL B. 36: BCF'S FOR Cd UPTAKE IN RELATION TO SOIL CHARACTERISTICS .....	135
TABEL B. 37: BCF'S FOR Zn UPTAKE IN RELATION TO SOIL CHARACTERISTICS .....	135
TABEL B. 38: BCF'S FOR Ni UPTAKE IN RELATION TO SOIL CHARACTERISTICS, (NO DEPENDANCE ON C-ORG CONTENT).....	135
TABEL B. 39: BCF'S FOR Cu UPTAKE IN RELATION TO SOIL CHARACTERISTICS .....	136
TABEL B. 40: BCF'S FOR Pb UPTAKE IN RELATION TO SOIL CHARACTERISTICS .....	136
TABEL B. 41: BCF'S FOR Cr UPTAKE IN RELATION TO SOIL CHARACTERISTICS (NO DEPENDANCE ON CLAY-CONTENT).....	136
TABEL B. 42: BCF'S FOR As UPTAKE IN RELATION TO SOIL CHARACTERISTICS .....	136
TABEL B. 43: BCF'S FOR Hg (IN ORGANIC BOUND) UPTAKE IN RELATION TO SOIL CHARACTERISTICS .....	136
TABEL B. 44: KEUZE VOOR BODEMPARAMETERS VOOR BEREKENING VAN FREUNDLICH-COËFFICIËNTEN MET INSCHATTINGEN BCF UIT UMS .....	137
TABEL B. 45: FORMULES VOOR DE AFHANKELIJKHED VAN BCF-WAARDEN VAN STANDAARBODEMPARAMETERS ZOALS AFGELEID VAN UMS-INSCHATTINGEN EN INSCHATTING VAN B UIT LÜBBEN EN SAUERBECK (ZIE 8.2.1, NIET BESCHIKBAAR VOOR As EN Hg)).....	137
TABEL B. 46: BCF-WAARDEN VOOR HUIDIGE EN VOORGESTELDE STANDAARBODEM VOLGENS UMS BIJ STREEFWAARDEN EN BIJ INTERVENTIEWAARDEN .....	138
TABEL B. 47: OPNAME IN SLA, VOLGENS POTPLOEVEN VAN GESTEL ET AL.....	139
TABEL B. 48: OPNAME IN RADIJS VOLGENS POTPLOEVEN VAN GESTEL ET AL. ....	139
TABEL B. 49: BCF-WAARDEN VAN GESTEL ET AL. DATA .....	139
TABEL B. 50: BEREKENING PORIEWATERGEHALTEN BIJ Q95 VOOR DE HUIDIGE EN DE VOORGESTELDE STANDAARBODEMS .....	142
TABEL B. 51: VERHOUDING GEHALTE IN PLANT EN GEHALTE IN PORIEWATER .....	142
TABEL B. 52: OVERZICHT REKENSTAPPEN EN FORMULARIUM VAN DER WERF (1999).....	143