



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Bodemverontreiniging en de opname van lood door moestuingewassen

Risico's van lood door bodemverontreiniging

RIVM rapport 607711004/2011

P.F. Otte | P.F.A.M. Römken | R.P.J.J. Rietra |

J.P.A. Lijzen



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Bodemverontreiniging en de opname van lood door moestuingewassen

Risico's van lood door bodemverontreiniging

RIVM Rapport 607711004/2011

Colofon

© RIVM 2011

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

P.F. Otte (projectleider), RIVM
P.F.A.M. Römken (onderzoeker), Alterra
R.P.J.J. Rietra (onderzoeker), Alterra
J.P.A. Lijzen (onderzoeker), RIVM

Contact:
P.F. Otte
Laboratorium voor Ecologische Risicobeoordeling
piet.otte@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van ministerie van Infrastructuur en Milieu, directie Duurzaam Produceren, in het kader van RIVM-project M/607711.

Rapport in het kort

Bodemverontreiniging en de opname van lood door moestuingewassen

Risico's van lood door bodemverontreiniging

Lood uit bodemverontreinigingen wordt opgenomen door moestuingewassen die daarop worden geteeld. Deze gewassen kunnen een gezondheidsrisico vormen als zij worden geconsumeerd. Uit deze studie van het RIVM en Alterra blijkt dat bij hoge concentraties lood in de bodem de opname minder wordt. Hierdoor bevatten de gewassen op deze bodems minder van dit metaal dan aanvankelijk werd gedacht.

Voor het onderzoek, dat in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I en M) wordt uitgevoerd, is de bestaande methode om de opname van lood te modelleren, verbeterd. Op basis van een nieuwe dataset kan de opname van lood in gewassen en het effect van het loodgehalte in de bodem nauwkeuriger worden voorspeld.

Door de verbeterde risicobeoordeling kan preciezer worden aangegeven in welke situaties gezondheidsrisico's aanvaardbaar zijn. Daardoor is minder vaak aanvullend gewasonderzoek nodig. Dat spaart onderzoekskosten en tijd uit bij de bepaling of een geval van ernstige bodemverontreiniging al dan niet met spoed dient te worden gesaneerd, alsmede bij de uitvoering van (her)inrichtingsprojecten. Dit kan ook van belang zijn voor de communicatie naar bezorgde bewoners.

Trefwoorden:

bodemverontreiniging, lood, gezondheidsrisico's, loodopname, bodemsanering

Abstract

Soil contamination and the uptake of lead by vegetable crops

Risks of lead contaminated soil

Soil contamination with lead is often a bottleneck in the use of soil when growing vegetables. Consumption of lead contaminated crops, may cause a range of health effects, such as behavioral problems and learning disabilities. Children under six years old are most at risk. Hence, the prediction of lead uptake by vegetables and potatoes is an important part of the assessment of human health risks of vegetable gardens.

Based on a new data set an improved methodology for calculating the uptake of lead has been developed. This dataset contains data of 2800 samples and 32 different crops. For each sample data included, the soil lead content, crop lead concentration, soil pH, clay and organic matter content. Soil-plant uptake relations were derived for the different crops resulting in an improved model for the prediction of risks. The model proved that the uptake factor of lead (expressed as the ratio between plant concentration and soil concentration) at high lead soil levels gradually decreases.

With the new model, the prediction of health risks is improved. This means that, for the risk assessment of contaminated sites, less additional crop research is necessary. This saves not only research costs and time but it is also important for the communication with concerned residents.

Keywords:

soil contamination, lead, health risks, plant uptake, soil remediation

Inhoud

Samenvatting—9

1 Inleiding—11

- 1.1 Aanleiding en probleemstelling—11
- 1.2 Doel en opzet RIVM-project—11
- 1.3 Leeswijzer—11

2 Achtergronden risicobenadering lood—13

- 2.1 Huidige benadering voor de normering lood—13
- 2.2 Factoren die de opname van lood kunnen bepalen—14

3 Analyse data bodem-plantgegevens lood—17

- 3.1 Dataset—17
- 3.2 Conclusies analyse database—21

4 Analyse bodem-plantopnamemodellen—23

- 4.1 Bodem-plantmodellen—23
- 4.2 Analyse 'constante BCF'-model—24
- 4.3 Analyse log-lineaire bodem-plant opname model—26

5 Doorwerking BCF-modellen in consumptie gemiddelde BCF voor de risicobeoordeling—33

- 5.1 Benadering—33
- 5.2 Bepaling BCF op basis van een constante BCF-waarde—33
- 5.3 Bepaling BCF op basis van bodem-plantopnamerelatie—34
- 5.4 Conclusie uitwerking bodem-plantopnamemodellen—40
- 5.5 Praktijktoetsing—41

6 Doorwerking, conclusies en aanbevelingen—45

Literatuur—47

Bijlage 1: Gehalten aan lood in de bodem—51

Bijlage 2: Gehalten aan lood in gewas—53

Bijlage 3: BCF-waarden per gewas—55

Bijlage 4: Geometrisch gemiddelde BCF-waarde voor verschillende gewassen en de consumptiegemiddelde BCF waarde voor groenten—57

Bijlage 5: Afgeleide bodem-plantloodopnamemodellen—59

Bijlage 6: Berekening van consumptiegemiddelde BCF op basis van BCF-model I—63

Samenvatting

Verhoogde loodgehalten in de (stads)bodem vormen vaak een knelpunt bij gebruik als (moes)tuin. Deze locaties zijn in het verleden vaak belast met verontreinigingen door de uitstoot van verkeer en door industriële activiteiten. Ook is de bodem in het verleden vaak opgehoogd met verontreinigde grond en stadsafval. Hierdoor zijn de gehalten aan lood in de bodem van deze locaties (soms sterk) verhoogd. Omdat blootstelling aan lood een negatief effect heeft op het IQ van jonge kinderen - het toxicologisch effect doet zich juist tijdens de ontwikkelingsfase (0 – 6 jaar) voor - is een juiste beoordeling van de risico's van lood belangrijk.

Voor de risicobeoordeling en voor de afleiding van normen is de bepaling van de opname van onder meer lood door gewassen van belang. Voor de berekening van de opname wordt een bioconcentratiefactor gebruikt op basis van een dataset met bodem-plantopnamegegevens. Tot nu toe kon slechts deels rekening worden gehouden met het gecombineerde effect van het loodgehalte in de bodem en bodemtype op de opname in gewassen. Voor het onderzoek van dit rapport hebben Alterra en het RIVM een grotere en kwalitatief betere dataset samengesteld, op basis waarvan nieuwe bodem-plantrelaties zijn afgeleid.

De nieuwe gecombineerde Alterra-RIVM-dataset bevat data van 2800 monsters. Per monster bevat de database de naam van het onderzochte gewas, het bodemgehalte, het plantgehalte, pH, lutum en organische stof. De nieuwe dataset bevat 32 verschillende gewassen. De data van 22 gewassen bleek bruikbaar, waarmee een goede dekking is verkregen over de meest geteelde en gegeten gewassen. De range aan loodgehalten in de bodem loopt uiteen van licht tot matig verontreinigde bodems. Uit de dataset blijkt dat lood-plantconcentraties het hoogst zijn in bladgroenten (zoals andijvie, sla en kool) en het laagst in aardappel.

Met de data uit de dataset zijn verschillende bodem-plantopnamemodellen beoordeeld. Voor de beoordeling van het meest geschikte bodem-plantopnamemodel is een redeneerlijn gevolgd. Deze redeneerlijn beschrijft de criteria waarmee wordt bepaald welke data worden meegenomen en of een bodem-plantopnamerelatie kan worden gebruikt voor de inschatting van plantloodgehalten. Deze bodem-plantopnamerelaties zijn, voor elk gewas of gewasgroep afzonderlijk, afgeleid middels lineaire regressie.

Voor veertien gewassen zijn bodem-plantrelaties afgeleid en beoordeeld. Het bodem-plantopnamemodel dat het best voldeed, is het volgende model:

$$^{10}\log [\text{BCF}] = \text{constante} + a * ^{10}\log [\text{lood-bodem}]$$

Met dit model is de opname van lood (uitgedrukt als BCF) alleen afhankelijk van het gehalte aan lood in de bodem. Het effect van bodemtype (pH, organische stof en kleigehalte) bleek niet significant en leidde in de overige gevallen tot een inconsistent beeld.

Voor de risicobeoordeling zijn de opnamemodellen van de individuele gewassen gecombineerd tot een consumptiegewogen gemiddelde waarde voor groenten. Dit is gedaan door rekening te houden met het gemiddelde consumptiepatroon.

In afhankelijkheid van het bodemloodgehalte varieert de BCF voor aardappel tussen 0,0015 (bij 85 mg Pb/kg) tot 0,0007 (bij 500 mg Pb/kg) en voor groenten tussen 0,0064 (bij 85 mg Pb/kg) tot 0,0043 (bij 500 mg Pb/kg).

Het bodem-plantopnamemodel is getoetst aan de praktijkgegevens van twee onderzoeken naar de gezondheidsrisico's van gewasconsumptie uit moestuinen. Uit de toetsing blijkt dat toepassing van het bodem-plantopnamemodel goed werkt en leidt tot een duidelijk verbeterde schatting van de werkelijke opname van lood voor een aantal belangrijke gewassen die veel geteeld worden in moestuinen.

Toepassing van het verbeterde bodem-plantmodel werkt ook door in de berekening van de risicogrenzen voor de mens. Het effect is het grootste voor de beoordeling van gezondheidsrisico's bij het gebruik van moestuinen. De opname van lood door moestuingewassen blijkt minder groot, waardoor de risico's door consumptie van de gewassen ook minder groot zijn.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en probleemstelling

In en rond het stedelijk gebied, maar ook in het landelijk gebied (veenweidegebied, uiterwaarden) worden regelmatig loodgehalten in de bodem aangetroffen die de interventiewaarde van 530 mg kg⁻¹ overschrijden. Deze verontreinigingen zijn veroorzaakt door bodemverontreinigende (industriële) activiteiten van soms eeuwen geleden en deze verontreinigingen beslaan veelal grote gebieden. Het bodemgebruik in deze diffuus verontreinigde gebieden varieert van 'moestuin' en 'wonen met tuin' tot 'industrie'. Voor een goed beheer van de bodemkwaliteit is het, in deze gebieden, wenselijk gebiedsspecifiek beleid voor beheer en sanering te formuleren. Dit gebiedsspecifieke beleid zal zich onder meer richten op het uitsluiten van onaanvaardbare gezondheidsrisico's.

De gezondheidsrisico's door lood in de bodem ontstaan vooral door blootstelling via de ingestie van gronddeeltjes, huisstof en de consumptie van aardappelen en groenten die geteeld worden op met lood verontreinigde grond. De blootstelling via de consumptiegewassen uit eigen tuin is (volgens het huidige instrumentarium) voor 'wonen met tuin' 26% en voor wonen met moestuin 80% van de totale blootstelling. De blootstelling wordt bepaald volgens het CSOIL-model. Dit model berekent de opname van lood door aardappelen en groenten op basis van een bioconcentratiefactor (BCF). Deze BCF is afgeleid op basis van een dataset bodem-plantopnamegegevens.

1.2 Doel en opzet RIVM-project

Voor de afleiding van interventiewaarden en maximale waarden is een BCF afgeleid op basis van een dataset met bodem-plantopnamegegevens. Voor de geselecteerde BCF-waarden voor groenten en aardappelen is indertijd deels rekening gehouden met het gecombineerde effect van loodgehalte in de bodem, pH, organisch stof en klei (zie Otte et al., 2001).

In het algemeen bleek de onzekerheid van afgeleide bodem-plantopnamerelaties groot. Conform de geldende risicobenadering leidt dit tot een BCF op basis van geometrisch gemiddelde waarden per gewas uit de literatuur.

In 2009 hebben Alterra en het RIVM de beschikbare bodem-plantdata voor lood gecombineerd en beoordeeld. Hiermee is een grotere en kwalitatief betere dataset verkregen. Doel van dit rapport is om:

- nieuwe bodem-plantrelaties en BCF-waarden af te leiden. Bij de interpretatie van de data worden de aanbevelingen van Swartjes (2007) voor het onderzoek naar de opname van cadmium door moestuingewassen gevolgd;
- aan te geven wat de consequenties van een herziene BCF zijn voor de huidige risicogrenzen voor lood en voor de bepaling of een geval van ernstige bodemverontreiniging al dan niet met spoed dient te worden gesaneerd.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op de huidige onderbouwing van de bioconcentratiefactoren (BCF) voor lood, zoals gebruikt voor de afleiding van de interventiewaarden en voor de beoordeling van 'spoed' met Sanscrit. Daarbij komen de verschillende factoren die de opname van lood in voedingsgewassen kunnen bepalen aan de orde.

Hoofdstuk 3 beschrijft de nieuwe dataset van bodem-plantopnamegegevens inclusief een bespreking van de verschillende bodem-plantopnamemodellen. In hoofdstuk 4 passen we de mogelijke BCF-modellen toe op de nieuwe dataset. Hoofdstuk 5 gaat in op de keuzemogelijkheden met betrekking tot de meest geschikte BCF-modellen en de doorwerking en toepassing voor de risicobeoordeling en voor de normstelling. In dit hoofdstuk worden de resultaten ook getoetst aan praktijkgegevens. Het rapport wordt afgesloten met een aantal conclusies en de betekening van de resultaten voor de risicobeoordeling en normstelling (hoofdstuk 6).

In dit rapport zijn de resultaten van een intern Alterra-rapport verwerkt (Römkens en Rietra, 2010).

2 Achtergronden risicobenadering lood

Om de risico's te kunnen bepalen van het consumeren van groenten gekweekt op verontreinigde bodems wordt een stapsgewijze procedure geadviseerd (Swartjes et al., 2007). Deze procedure begint met een eenvoudige en conservatieve benadering waarna (indien onacceptabele risico's niet kunnen worden uitgesloten) in elke verdere stap een meer locatiespecifieke en derhalve complexere benadering kan volgen.

De procedure start met een eenvoudige kwalitatieve evaluatie van de mogelijkheid of er groenten en aardappelen kunnen worden geteeld en of consumptie van deze groenten tot mogelijk onacceptabele gezondheidsrisico's kan leiden.

In een eerste stap (stap 1) kunnen de gemeten totale gehalten in de bodem (gemiddelden of relatief hoge waarden) worden vergeleken met zogenoemde veilige gehalten. Hiertoe zijn in 2007 maximale waarden voor verschillende bodemfuncties afgeleid (Dirven et al., 2007 en VROM 2007). Tabel 2.1 geeft een aantal risicogrenswaarden lood voor verschillend bodemgebruik.

Stap 2 biedt de mogelijkheid voor een bepaling van het locatiespecifieke risico op basis van berekening met behulp van een plantopnamemodel. Voor metalen zijn hiertoe bodem-plantrelaties (afhankelijk van het totaalgehalte en de belangrijkste bodemeigenschappen) en bioconcentratiefactoren (zo mogelijk gecorrigeerd voor organisch stof- en kleigehalte) van verschillende gewassen gecombineerd om tot een inschatting te komen van het metaalgehalte in de plant, waarbij rekening wordt gehouden met de gemiddelde consumptie. Deze berekening is onderdeel van het beslissingsondersteunende systeem Sanscrit (www.sanscrit.nl) en de Risicotoolbox Bodem (www.risicotoolboxbodem.nl) en is ook toegepast voor de afleiding van interventiewaarden bodem en maximale waarden (VROM, 2007).

Ten slotte, in stap 3 kunnen volgens een meetprotocol op de locatie metingen in gewassen worden uitgevoerd. Volgens dit protocol kan in het veld een significant aantal representatieve groenten worden bemonsterd, waarvan de eetbare gedeelten worden gewassen (schoongespoeld) in het laboratorium conform de gangbare keukenpraktijk. De gemeten concentratie in groenten kan vervolgens worden ingevoerd in een blootstellingsberekening en worden getoetst aan het humane Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR-humaan) of indien van toepassing aan toelaatbare gehalten in groenten.

In de praktijk blijken de berekeningen van de metaalgehalten in de plant (stap 2) voor veel situaties vaak hoog uit te pakken, waardoor er aanvullend onderzoek nodig is (stap 3).

Op basis van zijn onderzoek bevelen Swartjes et al. (2007) aan dat de gebruikte bodem-plantdataset voor metalen verder wordt uitgebreid en geëvalueerd, waarna nieuwe BCF-waarden kunnen worden afgeleid.

2.1 Huidige benadering voor de normering lood

Om de opname van metalen in aardappelen en groenten te kunnen schatten, is sinds begin jaren negentig uitgegaan van een bioconcentratiefactor (BCF) gebaseerd op gemeten gehalten in grond en gewas (Bockting en Van den Berg, 1992). In 2001 zijn, onder meer voor lood, plantopnamerelaties afgeleid waarbij

ook de afhankelijkheid van bodemtype (pH, organische stof en klei) en het verontreinigingsniveau is onderzocht (Versluijs en Otte, 2001).

Bij de evaluatie interventiewaarden is het generieke consumptiegemiddelde BCF voor lood op basis van de dataset van Versluijs en Otte (2001) vastgesteld op 0,017 op basis van drooggewicht (zie Otte et al., 2001). Deze BCF-waarde (zie 2.2) werd (op basis van de toen beschikbare dataset) representatief geacht voor de opname van lood door meerdere gewassen en is daarom van toepassing voor de berekening van de inname van lood bij een gemiddeld consumptiepakket. Voor de bepaling van spoed en voor de afleiding van maximale waarden zijn later aparte BCF-waarden voor aardappelen (0,0017) en groenten (0,044) vastgesteld volgens dezelfde methodiek.

Tabel 2.1 geeft de resulterende risicogrenswaarden en het percentage van de blootstelling dat via de consumptie uit de moestuin bijdraagt aan de totale blootstelling.

Tabel 2.1 Risicogrenswaarde bodem en de procentuele bijdrage van de consumptie van moestuingewassen aan de totale blootstelling.

Risicogrenswaarde	% blootstelling via consumptie van moestuingewassen	Risicogrenswaarde bodem [in mg kg ⁻¹]	Gebruikte BCF-waarden, consumptie gewogen gemiddelde [-]
Interventiewaarde	27%	530	0,017 totale consumptiepakket
Moestuin (spoed)	81%	140 (H)	0,0017 (aardappel) 0,044 (groenten)
Maximale waarde moestuin *)	81%	70 (H)	0,0017 (aardappel) 0,044 (groenten)
Maximale waarde wonen	27%	210 (E) 270 (H)	0,0017 (aardappel) 0,044 (groenten)
Maximale waarde industrie	n.v.t.	530	n.v.t.
Achtergrondconcentratie bodem	n.v.t.	50	n.v.t.

(H): risicogrenswaarde wordt bepaald door humane risico's

(E): risicogrenswaarde wordt bepaald door generieke ecologische risico's

*): Veel gewasconsumptie vanuit de moestuin: 100% groenten en 50% aardappelen

2.2 Factoren die de opname van lood kunnen bepalen

Er zijn vele factoren die van invloed zijn op de opname van lood door gewassen. Versluijs en Otte (2001) concludeerden dat deze factoren tezamen de afleiding van bodem-plantrelaties compliceren. Bij de analyse van de velddata en de samenstelling van de dataset wordt aangegeven hoe met deze factoren rekening is gehouden (hoofdstuk 3).

Deze factoren zijn er ook de oorzaak van dat veldmetingen in meer of mindere mate kunnen verschillen van berekende loodgehalten van planten. Deze factoren zijn onder andere:

- type gewas;
- de specifieke matrix waarin het lood aanwezig is in de bodem (bijvoorbeeld lood in toemaakdekken);
- concentratieniveau van lood in de bodem;
- bodemtype uitgedrukt in pH, organisch stof en klei en de invloed daarvan op de biobeschikbaarheid;

- milieumstandigheden (klimaat, neerslag, bemesting, moestuin of productieveld et cetera);
- achtergronden van de data, bijvoorbeeld veld- of potproef en jaar van bemonstering.

Gemaakte keuzen in het rapport

- De opname van lood door verschillende gewassen vertoont grote verschillen (Versluijs en Otte, 2001). Dit maakt dat in eerste instantie de relaties per gewas worden afgeleid. Het is echter ook mogelijk de gewasopnamedata te clusteren in gewasgroepen waarna plantopnamerelaties per gewasgroep kunnen worden afgeleid. Ter vergelijking is dit ook gedaan.
- In dit rapport is ervoor gekozen om geen onderscheid te maken naar de (chemische) vormen van lood in de bodem. De reden is dat deze gegevens niet beschikbaar zijn en de methoden om dit te bepalen niet voorhanden zijn. Daarbij moeten de resultaten landelijk kunnen worden toegepast, ongeacht de bron van de verontreiniging. De analyses in dit rapport zijn daarom uitsluitend gebaseerd op (pseudo)totaalgehalten van loodanalyses in de bodem met koningswater (Aqua Regia).
- Verschillen in bodemtype zoals uitgedrukt in verschillen in pH, organische stof en klei zijn meegenomen in de analyse.
- De invloed van milieumstandigheden, zoals verschillen in weer of bemesting, zijn niet meegenomen. De voorhanden zijnde velddata zijn gebruikt, ongeacht de locatie en daarbij behorende verschillen in bemesting, weer et cetera.
- In dit rapport zijn uitsluitend gegevens van veldproeven meegenomen. Data van potproeven kunnen dermate afwijken wat betreft de speciatie van het lood en de groeiomstandigheden dat deze niet in de database zijn opgenomen. Veldproeven omvatten zowel gegevens van reguliere landbouwpercelen als ook proeven op specifieke (vaak kleinere) plots. De voorwaarde is dat er geen lood aan de bodem is toegevoegd. Met andere woorden, de gewassen zijn geteeld op niet kunstmatig verrijkte bodems (voor lood noch enig ander metaal). Zo zijn een deel van de IB-data afkomstig van zogenoemde vakkenproeven waarin grond uit heel Nederland in vakken van 1 m² in Haren (Groningen) jarenlang in gebruik zijn geweest om de invloed van bodemsamenstelling op onder meer opname van metalen te bestuderen.
- De looddepositie uit de atmosfeer is afgenomen. Sinds het begin van de negentiger jaren voor lood met 85%, van 54 ng m⁻² tot 7,6 ng m⁻² in 2009 (CBS, PBL, Wageningen UR, 2010). Depositie van lood kan een invloed hebben op de relatie tussen lood in de bodem en die in het gewas. In hoofdstuk 3 is een analyse gemaakt van het effect van de ouderdom van de verschillende data op de relatie tussen bodem en gewas. Dit doen we door de relatie tussen bodem en gewas (per gewas) uit verschillende perioden met elkaar te vergelijken. Indien blijkt dat er een effect is van de ouderdom van de data op de relatie dan verdient het de voorkeur om recente data te gebruiken.

In hoofdstuk 3 staat een nadere toelichting op de aard en herkomst van de data die in dit rapport zijn gebruikt, evenals een toelichting op de effecten van de leeftijd van de data op de relatie tussen bodem en gewasgehalten van lood.

3 Analyse data bodem-plantgegevens lood

In dit hoofdstuk worden de gebruikte databestanden beschreven en geanalyseerd.

3.1 Dataset

3.1.1 Gebruikte databestanden

- De huidige BCF voor lood is gebaseerd op de dataset van Versluijs en Otte (2001). Deze dataset bevat de data van 832 monsters en 13 verschillende gewassen. Ofschoon in deze dataset dus voor veel gewassen gegevens zijn opgenomen, blijkt een deel van de data niet representatief voor de Nederlandse situatie. Mede daarom zijn aanvullende data gezocht om zowel de bandbreedte van de gehalten in de bodem als die in het gewas te vergroten.
- Een van de eisen die aan de data gesteld is voor opname in de nieuwe database is: alleen data van veldstudies (geen potproeven).
- Er is alleen data gebruikt waarbij de gronden als zodanig zijn gebruikt; dat wil zeggen: er is geen lood aan de bodem toegevoegd (geen spiking).
- De gronden waren ten tijde van de bemonstering in gebruik als reguliere landbouw- of moestuingrond.
- Voor elk monster zijn zowel bodem- als gewasgegevens bekend, en deze zijn ook op dezelfde plek genomen.

In totaal omvat de database bijna 2800 bodem-gewascombinaties. Dit betekent een aanzienlijke uitbreiding van de dataset van Versluijs en Otte (2001). Er zijn zeven bronnen voor de data:

1. IB-veld. Het landelijk IB bestand, veldonderzoek op landelijke schaal in niet tot licht verontreinigde landbouwbodem (Wiersma et al., 1985);
2. Maas. Het Maasoeverbestand, regionaal veldonderzoek in licht tot matig verontreinigde rivieruiterwaarden (Maas, Roer, Geul; Van Driel et al., 1987a, 1987b, 1988);
3. IB-6302, IB-6306, IB-6342. Bestanden van proeven uitgevoerd door het IB in Haren. Dit zijn vakkenproeven (onder normale (buiten)omstandigheden uitgevoerd) waarbij grond uit Nederland in Haren op het terrein van het voormalig Instituut voor Bodemvruchtbaarheid in vakken van 1 x 1 m (1 meter diep) is aangebracht. Deze gronden zijn meermaals (in de loop der jaren) gebruikt om verschillende gewassen te telen. Deze data zijn niet allemaal gepubliceerd. Deels is de informatie gepubliceerd in interne IB-rapporten en deels is deze beschikbaar via gedigitaliseerde databestanden (W. Schuurmans, persoonlijke mededeling). In elk geval is van al deze gegevens goed gedocumenteerd wat de proefopzet is geweest, welke gronden, gewassen en analysemethoden gebruikt zijn en wanneer de proeven zijn uitgevoerd;
4. RIVM-bestand. Dit bestand omvat zowel resultaten van moestuinonderzoeken als onderzoek in landbouwgebieden. Dit bestand is in 2001 gebruikt door Versluijs en Otte (2001) bij het afleiden van

BCF-waarden voor lood. Het bestand bevat ook IB-data (bestand 1 in dit overzicht). Alle data die overlap vertonen met database 1 en 2 zijn verwijderd. Het RIVM-bestand bevat onder andere data uit moestuinonderzoek in stedelijk gebied en data uit de internationale literatuur (F. Swartjes, persoonlijke mededeling);

5. Kempen-landbouw. Bodem-gewascombinaties uit de moestuinen in Kempen (Römkens et al., 2005);
6. Kempen-moestuin. Bodem-gewascombinaties uit reguliere landbouwgrond (Rietra et al., 2006, Rietra en Römkens, 2007);
7. Eijsden. Bodem-gewascombinaties uit een moestuinonderzoek in de buurt van Eijsden (GGD Zuid-Limburg, 2008).

Uiteindelijk bevat het bestand daarmee uitsluitend data uit Nederland, aangevuld met enkele data uit internationale literatuur. Ook voor deze laatste geldt dat het velddata zijn.

Noot: in deze dataset zijn tevens data opgenomen van granen en veevoer. Deze gewasgroepen maken geen deel uit van de risicobeoordeling in CSOIL, maar zijn wel van belang voor het berekenen van risicogrenswaarden voor de landbouw (LAC-waarden). Dit aspect komt in dit rapport verder niet aan de orde.

3.1.2 Loodgehalten in de bodem

In tabel 3.1 staat een overzicht van bodemeigenschappen en loodgehalten in de bodem van de data in de database. Uit deze tabel blijkt dat het bereik aan bodemeigenschappen in de database vergelijkbaar is met de kenmerken van bodems zoals die voorkomen in Nederland. Wanneer de opname van lood door planten moet worden beoordeeld voor een bodemtype dat afwijkt van de bodemtypen in de dataset, wordt geadviseerd aanvullende metingen te verrichten.

Tabel 3.1 Overzicht van bodemeigenschappen en loodgehalten in de bodem in alle data.*

	N	min.	P5	P50	gemiddelde	P95	max
Pb bodem [mg kg^{-1}]	2779	1,8	12	48	81	265	680
pH _{KCl}	2353	3,8	4,8	7,0	6,7	7,6	7,7
pH _{CaCl2}	424	2,8	4,6	6,1	5,9	7,0	7,6
Klei [%]	2779	1	1	15	14	31	41
Organische stof [%]	2689	0,4	1,7	4,1	5,9	15	69

*N staat voor het aantal monsters; P5, P50 en P95 staan respectievelijk voor 5, 50 en 95 percentielwaarde; min en max staan voor het minimum- en het maximumgehalte.

Zowel zand-, klei- als veengronden zijn in de database aanwezig (hoewel niet voor elk gewas). Het loodgehalte in de bodem varieert van minder dan 2 mg kg^{-1} tot 680 mg kg^{-1} , hoewel de meerderheid van de monsters (95%) minder dan 265 mg kg^{-1} bevat.

We concluderen dat het toepassingsgebied van afgeleide bodem-plantrelaties alle Nederlandse bodemtypen omvat. De bodemtypen, op basis van pH, klei en organische stof, komen overeen met de bodemtypen zoals die in Nederland voorkomen. Zand-, klei- en veenbodems zijn in de database aanwezig.

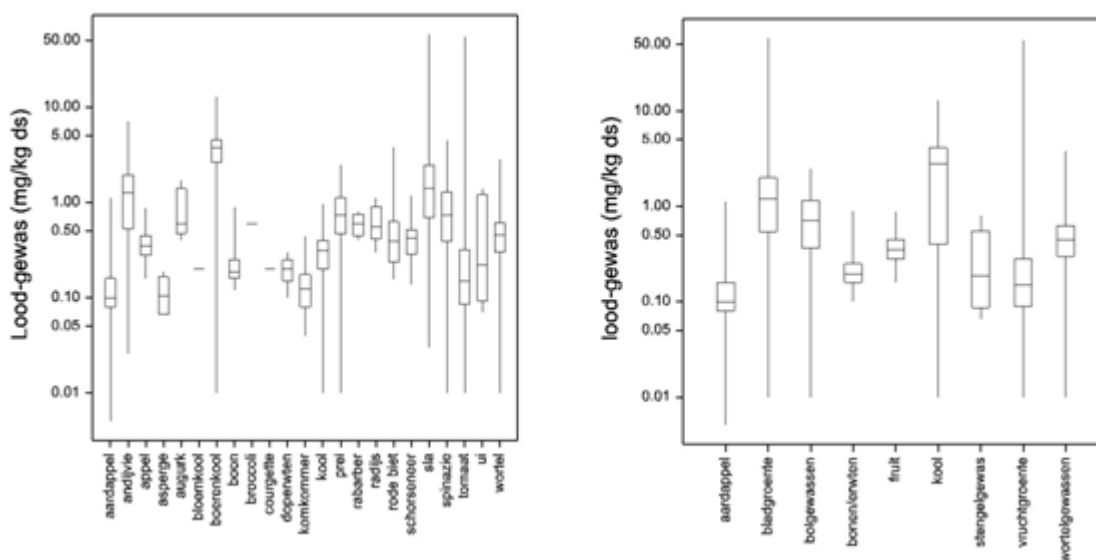
Zeer sterk verontreinigde bodems (loodgehalte > 500 mg kg⁻¹) ontbreken nagenoeg in de dataset. Voor de toepassing van de afgeleide bodem-plantopnamerelaties op bodem met loodgehalten van meer dan 500 tot 600 mg kg⁻¹ moet dan worden geëxtrapoleerd. Dit kan leiden tot een grotere onzekerheid van berekende plantgehalten. In paragraaf 5.3 wordt aangegeven hoe hiermee wordt omgegaan.

In Bijlage 1 staat een overzicht van het loodgehalte in de bodem per gewas. Uit dit overzicht blijkt dat niet voor alle gewassen voldoende metingen aanwezig zijn in bodems met verhoogde loodgehalten (> 100 mg kg⁻¹). In paragraaf 5.3.1 wordt aangegeven dat de data van deze gewassen dan niet worden gebruikt voor de afleiding van bodem-plantopnamerelaties.

3.1.3 Gehalte aan lood in gewassen

In Bijlage 2 staat een overzicht van de gehalten aan lood in de individuele gewassen. De in de database aanwezige gewassen dekken de belangrijkste gewasgroepen die deel uitmaken van het consumptiepakket. Van de belangrijkste gewasgroepen (aardappel, bladgroente en wortel en knolgewassen) zijn voldoende gegevens (zie Tabel 3.2) beschikbaar.

Uit Figuur 3.1 blijkt onder meer dat voor de gewasgroep bladgroenten (bijvoorbeeld andijvie, boerenkool en sla) en vruchtgewassen (tomaat) de spreiding van de gemeten gehalten het grootst is. Dit komt mede omdat de spreiding in de gehalten aan lood per gewas (of gewasgroep) gerelateerd is aan het aantal waarnemingen per gewas of gewasgroep.



Figuur 3.1 Overzicht van de loodgehalten in individuele gewassen (links), geclusterd op gewasgroep. In de figuur zijn gegeven de minimum- en maximumwaarde en de P10-, P50- en P90-percentielwaarde. De loodgehalten zijn weergegeven op een logaritmische schaal.

Tabel 3.2 Overzicht van aantallen monsters per gewasgroep en de variatie in de loodgehalten (in mg kg⁻¹ droge stof).*

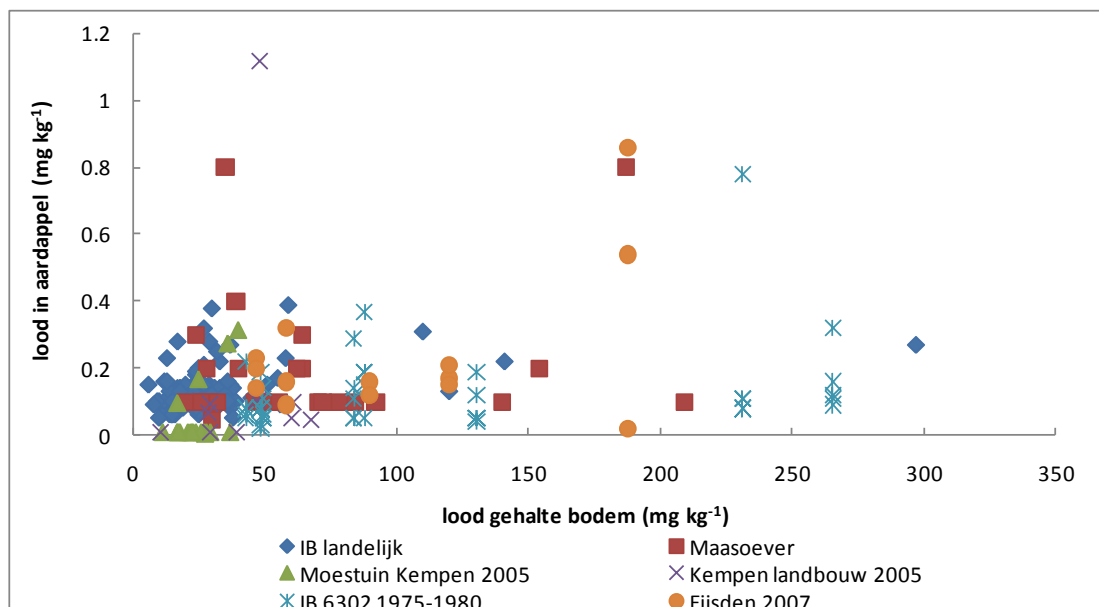
	N	Kentallen van de gehalten aan lood in gewassen (op gewasgroep)					
		min	P5	P50	gemiddeld	P95	max
Aardappel	204	0,01	0,01	0,10	0,10	0,33	1,12
Wortel en knolgewassen	257	0,01	0,16	0,45	0,44	1,24	3,79
Bolgewassen	153	0,01	0,07	0,71	0,52	1,76	2,50
Vruchtgewas	221	0,01	0,04	0,28	0,23	0,85	54,64
Kool	88	0,01	0,08	2,80	1,43	7,78	12,87
Bladgroenten	1076	0,01	0,17	1,19	1,05	4,84	57,88
Bonen/erwten	14	0,10	0,10	0,19	0,20	0,72	0,90
Stengel-groenten	7	0,07	0,07	0,19	0,22	0,84	0,80

*N staat voor het aantal monsters; P5, P50 en P95 staan respectievelijk voor 5, 50 en 95 percentielwaarde; min en max staan voor het minimum- en het maximumgehalte.

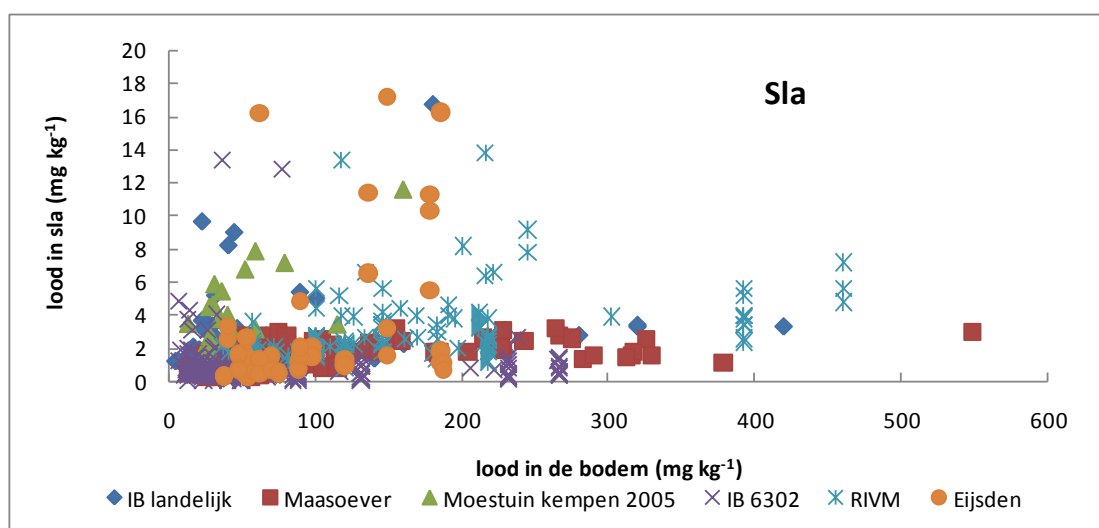
3.1.4 Invloed van herkomst van data

Er is onderzocht of de data van de verschillende bronnen die zijn gebruikt, samengevoegd mogen worden. Dit kan alleen indien de verschillen tussen de gemeten gehalten in planten niet deels het gevolg zijn van de verschillen tussen de bronnen (in andere woorden 'gebiased' zijn). In Figuur 3.2 zijn de gemeten loodgehalten in aardappel weergegeven van alle bronnen (subsets) waaruit de database is opgebouwd. Uit Figuur 3.2 blijkt dat de spreiding die er binnen de subsets aanwezig is, niet significant anders is voor de oude datasets (IB, Maas) of de datasets van recentere datum (Kempen, Eijsden). De hoogste loodgehalten in aardappel stammen uit de nieuwere datasets.

In Figuur 3.3 staan de data voor sla. Sla is een van de gewassen waarvoor geldt dat de variatie in de gehalten in de plant wellicht ook door atmosferische depositie wordt bepaald. De depositie van lood is sinds de jaren negentig sterk gedaald. Uit de vergelijking van de verschillende datasets blijkt niet dat er systematisch lagere loodgehalten in de gewasgegevens van na 1995 voorkomen. Wij zien dan ook geen effect van mogelijke bijdrage van atmosferische depositie in data van voor 1995. Dat betekent dat gegevens uit de verschillende datasets kunnen worden samengevoegd.



Figuur 3.2 Variatie in de loodgehalten in aardappel in de verschillende datasets.



Figuur 3.3 Variatie in de loodgehalten in sla in de verschillende datasets.

Het beeld dat in Figuur 3.2 en Figuur 3.3 geschetst wordt, geldt voor vrijwel alle gewassen. Uiteraard kan dit alleen bevestigd worden voor die gewassen waarvoor ongeveer evenveel data uit verschillende bronnen aanwezig zijn.

3.2

Conclusies analyse database

De analyse van de dataset leidt tot de volgende conclusies:

- De in de database opgenomen bodemtypen, op basis van pH, klei en organische stof, komen globaal overeen met de bodemtypen zoals die in Nederland voorkomen. Zand-, klei- en venige bodems zijn in de database aanwezig. In Versluijs en Otte (2001, pagina 67) wordt een range van Nederlandse bodemtypen gegeven op basis waarvan wij

concluderen dat het toepassingsgebied van afgeleide bodem-plantrelaties de Nederlandse bodemtypen omvat.

- Sterk verontreinigde bodems (loodgehalte $> 500 \text{ mg kg}^{-1}$) ontbreken nagenoeg in de dataset. Dit kan leiden tot een grotere onzekerheid van berekende plantgehalten. In paragraaf 5.3 wordt aangegeven hoe hiermee wordt omgegaan.
- De in de dataset opgenomen gewassen omvatten de belangrijkste moestuingewassen. Dit betekent dat er een goede dekking is van het gemiddelde consumptiepakket.
- Er zijn geen aanwijzingen gevonden die er op duiden dat de verschillende datasets zijn 'gebiased'. Alle data kunnen dus worden opgenomen in de database.

4 Analyse bodem-plantopnamemodellen

In dit hoofdstuk worden de mogelijke bodem-plantopnamemodellen besproken en toegepast op de nieuwe dataset voor de berekening van bioconcentratiefactoren.

4.1 Bodem-plantmodellen

4.1.1 *Constante BCF*

Een veel toegepast model voor de berekening van metaalgehalten in de plant is het 'constante BCF'-model. Hierbij wordt de bioconcentratiefactor beschreven als de ratio tussen de concentratie in het eetbare gedeelte van de plant en die in de bodem.

$$\text{BCF Pb [gewas]} = \text{Pb-gehalte [gewas]} / \text{Pb-gehalte [bodem]}$$

Waarin

BCF Pb [gewas]: BCF-waarde van specifiek gewas [-]
Pb-gehalte: mg kg⁻¹ droge stof

Het 'constante BCF'-model past men in de risicobeoordeling vaak toe om twee redenen:

- men heeft weinig meetdata nodig voor de berekening van een BCF en;
- de invloed van het bodemgehalte en het bodemtype op de gehalten in de plant is klein of (vanwege het gebrek aan gegevens) niet in te schatten.

Voor dit model (constante BCF) is de geometrisch gemiddelde BCF-waarde berekend van een velddataset. Aan een geometrisch gemiddelde waarde wordt de voorkeur gegeven, omdat de data voor de meeste gewassen veelal niet normaal verdeeld zijn. De geometrisch gemiddelde BCF is vergelijkbaar met de 50 percentielwaarde en dat betekent dat de kans dat de werkelijke BCF hoger of lager is dan het geometrisch gemiddelde, even groot (50%) is.

Bij een keuze voor een 90 of 95 percentielwaarde van de BCF leidt dit tot een (in risicoterminen) hoger beschermingsniveau. In geval van de BCF95 (95 percentielwaarde van de BCF) zal slechts in een op de twintig gevallen de werkelijke BCF-waarde van lood boven de gekozen BCF95 liggen.

Vaak blijkt echter (zie ook paragraaf 4.2 en 4.3) dat de BCF niet constant is en zelfs afneemt met een toenemend loodgehalte in de bodem. Bij hoge loodgehalten leidt het gebruik van een constante BCF dientengevolge automatisch tot een overschatting van de opname van lood door planten en daarmee een worst-case-inschatting van het risico.

4.1.2 *BCF gebaseerd op een log-lineaire bodem-plantopnamerelatie*

Voor veel metalen geldt dat de gehalten in de bodem en het bodemtype van invloed zijn op de opname van metalen door het gewas. Voor onder meer cadmium en zink zijn goede bodem-plantrelaties afgeleid die aan de hand van het metaalgehalte in de bodem en bodemeigenschappen (onder meer pH, organische stof en klei) de gehalten in de plant voorspellen (Römkens et al., 2008).

De bioconcentratiefactor kan in dat geval worden beschreven als een log-lineaire bodem-plantopnamerelatie (Versluijs en Otte, 2001; Swartjes et al., 2007;

Römkens et al., 2008) waarbij de BCF geen constante is, maar varieert met loodgehalten in de bodem en bodemeigenschappen (zie hiervoor paragraaf 4.3). Uit de beschikbare data (Römkens et al., 2008) blijkt echter dat de directe bodem-plantrelaties voor lood beduidend zwakker zijn dan voor metalen als Cd, Zn en Cu.

4.1.3 *Gebruik van een vast gehalte in de plant bij risicobeoordeling*

Een alternatief voor het gebruik van een BCF-model is het gebruik van een constante waarde voor het gehalte aan lood in het gewas. Deze constante waarde dient vervolgens als schatter voor de blootstelling aan lood door de consumptie van groenten en aardappelen. Deze benadering is van toepassing als er voor bepaalde gewassen geen significante relatie bestaat tussen lood in de bodem en lood in het gewas. Volgens deze benadering wordt de blootstelling daarmee onafhankelijk van het gehalte in de bodem.

Voor lood wordt deze benadering niet geadviseerd, onder meer omdat verontreinigingsniveaus van lood (en de daarmee samenhangende risico's) zeer sterk kunnen verschillen. In Bijlage 2 worden gemiddelde, mediane en P95-loodgehalten in de verschillende gewassen gegeven.

4.2 **Analyse 'constante BCF'-model**

In Bijlage 3 staan de berekende BCF-waarden per gewas (minimum en maximum BCF-waarden, het P5, P50 en P95 en het geometrisch gemiddelde) Tabel 4.1 geeft de BCF-waarden per gewasgroep. Voor de opgenomen gewasgroepen ligt de P95-waarde van de BCF ongeveer een factor 3 tot 4 hoger dan de P50.

Bij de evaluatie van de interventiewaarden (Lijzen et al., 2001) werd voor de meeste metalen uitgegaan van een geometrisch gemiddelde BCF. Voor lood is de consumptiegemiddelde BCF deels vastgesteld op basis van de geometrisch gemiddelde BCF-waarden en deels op basis van afgeleide bodem-plantopnamerelaties (Versluijs en Otte, 2001 en Otte et al., 2001).

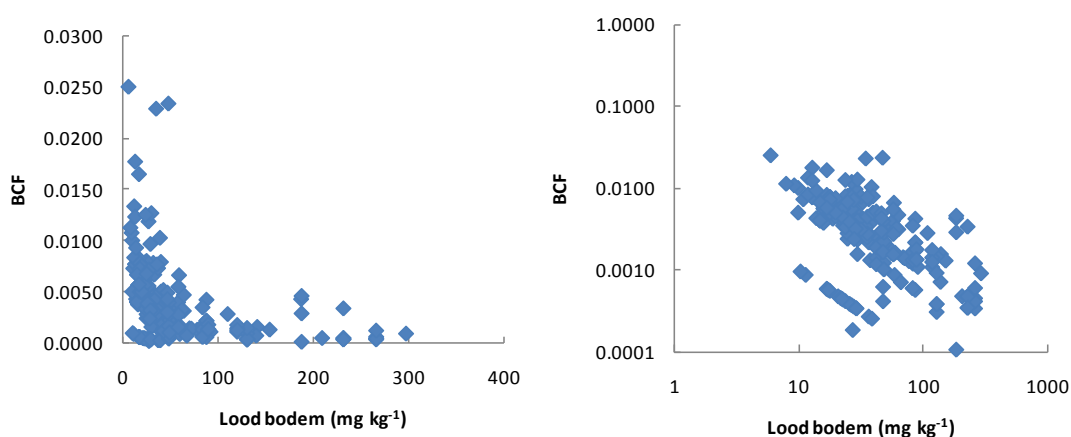
Tabel 4.1 Overzicht van de berekende BCF-waarden per gewasgroep.*

Gewasgroep	N	Bioconcentratiefactor					
		min	P5	P50	mid	P95	max
Aardappel	204	0,0001	0,0004	0,0031	0,0025	0,0114	0,0250
Wortelgewassen	257	0,0003	0,0017	0,0123	0,0112	0,0685	0,1850
Bolgewassen	153	0,0002	0,0007	0,0064	0,0069	0,0661	0,1250
Vruchtgroente	221	0,0002	0,0005	0,0075	0,0060	0,0287	1,4608
Kool	88	0,0003	0,0013	0,0179	0,0138	0,0537	0,0982
Bladgroente	1076	0,0002	0,0018	0,0180	0,0171	0,0973	0,9568
Bonen/erwten	14	0,0007	0,0007	0,0028	0,0025	0,0095	0,0103
Stengelgewas	7	0,0048	0,0047	0,0115	0,0094	0,0159	0,0157

*N staat voor het aantal monsters; P5, P50 en P95 staan respectievelijk voor 5, 50 en 95 percentielwaarde; min en max staan voor het minimum en het maximumgehalte; mid staat voor het geometrisch gemiddelde.

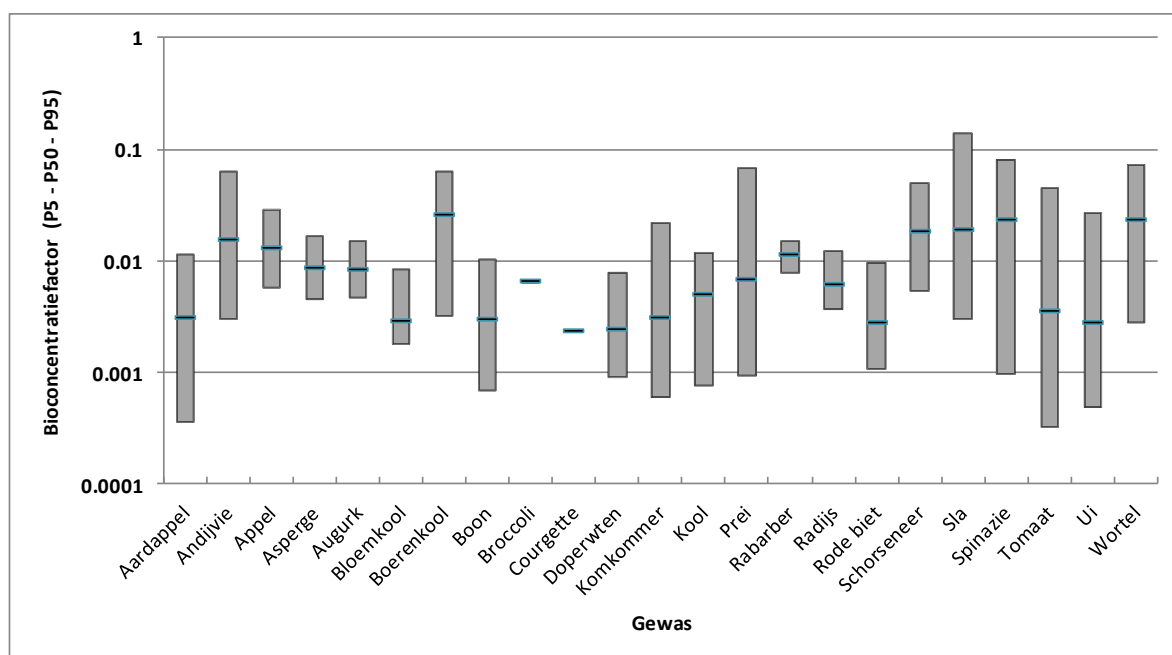
In Figuur 4.1 zijn de berekende BCF-waarden en het bijbehorende loodgehalte in de bodem grafisch weergegeven voor aardappel. Duidelijk is te zien dat de hoge BCF-waarden corresponderen met lage loodgehalten in de bodem. Dit is indirect

het gevolg van het feit dat de variatie in het gehalte in de plant klein is ten opzichte van die in de bodem. Met andere woorden, bij een stijging van het loodgehalte in de bodem neemt het plantgehalte (relatief) veel minder toe dan dat in de bodem. Dat betekent dat de aanname van een constante BCF daarmee niet reëel is, want er is geen enkel gewas (in de database) waarvoor geldt dat de toename van de gewasgehalten in de dezelfde orde van grootte ligt als de toename van het gehalte in de bodem. Verder blijkt, zie de rechterfiguur, dat de relatie tussen de BCF en het loodgehalte in de bodem log-lineair is. Dit onderschrijft de keuze voor een log-lineair model voor de voorspelling van de BCF (zie ook paragraaf 4.3).



Figuur 4.1 Effect van loodgehalten in de bodem op de gemeten BCF van aardappel. Links op lineaire schaal, rechts op ¹⁰logschaal.

In Figuur 4.2 staan de BCF-waarden van de verschillende gewassen. Uit deze figuur (op basis van de data in Bijlage 3) blijkt dat de opname van lood sterk verschilt per gewas of groepen van gewassen (Tabel 4.1). Zo hebben bladgroenten als sla en spinazie (gemiddeld) hogere BCF-waarden dan aardappel, bonen en (bloem)kool, maar is ook de spreiding van de BCF voor veel bladgroenten groter dan die voor aardappel en andere gewassen.



Figuur 4.2 BCF lood (P5-, P50- en P95-waarden) voor verschillende gewassen. De BCF is gegeven op een 10 logschaal.

In Figuur 4.2 zijn de BCF-waarden voor lood voor de verschillende gewassen op de Y-as logaritmisch weergegeven, dit om alle gewassen te kunnen vergelijken. Het symbool is de P50-waarde terwijl de onder- en bovenkant van de box overeenkomen met de P5 en P95 BCF.

4.2.1 Conclusies analyse 'constante BCF'-model

Uit de analyse van de BCF-data blijkt dat:

- de overdracht van lood van bodem naar gewas sterk verschilt per gewas of gewasgroep. Dit betekent dat plant-bodemopnamerelaties per gewas of per gewasgroep moeten worden afgeleid. Dit is consistent met eerdere bevindingen;
- de BCF-waarden binnen gewas of gewasgroep een vrij grote spreiding vertonen (de ratio BCF95/BCF5 is gemiddeld 40). Dit bevestigt dat de BCF niet constant is.
- De hoogste BCF-waarden corresponderen met lage gehalten in de bodem. Ook dit onderschrijft de hypothese dat de BCF afneemt bij hogere gehalten in de bodem. Dit maakt het wenselijk om voor de berekening van de risico's van lood een concept te gebruiken dat rekening houdt met de invloed van het loodgehalte in de bodem op de overdracht van bodem naar gewas (BCF).

4.3 Analyse log-lineaire bodem-plant opname model

Römkens en Rietra (2010) concluderen dat er een positieve relatie bestaat tussen het gehalte aan lood in de bodem en de gehalten aan lood in de plant. Deze relatie is voor veel gewassen, in vergelijking met relaties voor cadmium en zink, zwakker.

Eén van de redenen is eenvoudigweg dat lood minder gemakkelijk wordt opgenomen door planten en daardoor andere factoren het beeld gemakkelijker verstoren. Zo geldt voor cadmium en zink dat de opname aantoonbaar samenhangt met de 'beschikbare' fractie aan metalen in de bodem. Omdat de

beschikbaarheid weer bepaald wordt door bodemeigenschappen als pH en organische stof bestaat er voor cadmium en zink een duidelijk verband tussen bodemeigenschappen en gehalten in de plant. Voor lood is een verband tussen beschikbaarheid en opname nog niet aangetoond en dat maakt dat er geen aantoonbare consistente relatie bestaat tussen bodemeigenschappen en het gehalte aan lood in de bodem. Zeker voor gewassen die op de grond groeien, geldt dat het opspatten van grond een grotere invloed kan hebben op het gehalte aan lood dan de opname via de wortels (Rietra en Römkens, 2009). In paragraaf 4.2.1 is geconcludeerd dat de BCF verschilt per gewas en dat de BCF afneemt bij hogere gehalten in de bodem. Dit maakt het wenselijk om een BCF model af te leiden met een afhankelijkheid van de BCF en bodem loodgehalte en zo mogelijk het bodemtype.

Voor een geschikt model voor de berekening van de BCF gelden de volgende uitgangspunten:

1. de relatie moet statistisch significant zijn, ook al kan de verklaarde variantie laag zijn
2. de bijdrage van de individuele factoren moet significant zijn.

De getoetste modellen (Römkens en Rietra, 2010) verschillen in het al dan niet meenemen van bodemeigenschappen. Voor de afleiding van de modelcoëfficiënten is steeds gewerkt met een log getransformeerd model analoog aan voorgaand onderzoek (Versluijs en Otte 2001, Swartjes et al. 2007 en Römkens et al. 2008).

$$\text{I. } {}^{10}\log [\text{BCF}] = \text{constante} + a * {}^{10}\log [\text{lood-bodem}]$$

$$\text{II. } {}^{10}\log [\text{BCF}] = \text{constante} + b * {}^{10}\log [\text{lood-bodem}] + b * \text{pH}_{\text{KCl}}$$

$$\text{III. } {}^{10}\log [\text{BCF}] = \text{constante} + b * {}^{10}\log [\text{lood-bodem}] + b * \text{pH}_{\text{KCl}} + c * {}^{10}\log [\text{OS}] + d * {}^{10}\log [\text{klei}]$$

In Tabel 4.2 staan de statistische parameters samengevat voor de verschillende modellen (per gewas of gewasgroep). Alle modellen nemen het gehalte aan lood in de bodem als variabele mee. De modellen verschillen onderling in het meenemen van een of meerdere bodemeigenschappen. Dit is in Tabel 4.2 hetzelfde voor alle gewassen.

Tabel 4.2 Samenvatting R^2 en se (Y) voor regressie BCF op gewas en gewasgroepniveau*.

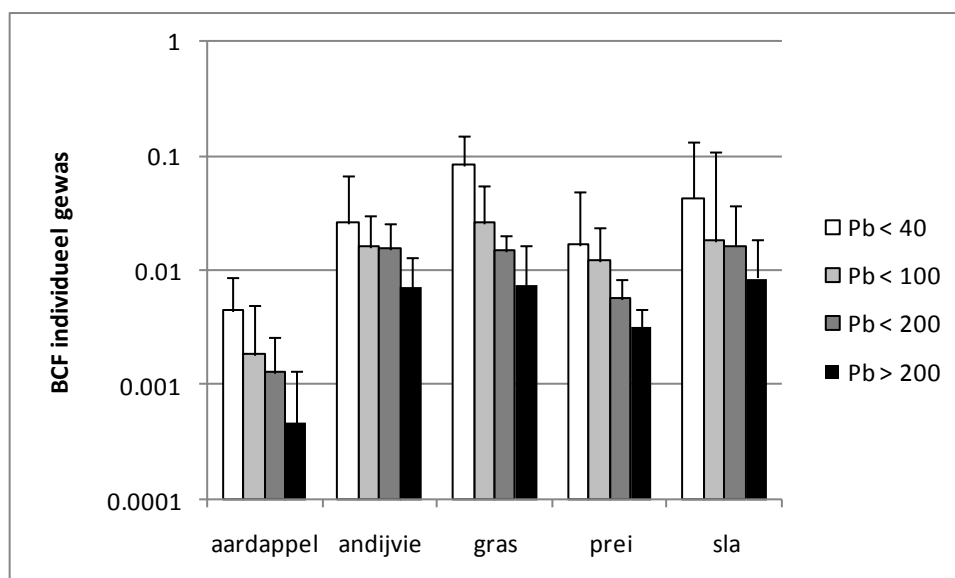
Parameter in regressiemodel	Gewas		Gewasgroep	
	R^2	se	R^2	se
Pb	54,7	0,41	48,3	0,44
Pb+OM	56,1	0,40	50,4	0,43
Pb+klei	58,7	0,39	52,0	0,42
Pb+OM+klei	60,3	0,38	54,2	0,41
Pb+pH	71,7	0,30	65,3	0,34
Pb+pH+OM	73,8	0,29	68,8	0,32
Pb+pH+klei	71,9	0,30	65,9	0,33
Pb+pH+OM+klei	74,1	0,29	69,5	0,32

*OM: gehalte organisch stof bodem.

Uit Tabel 4.2 blijkt dat het bodem-plantopnamemodel met de combinatie van bodemlood en alle bodemeigenschappen (pH, OM en klei) op basis van statistische parameters het beste resultaat oplevert, maar dat het model met de combinatie van bodemlood met pH vrijwel net zo goed is. Dat betekent concreet dat de invloed van de hoeveelheid organische stof en klei in de bodem op de BCF niet groot is.

In Bijlage 5 worden de afgeleide coëfficiënten van de verschillende gewassen per gewas en per gewasgroep gegeven. Kijken we naar de coëfficiënten van organisch stof en klei (en soms ook voor pH) dan zien we dat deze vaak van teken wisselen, afhankelijk van het gewas. Dat betekent dat de gehalten aan lood in gewassen voor het ene gewas toenemen met organische stof en voor het andere afnemen. Dit is niet plausibel en doet vermoeden dat de feitelijke invloed van het bodemtype gering is en wordt overheerst door andere factoren (zie paragraaf 2.2). De coëfficiënt van de pH daarentegen is voor vrijwel alle gewassen negatief, dat wil zeggen dat de opname van lood afneemt met een toename van de pH. Dit laatste is consistent met de verwachting en geldt ook voor cadmium en zink.

Voor de afgeleide modellen is de coëfficiënt van bodemlood zelf voor vrijwel alle gewassen *negatief*. Dat betekent dat de BCF van lood afneemt met een stijging van het loodgehalte in de bodem. Dit blijkt ook duidelijk uit Figuur 4.3 waarin voor een aantal gewassen de gemiddelde BCF is weergegeven als functie van het loodgehalte in de bodem.



Figuur 4.3 Effect van loodgehalte in de bodem op de gemeten BCF voor aardappel, andijvie, gras, prei en sla.

De afgeleide modellen voor individuele gewassen (gewasniveau) hebben een betere statistische kwaliteit (hogere R^2 en lagere standaardfout) dan de modellen op basis van gewasgroepen. Dit is conform de verwachting, omdat de opname van verschillende gewassen meer of minder sterk van elkaar verschilt. Het samenvoegen van data van verschillende gewassen tot een gewasgroep leidt daarom vrijwel altijd tot een relatie van mindere kwaliteit.

4.3.1

Bespreking model analyse

Uit Tabel 4.2 blijkt dat de kwaliteit van de modellen toeneemt wanneer meer bodemvariabelen worden gebruikt. Deze verbetering van de kwaliteit van de voorspelling is echter vrij beperkt. Bovendien blijkt uit de tabellen die de individuele gewassen (of gewasgroepen) beschrijven (Römkens en Rietra, 2010) dat de coëfficiënten van enkele bodemeigenschappen (vooral organische stof en klei) nogal variëren. Dit heeft onder meer te maken met de variatie in de waarden van organische stof en klei die voor het ene gewas duidelijk groter is dan het andere. Belangrijker is dat afgeleide coëfficiënten voor de parameters organisch stof of klei kunnen wisselen. Wanneer een model met dergelijke coëfficiënten bij de risicoberekening wordt toegepast, dan leidt dat ertoe dat voor het ene gewas de berekende kritische gehalten aan lood in de bodem dalen met een toenemend organischestofgehalte terwijl die voor andere gewassen stijgen. Door deze effecten voldoet het model niet meer aan het oorzakelijk verband tussen de opname van metalen en het effect van pH, organisch stof en klei. Het is aan te nemen dat de effecten van pH, en meer nog dat van organische stof en klei op de opname, binnen de grenzen van de dataset, klein zijn ten opzichte van het effect van het loodgehalten in de bodem.

Voor de beoordeling van de risico's ten gevolge van de consumptie van moestuingewassen heeft het de voorkeur een bodem-plantopnamemodel met een robuuste set van coëfficiënten wat betreft grootte en teken van de coëfficiënt te gebruiken. In dat geval lijkt de keuze voor model I of II waarbij de BCF voorspeld wordt met het loodgehalte (I) en eventueel de pH (II) voor de meeste gewassen en gewasgroepen voldoende goed te functioneren zonder dat er te veel verlies aan informatie optreedt.

In Tabel 4.3 staat de R^2 van de vergelijking tussen de met de verschillende modellen berekende BCF-waarde. Daarbij is voor elk datapunt de BCF herberekend met de drie hier gebruikte modellen (I: alleen lood, II: lood en pH, en III: lood met alle bodemeigenschappen). Zo bedraagt de correlatie tussen de herberekende waarden van de BCF met model I (alleen lood op basis van gewasgroep) en die berekend zijn met model III, 0,89 en zelfs 0,94 voor het model gebaseerd op individuele gewassen. Dit betekent dat de schattingen van de modellen elkaar niet of nauwelijks ontlopen. De toevoeging van pH (model II) en de bodemeigenschappen klei en organische stof (model III) verbeteren statistisch gezien de absolute kwaliteit van de schatting dan wel, maar leiden slechts tot een minieme verandering in de schatting van de BCF ten opzichte van de schattingen met alleen lood (model I).

Ook is in de Tabel 4.3 de correlatie weergegeven tussen de gemeten BCF en de BCF-waarden die berekend zijn met modellen I, II en III, waarbij ook onderscheid is gemaakt tussen modellen voor de gewasgroep en die voor individuele gewassen. Daaruit blijkt ook dat de correlatie tussen gemeten en voorspelde waarde weliswaar beter wordt (van 0,64 in model I, stijgend naar 0,68 in model III), maar dat het gebruik van het model met alle bodemparementers (model III) slechts een beperkt effect heeft op de kwaliteit van de schatting van de BCF.

Tabel 4.3 Correlatie tussen berekende BCF met verschillende modellen.

Model (afhankelijkheid)	Model I	Gewasgroep	
		Model II	Model III
I (lood)	1	0,94	0,89
II (lood en pH)	-	1	0,94
III (lood, pH, OM en klei)	-	-	1

	Model I	Gewas	
		Model II	Model III
I (lood)	1	0,97	0,94
II (lood en pH)	-	1	0,97
III (lood, pH, OM en klei)	-	-	1

Correlatie tussen berekende BCF met verschillende modellen en data			
	Model I (lood)	Model II (lood, pH)	Model III (lood, pH, OM, klei)
Model gewas	0,64	0,67	0,68
Model gewasgroep	0,57	0,60	0,64

4.3.2 Conclusies ten aanzien van het gebruik van bodemeigenschappen voor de berekening van de BCF

- Er is een invloed van lood in de bodem, pH en bodemeigenschappen op de BCF voor de meeste gewassen.

- Alleen voor lood in de bodem en pH is deze invloed consistent en in overeenstemming met de verwachting ten aanzien van het gedrag van metalen in de bodem.
- Voor organische stof en klei is er wel een statistisch significante invloed op de BCF, maar deze is niet consistent en lijkt veroorzaakt te zijn door andere factoren.
- De verschillen in de herberekende BCF-waarden tussen de onderscheide modellen (I, II en III) is gering, wat pleit voor het toepassen van model I dat alleen gebaseerd is op het gehalte aan lood in de bodem en het loodgehalte van het gewas. Dit minimaliseert de databehoefte en levert vrijwel dezelfde schatting van de BCF op als bij gebruik van meer uitgebreide modellen.

5 Doorwerking BCF-modellen in consumptie gemiddelde BCF voor de risicobeoordeling

5.1 Benadering

In dit hoofdstuk worden de consequenties van de analyse (hoofdstukken 3 en 4) van de nieuwe bodem-plantdataset en de verschillende bodem-plantopnamemodellen voor de hoogte van de BCF voor lood doorgerekend. Dit houdt in:

1. Het gebruik van een vast (constant) plantgehalte voor de risicobeoordeling wordt voor lood niet geadviseerd en daarom niet verder uitgewerkt (zie paragraaf 4.1.3).
2. Er dient rekening te worden gehouden met het verschil in opname tussen de verschillende gewassen bij de berekening van een consumptiegemiddelde BCF (zie hiervoor Bijlage 3).
3. Het model waarbij de BCF afhankelijk is van de loodconcentratie in de bodem en eventueel andere bodemparameters heeft de voorkeur.
4. Een consumptiegemiddelde BCF op basis van geometrisch gemiddelde BCF-waarden is een haalbare terugvaloptie.

In dit hoofdstuk zullen eerst de BCF voor aardappelen en consumptie gemiddelde BCF op basis van een geometrisch gemiddelde waarden voor groenten worden berekend. Ter vergelijking zullen ook andere keuzemogelijkheden worden gepresenteerd.

Vervolgens zullen de BCF-waarden voor aardappelen en groenten (consumptiegemiddeld) worden berekend op basis van drie mogelijke bodem-plantopnamerelaties.

Daarna zal een keuze worden gemaakt en, op basis van die keuze, nieuwe kritische gehalten in de bodem (gezondheidskundige risicogrenswaarden) voor de mens worden berekend (hoofdstuk 6).

5.2 Bepaling BCF op basis van een constante BCF-waarde

De BCF is volgens dit model een constante waarde en onafhankelijk van bodem loodgehalte en bodemtype. Deze benadering werd, naast een 'expert judgement'-beoordeling van de data, toegepast door onder meer Bockting en Van den Berg (1992) en ten dele ook gehanteerd bij de evaluatie interventiewaarde (Otte et al., 2001). Deze benadering leidt in het hoge concentratiegebied vaak tot een overschatting van de plantopname van lood of andere metalen.

De geometrisch gemiddelde BCF-waarden van de individuele gewassen (Bijlage 4) zijn gecombineerd om tot een consumptiegewogen gemiddelde BCF-waarde voor groenten te komen. Dit is gedaan door rekening te houden met het gemiddelde consumptiepatroon (Versluijs en Otte, 2001 en Swartjes et al., 2007). De resultaten zijn vergeleken met de huidig gebruikte BCF-waarden (Tabel 5.1).

Tabel 5.1 Huidige BCF en geometrisch gemiddelde BCF-waarde op basis van de nieuwe database.

Gewas	Consumptiegemiddelde huidige BCF-waarde	Consumptiegemiddelde BCF-waarde op basis van het geometrisch gemiddelde
Aardappel	0,0017	0,0025
Groenten	0,044	0,0091
Aardappel en groenten	0,017	0,0049

De consumptiegemiddelde BCF op basis van de nieuwe dataset ligt voor aardappel op hetzelfde niveau. De BCF-waarde voor groenten ligt globaal een factor 5 lager dan de huidige BCF-waarde. In totaal (aardappelen en groenten) ligt de geometrisch gemiddelde BCF een factor 3 lager dan de huidige BCF.

In Tabel 5.2 worden de geometrisch gemiddelde BCF-waarden voor aardappelen en groenten vergeleken met de waarden op basis van het 50 percentiel en met het gemiddelde. De BCF op basis van het gemiddelde is duidelijk hoger.

Tabel 5.2 Berekende consumptiegemiddelde BCF-waarden en corresponderende risicogrenswaarden bodem.

	P50	BCF-waarde geometrisch gem.	Gem.
BCF groenten	0,0107	0,0091	0,0181
BCF aardappel	0,0031	0,0025	0,0040

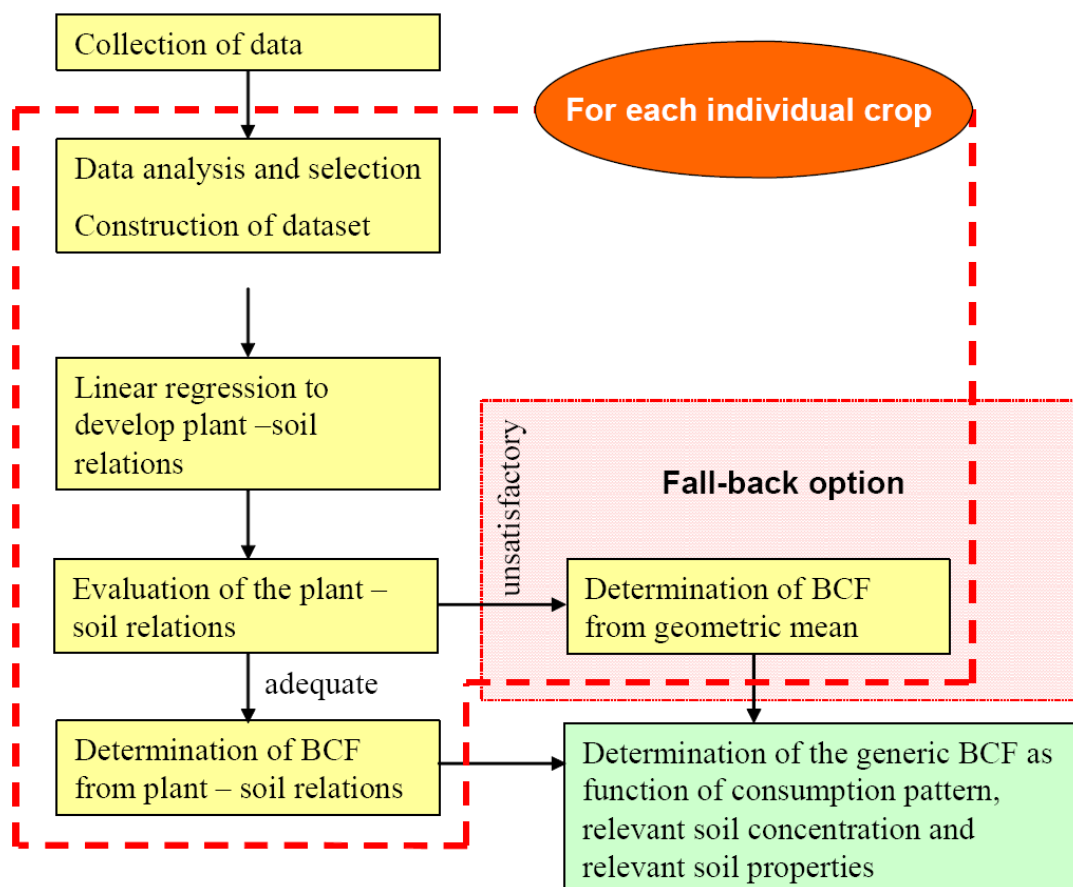
5.3 Bepaling BCF op basis van bodem-plantopnamerelatie

In deze paragraaf worden de bodem-plantopnamemodellen (zoals beschreven in onder andere paragraaf 4.3) uitgewerkt en toegepast voor de afleiding van risicogrenswaarden. Voor de berekening van een consumptiegemiddelde BCF-waarde werd de benadering van Swartjes et al. (2007) gevolgd. Dit houdt in dat voor de beoordeling van de toepasbaarheid van de beschikbare data en de afgeleide bodem-plantrelaties een heldere redeneerlijn wordt gevolgd. Daarbij wordt de toepasbaarheid van de afgeleide relaties niet alleen bepaald door statistische parameters, maar ook of de uitkomsten voldoen aan de verwachtingswaarden. Bovendien wordt getracht zodanig met de onzekerheden om te gaan dat de uitkomsten recht doen aan de manier waarop men in Nederland omgaat met de risico's van bodemverontreiniging.

5.3.1 Redeneerlijn

De gevolgde redeneerlijn wordt samengevat in Figuur 5.1.

De redeneerlijn beschrijft de criteria waarmee wordt bepaald welke data worden meegenomen en of een bodem-plantopnamerelatie kan worden gebruikt voor de inschatting van plantloodgehalten. Deze BCF-plant-bodemrelaties zijn, voor elk gewas of gewasgroep afzonderlijk, afgeleid middels lineaire regressie.



Figuur 5.1 Redeneerlijn.

Redeneerlijn voor de beoordeling van de bodem-plantopnamedata:

1. Voor elk gewas wordt gecontroleerd of het betreffende gewas deel uitmaakt van de lijst van gewassen die het gemiddelde consumptiepatroon beschrijven. Zie hiervoor onder andere Swartjes et al. (2007). Gewassen die niet tot deze lijst behoren, worden niet gebruikt. Dit betreft de data voor appel, gerst, gras, haver, rogge, schorseneer, suikerbiet, tarwe en triticale.
2. Voor elk gewas moet de dataset meer dan tien waarnemingen bevatten. Indien dit niet het geval is, gebruiken we de data van dit gewas niet. Dit ($n < 10$) geldt voor asperge, augurk, bloemkool, broccoli, courgette, doperwten, rabarber, radijs, rogge en triticale.
3. Voor elk gewas wordt beoordeeld of ten minste een deel van de data afkomstig is van bodems met een loodgehalte hoger dan 100 mg kg⁻¹ en er voldoende spreiding is in loodgehalten. Indien dit niet het geval is, wordt geen bodem-plantrelatie afgeleid en wordt de mediane BCF berekend en gebruikt. Dit betreft appel, asperge, broccoli, courgette, haver, rabarber, rogge en schorseneer.

De data van gewassen die volgens bovenstaande criteria gebruikt kunnen worden voor de afleiding van BCF-bodem-plantrelaties zijn: aardappel, andijvie, boerenkool, boon, komkommer, kool, mais, prei, rode biet, sla, spinazie, tomaat, ui en wortel. Het totale aantal gewassen waarvoor een bodem-plantrelatie wordt afgeleid, is dan veertien.

Vervolgens worden bodem-plantrelaties afgeleid volgens drie BCF-modellen en wordt teruggevallen op een geometrisch gemiddelde (en constante) BCF-waarde indien voor een bepaald gewas het BCF-model niet blijkt te voldoen (zie punten 4 en 5).

$$\text{I} \quad {}^{10}\log [\text{BCF}] = \text{constante} + a * {}^{10}\log [\text{lood-bodem}]$$

$$\text{II} \quad {}^{10}\log [\text{BCF}] = \text{constante} + b * {}^{10}\log [\text{lood-bodem}] + b * \text{pH}_{\text{KCl}}$$

$$\text{III} \quad {}^{10}\log [\text{BCF}] = \text{constante} + b * {}^{10}\log [\text{lood-bodem}] + b * \text{pH}_{\text{KCl}} + c * {}^{10}\log [\text{OS}] + d * {}^{10}\log [\text{klei}]$$

Indien deze modellen niet voldoen, wordt terug gevallen op het constante BCF-model:

- de geometrisch gemiddelde $\text{BCF}_{\text{gewas } i}$
- de BCF voor elke datapunt: $\text{BCF}_{\text{gewas } i} = C_{\text{gewas } i} / C_{\text{bodem}}$

4. Voor elk gewas wordt beoordeeld of de afgeleide bodem-plantrelaties voldoen aan de verwachtingswaarde (het theoretisch concept). Indien dit niet het geval is, wordt voor de berekening van de (consumptiegemiddelde) BCF de geometrisch gemiddelde BCF gebruikt.
5. Per gewas wordt beoordeeld of de afgeleide bodem-plantrelatie significant is. Indien een relatie niet significant is, wordt de geometrisch gemiddelde BCF gebruikt.
6. De blootstellingsberekeningen worden zodanig begrensd dat de berekende gehalten in de plant afgekapt worden op een minimumconcentratie gelijk aan het 5 percentiel van de plantgehalten in de database.
7. Vanuit risicoperspectief is het niet verantwoord afgeleide relaties te gebruiken voor modelberekeningen bij gehalten aan lood in de bodem boven de 95 percentielwaarden van de dataset. Hiermee wordt extrapolatie voorkomen. Bij modelberekeningen worden, voor de berekening van de BCF volgens de modellen I, II of III, de invoerwaarden (bodemgehalte, pH et cetera) afgekapt op het 95 percentiel. Het gehalte in de plant wordt vervolgens berekend met het constante BCF-model. De BCF neemt dus bij hoge gehalten in de bodem niet meer verder af.

5.3.2 *Uitwerking*

Na de beoordeling van de dataset zijn voor veertien gewassen bodem-plantrelaties afgeleid en beoordeeld (stappen 1 t/m 3). In hoofdstuk 4 is geconcludeerd dat, op basis van data-analyse, de verschillen tussen de onderzochte modellen klein waren. In dit hoofdstuk wordt beoordeeld of de afgeleide BCF waarden (op basis van de drie bodem-plantopnamemodellen) voldoen aan de verwachte effecten van het loodgehalte in de bodem, pH, organische stof en klei op de opname van lood door de plant (zie Tabel 5.3).

Tabel 5.3 Verwacht effect van het loodgehalte in de bodem, pH, organisch stof en klei op de hoogte van de BCF lood.

Parameter	Model I	Model II	Model III
Toenemen lood bodemgehalte	afnemende BCF		
Hogere pH	n.v.t.	afnemende BCF	
Hoger organischestofgehalte	n.v.t.	n.v.t.	afnemende BCF
Hoger kleigehalte	n.v.t.	n.v.t.	afnemende BCF

Model I: BCF afhankelijk van loodgehalte in de bodem

Voor alle gewassen, behalve voor boerenkool, voldoen de relaties aan de verwachting dat de BCF afneemt bij een hoger loodgehalte in de bodem (zie Tabel 5.4 kolom 2 en 3). Voor de berekening van de BCF groenten gebruiken we voor boerenkool de geometrisch gemiddelde BCF conform de redeneerlijn.

Model II: BCF afhankelijk van loodgehalte in de bodem en pH

Voor de gewassen boerenkool, komkommer, kool, rode biet, tomaat en ui voldoet het BCF-model II niet aan de verwachting dat bij afnemende pH de BCF toeneemt (zie Tabel 5.4 kolom 4 en 5). Voor de BCF voor groenten (consumptiegemiddelde) leidt dit in zijn totaliteit tot een BCF-model dat marginaal verandert bij een veranderende pH. Dit duidt erop dat de pH weinig invloed heeft op de plantopname van lood.

Model III: BCF afhankelijk van loodgehalte in de bodem, pH en bodemtype

Het effect van pH en bodemtype (organisch stof en klei) tezamen geeft (zie Tabel 5.4 kolom 6 en 7) voor veel gewassen (aardappelen, boerenkool, kool, mais en tomaat) een beeld dat niet voldoet aan de verwachting. Als voorbeeld verwachten we voor de BCF van aardappel een toename bij een bodemtype met een lagere pH, een lager organischestofgehalte en een lager kleigehalte. Dit is niet het geval. De veronderstelling is dat het gecombineerde effect van pH en bodemtype op de opname van lood klein is, waardoor het effect op de BCF niet te onderscheiden is van het effect door andere factoren.

Gebruik van een geometrisch gemiddelde BCF:

In kolom 8 (Tabel 5.4) zijn de geometrisch gemiddelde BCF-waarden gegeven. Conform de verwachting blijken deze waarden steeds hoger te zijn dan de BCF die werd berekend met de modellen.

Model I blijkt een consistent beeld te geven van het effect van verhoogde

loodgehalten in de bodem op de opname door planten (de BCF). De berekening van het consumptiegemiddelde (BCF-model I) is gegeven in Bijlage 6.

Tabel 5.4 BCF-waarden voor individuele gewassen berekend met de verschillende bodem-plantopnamemodellen bij verschillende waarden voor het lood gehalte in de bodem, de pH en bodemtype.

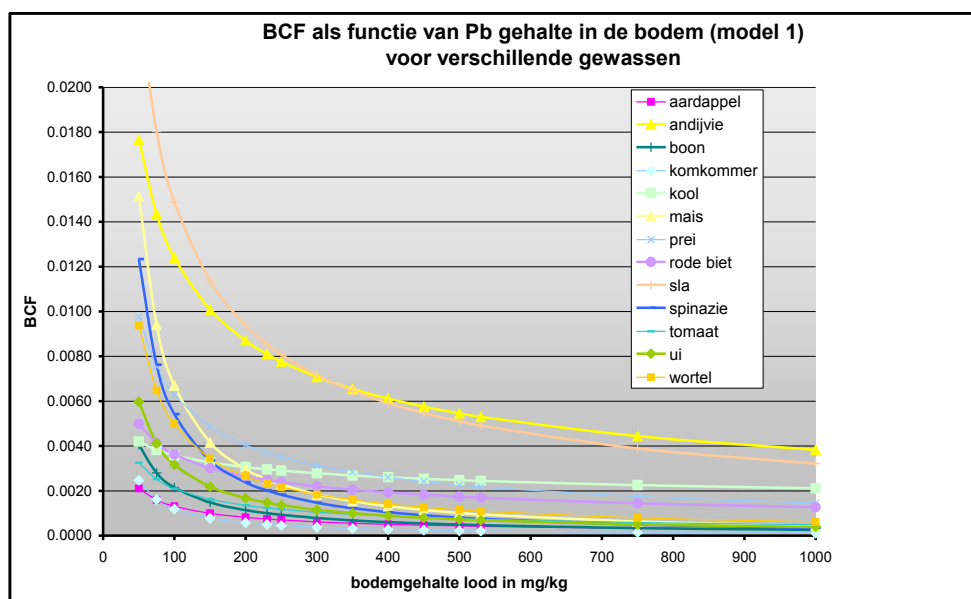
Kolom	2	3	4	5	6	7	8
	Model Pb		Model Pb+pH		Model Pb+ bodemtype		BCF- geomean
	Model I		Model II		Model III		const. BCF
	BCF	BCF	BCF	BCF	BCF	BCF	BCF
<i>Verwachting</i>	<i>Toename BCF</i>		<i>Toename BCF</i>		<i>Toename BCF</i>		<i>Hoogste BCF-waarde</i>
<i>Gewas</i>							
Aardappel	0,0007	0,0015	0,0007	0,0010	0,0009	0,0002	0,0025
Andijvie	0,0075	0,0135	0,0076	0,0102	0,0079	0,0094	0,1469
Boerenkool	0,0215	0,0197	0,0161	0,0077	0,0125	0,0015	0,0215
Boon	0,0009	0,0024	0,0009	0,0009	0,0005	0,0013	0,0024
komkommer	0,0008	0,0014	0,0008	0,0007	0,0008	0,0013	0,0030
Kool	0,0029	0,0037	0,0017	0,0007	0,0009	0,0003	0,0040
Mais	0,0025	0,0081	0,0061	0,0076	0,0030	0,0001	0,0201
Prei	0,0026	0,0070	0,0019	0,0023	0,0033	0,0033	0,0076
Rode biet	0,0022	0,0031	0,0031	0,0012	0,0019	0,0031	0,0031
Sla	0,0076	0,0166	0,0070	0,0096	0,0083	0,0098	0,0195
Spinazie	0,0020	0,0066	0,0023	0,0043	0,0030	0,0031	0,0155
Tomaat	0,0014	0,0023	0,0007	0,0006	0,0018	0,0005	0,0033
Ui	0,0013	0,0035	0,0011	0,0003	0,0007	0,0008	0,0035
Wortel	0,0034	0,0058	0,0037	0,0054	0,0024	0,0069	0,0187
Groenten	0,0043	0,0064	0,0036	0,0030	0,0031	0,0025	0,0091
Pb lood	500	85	500	500	500	500	
pH			7	5	6	5	
OM					10	2	
L					25	2	

Rood voldoet niet aan de verwachtingswaarde.

In Figuur 5.2 is de afname van de BCF bij toenemende loodgehalten in de bodem voor de verschillende gewassen in beeld gebracht. De curven zijn gebaseerd op plant-bodemopnamemodellen voor de individuele gewassen (model I). In de figuur is de BCF ook boven de P95-waarde van het loodgehalte in de bodem volgens het model berekend. De berekende BCF-waarden (y-as) zijn dus geëxtrapoleerd. Voor de uiteindelijke toepassing in risicomodellen wordt dit niet gedaan (zie de redeneerlijn punt 7).

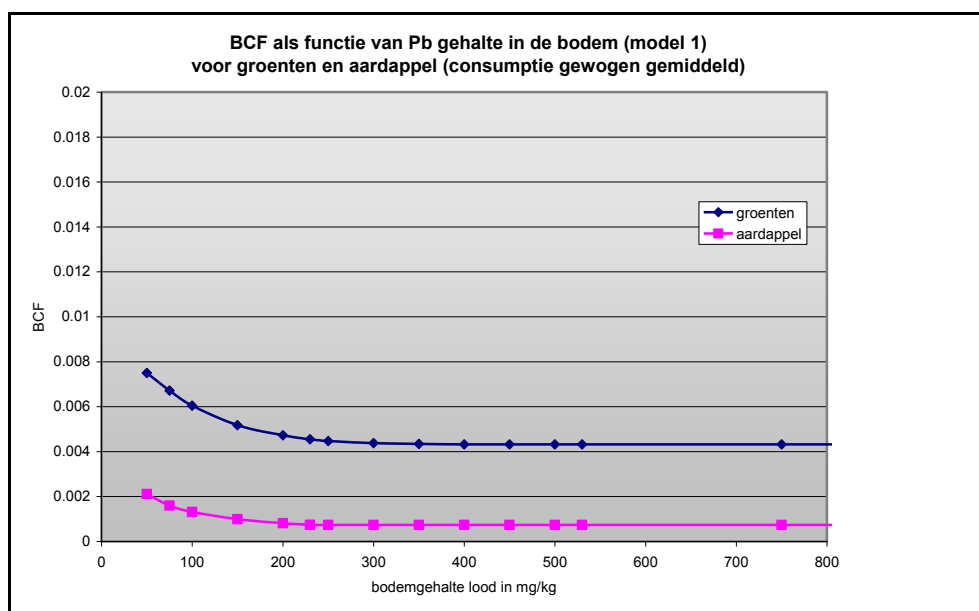
Uit Figuur 5.2 blijkt dat de verdere afname van de BCF boven de P95 van het loodgehalte in de bodem (ongeveer 300 mg kg⁻¹) volgens het model klein is. De afname van de BCF bij toenemend loodgehalte in de bodem is het grootst in het traject tussen 50 en 300 mg kg⁻¹. De berekende waarden bij een loodgehalte in de bodem kleiner dan 50 mg/kg lijken niet realistisch (te hoog). Voor de beoordeling van de risico's is dit niet relevant.

Ofschoon het statistisch niet verantwoord is om boven de P95 de modelberekende waarden voor de BCF te gebruiken, laat Figuur 5.2 zien dat het model ook boven de P95-waarde toepasbaar is en niet leidt tot een extreme daling van de BCF. Voordat deze modelbenadering ook in dit traject toegepast kan worden, is het echter noodzakelijk het verloop van de BCF in het traject tussen 300 en 1500 mg kg⁻¹ te toetsen.



Figuur 5.2 BCF-afname bij toenemende bodemloodgehalten.

In Figuur 5.3 staat de BCF voor aardappel en groenten (consumptiegewogen waarde) als functie van het gehalte aan lood in de bodem. Hierbij wordt de BCF-waarde constant gehouden buiten de grenzen van de dataset. Hoge BCF-waarden bij lage loodgehalten in de bodem (zoals bijvoorbeeld voor sla) worden dan niet meegenomen bij de berekening van de consumptiegemiddelde BCF. De grenzen voor het toepassingsgebied van de afgeleide bodem-plantopnamerelatie worden bepaald door de P5- en P95-waarden van de dataset. De afname van de BCF in het traject 50-300 mg/kg lood in de bodem is ongeveer een factor 2.



Figuur 5.3 BCF-afname bij toenemende bodemloodgehalten voor aardappel en groenten zoals voor toepassing voor blootstellingsmodellering.

5.4 Conclusie uitwerking bodem-plantopnamemodellen

Op basis van de analyse van de drie bodem-plantopnamemodellen kunnen we het volgende concluderen:

- Met model I wordt de BCF berekend in afhankelijkheid van het gehalte aan lood in de bodem. Dit model blijkt het meest consistent en robuust. Afhankelijkheid van bodemtype is, op basis van de beschikbare dataset, niet duidelijk en leidt voor een aantal gewassen tot een inconsistent beeld (Tabel 5.4).
- Volgens model I varieert de BCF voor aardappel tussen 0,0015 (bij 85 mg Pb kg⁻¹) tot 0,0007 (bij 500 mg Pb kg⁻¹).
- Volgens model I varieert de BCF voor groenten tussen 0,0064 (bij 85 mg Pb kg⁻¹) tot 0,0043 (bij 500 mg Pb kg⁻¹).
- Het gebruik van model I wordt geadviseerd voor de toepassing in de voorgeschreven risicomodellen. De BCF-waarden voor aardappelen en groenten bij bodemloodgehalten rond 500 mg kg⁻¹ worden dan respectievelijk 0,00074 en 0,0043.
- Het gebruik van een geometrisch gemiddelde BCF-waarde, onafhankelijk van het loodgehalte in de bodem, leidt tot een overschatting van de opname van lood.

Tabel 5.5 geeft een overzicht van de berekende BCF-waarden.

Tabel 5.5 Berekende BCF-waarden volgens de verschillende modellen.

	Huidige BCF	BCF geomean	BCF model I	BCF model I
Toepassing	Sanscrit en RTB	Dit rapport	Dit rapport	Dit rapport
Loodgehalte bodem mg kg ⁻¹	n.v.t.	n.v.t.	≥ 500	85
BCF aardappel	0,0017	0,0025	0,00074	0,0015
BCF groenten (consumptie gemiddeld)	0,044	0,0091	0,0043	0,0064

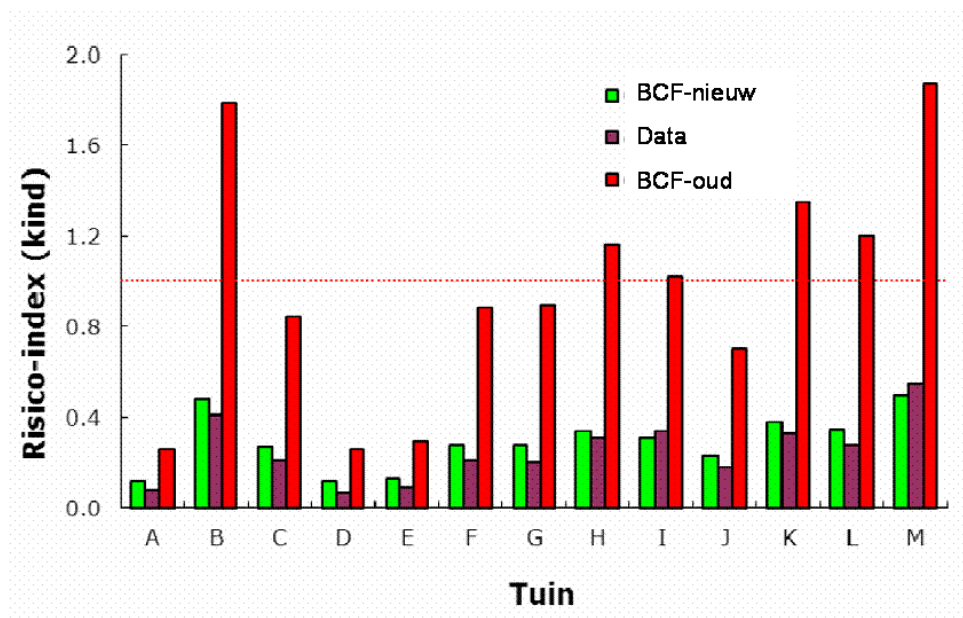
5.5 Praktijktoetsing

Met de gegevens van twee onderzoeken naar de gezondheidsrisico's van de consumptie van gewassen uit moestuinen is het geadviseerde bodem-plantopnamemodel I (zie paragraaf 5.4) getoetst aan de praktijk.

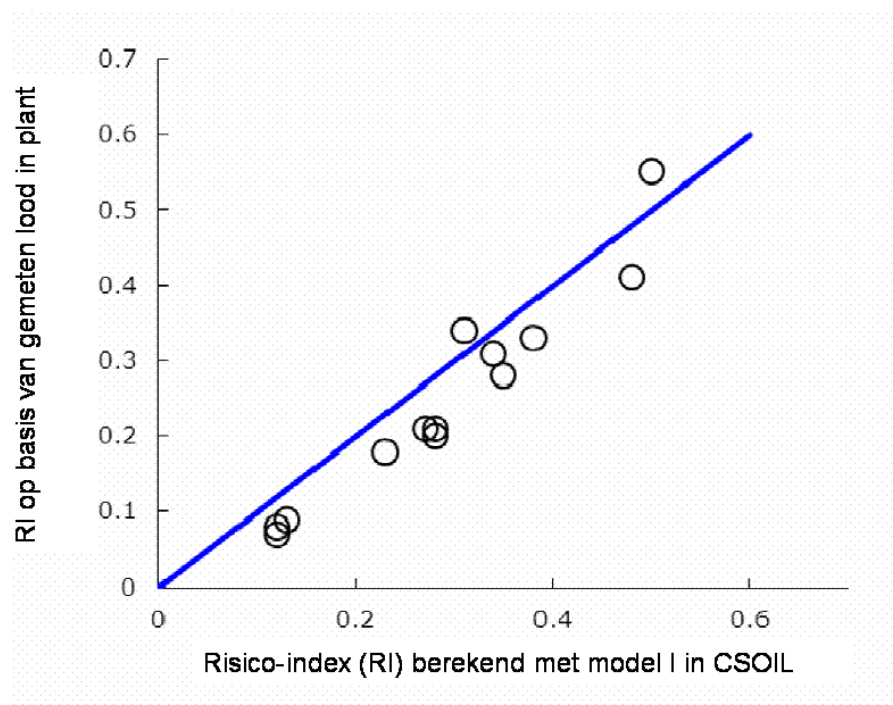
5.5.1 Casus Heerenveen

Om te zien of het nieuwe model voor de berekening van bioconcentratiefactoren en plantgehalten te berekenen voor moestuingewassen werkt, toetsen we de uitkomsten van dit model op data van een recente veldstudie (Römkens en Rietra, 2011). In deze studie zijn in 13 verschillende licht tot matig verontreinigde moestuinen (loodgehalte in de bodem varieert tussen 90 en 350 mg kg⁻¹) metingen verricht aan het gehalte aan lood in gewassen en in de bodem. Voor elk van deze tuinen is met model I voor de berekening van de BCF het gehalte in de groente en aardappelen berekend. Dit is ook gedaan met het bestaande BCF-model waarmee CSOIL nu rekent. Met deze berekende gehalten in groente en aardappel is vervolgens de blootstelling berekend met CSOIL. Dit is ook gebeurd met de werkelijke data (gehalte aan lood in beide gewassen).

In Figuur 5.4 staat per tuin de gemeten en berekende risico-index (RI) op basis van zowel het oude (in rood) als nieuwe (in groen) model. De RI is de berekenende levenslange gemiddelde blootstelling gedeeld door het maximaal toelaatbaar risiconiveau voor de mens (MTR in µg/kg lichaamsgewicht per dag). De risico-index geeft daarmee de mate van onder- of overschrijding van het MTR-humaan. Bij een blootstelling hoger dan het MTR-humaan (RI>1) is er in het algemeen sprake van een spoedeisende sanering.



Figuur 5.4 Risico-indices berekend met CSOIL op basis van berekende (oude en nieuwe) en gemeten gewasconcentraties.



Figuur 5.5 Vergelijking van berekende risico-indices op basis van berekende (model I) en gemeten gewasconcentraties.

In Figuur 5.4 is duidelijk te zien dat de berekende risico-indices met het oude model duidelijk hoger zijn dan de risico-indices die zijn berekend met het nieuwe model. Volgens de oude systematiek leidde het loodgehalte in de bodem tot een ontoelaatbaar risiconiveau in zes van de dertien onderzochte tuinen. Dit was destijds ook aanleiding om het locatiespecifieke onderzoek te starten. Op basis van de metingen in de gewassen (bruine balk) wordt echter aangetoond dat er in geen enkele tuin sprake is van een onaanvaardbaar risico; de RI op basis van de data varieert van minder dan 0,1 tot maximaal 0,5. Deze gemeten waarden voor de RI komen goed overeen met de berekende waarden volgens model I. In Figuur 5.5 staat de relatie tussen de berekende RI per tuin op basis van gewasmetingen en op basis van berekende gewasconcentraties (met model I) per tuin. De blauwe lijn is daarbij de 1:1-lijn. De risico-indices op basis van berekende plantgehalten liggen gemiddeld gezien iets boven de risico-indices op basis van gemeten plantgehaltenwaarde. Dit betekent dat het nieuwe model iets hogere gehalten in de gewassen voorspelt. Dit is vanuit de risicobenadering echter beter dan dat de gehalten voor lood gemiddeld onderschat worden.

5.5.2 Casus Den Bommel

In een matig tot zwaar verontreinigde achtertuin in de gemeente Oostflakkee zijn metingen verricht aan de gehalten aan lood in sla en aardappel (Römkens et al., 2008). In de tuin is destijds ter plekke een moestuin aangelegd en is in vijfvoud de gehalten van lood in de gewassen gemeten. In Tabel 5.6 staan de data van de gehalten aan lood in de bodem, de gemeten gehalten aan lood in sla en aardappel en de berekende gehalten in beide gewassen met model I. De gehalten aan lood in de bodem in deze tuin liggen deels ruim boven de bodemloodgehalten van de dataset waarvan het bodem-plantopnamemodel (model I) is afgeleid.

Tabel 5.6 Gehalten aan lood in de bodem en gewassen geteeld op verontreinigde grond in de gemeente Oostflakkee.

Gewas	Pb bodem (mg kg ⁻¹ ds)	Pb-gewas data (mg kg ⁻¹)		Pb-gewas model I (mg kg ⁻¹)
		vers	% ds	
Aardappel 1	1093	0,06	20,8	0,06
Aardappel 2	2604	0,05	20,7	0,08
Aardappel 3	402	0,04	22,6	0,05
Aardappel 4	296	0,07	20,9	0,04
Aardappel 5	603	0,03	22,9	0,05
Sla 1	1271	0,28	7,3	0,25
Sla 2	390	0,28	8,0	0,19
Sla 3	378	0,26	7,2	0,17
Sla 4	354	0,16	6,6	0,15
Sla 5	668	0,23	8,0	0,22

De data in de tabel bevestigen dat model I in staat is de gemeten gehalten en de variatie daarin redelijk tot goed te voorspellen. Ook buiten de range van de data waarop het model is gebaseerd, leidt toepassing van model I niet tot vreemde waarden van lood, in ieder geval voor aardappel en sla.

5.5.3 *Conclusie praktijktoetsing*

De toetsing voor beide cases laat zien dat toepassing van model I voor de berekening van zowel de gehalten in individuele gewassen als de risico-index (RI) goed werkt en leidt tot een duidelijk verbeterde schatting van de werkelijke opname van lood voor een aantal belangrijke gewassen die veel geteeld worden in moestuinen.

6 Doorwerking, conclusies en aanbevelingen

In Tabel 6.1 is aangegeven hoe de nieuwe BCF-waarden doorwerken in de berekening van de risicogrenzen voor de mens. De risicogrens voor de mens wordt berekend met het blootstellingsmodel CSOIL (Brand et al., 2007). Het risico voor de mens wordt naast de blootstelling door de consumptie van gewassen uit eigen tuin ook voor een belangrijk deel bepaald door de ingestie van gronddeeltjes. De bijstelling van de BCF-waarde heeft het grootste effect op de risicobeoordeling van moestuinen, omdat de consumptie van gewassen uit eigen tuin groter is dan bij wonen met tuin.

In het rapport van de werkgroep Normstelling en Bodemkwaliteitsbeoordeling (VROM, 2008) worden de randvoorwaarden van de risicobeoordeling en de beoordeling van de bodemkwaliteit gegeven. Deze werkgroep (NOBOWA) heeft in 2011 op basis van een studie van de European Food Safety Authority (EFSA, 2010) geadviseerd het MTR van lood naar beneden bij te stellen¹ van $3,6 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ naar $2,8 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. Met de consequenties van deze aanscherping is bij de berekeningen van de verschillende risicogrenswaarden (tabellen 6.1 en 6.2) rekening gehouden.

Tabel 6.1 Risicogrenswaarden voor de mens op basis van het voorgestelde bodemplantopname (model I)relatie voor verschillend bodemgebruik.

	Wonen+ tuin		Wonen+ moestuin		Plaatsen waar kinderen spelen	
	IW ¹⁾ huidig	nieuw	huidig	nieuw	huidig	nieuw
Risico grenswaarde	530	540	140	390	730	570
% blootstelling consumptie eigen tuin	27%	4%	81%	31%	0%	0%
BCF aardappel	0,0017	0,00074	0,0017	0,00074	n.v.t.	n.v.t.
BCF groenten	0,044	0,0043	0,044	0,0043	n.v.t.	n.v.t.
Max. blootstelling MTR ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	3,6	2,8	3,6	2,8	3,6	2,8
Relatieve biobeschikbaarheid ²⁾	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74

¹⁾ De huidige Interventiewaarde (humaan) is berekend op basis van een MTR van $3,6 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. Doordat voor interventiewaarden ook de ecologische risicogrenswaarden van belang zijn, behoeft de interventiewaarde voor lood (530 mg kg^{-1}) niet te worden bijgesteld.

²⁾ In Sanscrit en CSOIL wordt voor de risicobeoordeling gerekend met een relatieve biobeschikbaarheid voor de mens van 0,74 (standaard) en 0,4 (stedelijke ophooglagen). De relatieve biobeschikbaarheid is de werkelijke biobeschikbaarheid gedeeld door de biobeschikbaarheid van voedsel waarop de MTR is gebaseerd. De biobeschikbaarheid van lood in voedsel is gesteld op 0,5.

¹ De Circulaire bodemsanering 2009 wijzigt naar verwachting per 1 januari 2012. De wijziging van het MTR voor lood is vermeld in bijlage 2 paragraaf 4.3.

In Tabel 6.2 is te zien op welk niveau de risicogrenswaarden voor de mens komen in geval van stedelijke ophooglagen waarbij een lage biobeschikbaarheid van lood voor het menselijk lichaam wordt verondersteld zoals toegepast kan worden in stap 3 van Sanscrit (zie www.sanscrit.nl).

Tabel 6.2 Risicogrenswaarden voor de mens op basis van voorgestelde bodemplantopname (model I) relatie voor verschillend bodemgebruiken voor stedelijke ophooglagen bij de beoordeling in stap 3 van Sanscrit.

	Wonen+ tuin		Wonen+ moestuin		Plaatsen waar kinderen spelen	
	huidig	nieuw	huidig	nieuw	huidig	nieuw
Risico grenswaarde	810	970	150	570	1350	1050
% blootstelling consumptie eigen tuin	40%	7%	89	46	0%	0%
BCF aardappel	0,0017	0,00074	0,0017	0,00074	n.v.t.	n.v.t.
BCF groenten	0,044	0,0043	0,044	0,0043	n.v.t.	n.v.t.
Max. blootstelling MTR ($\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	3,6	2,8	3,6	2,8	3,6	2,8
Relatieve biobeschikbaarheid ¹⁾	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

¹⁾ In Sanscrit en CSOIL wordt voor de risicobeoordeling gerekend met een relatieve biobeschikbaarheid voor de mens van 0,74 (standaard) en 0,4 (stedelijke ophooglagen). De relatieve biobeschikbaarheid is de werkelijke biobeschikbaarheid gedeeld door de biobeschikbaarheid van voedsel waarop de MTR is gebaseerd. De biobeschikbaarheid van lood in voedsel is gesteld op 0,5.

Op basis van dit onderzoek komen wij tot de volgende conclusies en aanbevelingen.

- De update van de dataset voor lood met bodem-plantdata heeft geleid tot een meer representatieve dataset die geschikt is om te gebruiken voor de afleiding van bodem-plant relaties om de BCF voor lood te schatten.
- De BCF voor lood blijkt vooral afhankelijk van het gewastype en van het totale loodgehalte in de bodem. Het effect van pH is weliswaar significant en consistent, maar klein. Het effect van organische stof en klei op de opname van lood is zeer klein en bovendien niet consistent, hetgeen beide parameters ongeschikt maakt voor een generieke toepassing in het kader van normstelling.
- Uit de vergelijkende analyses blijkt dat een BCF voor lood het beste kan worden beschreven volgens de relatie:

$$^{10}\log [\text{BCF}] = \text{constante} + a * ^{10}\log [\text{lood-bodem}]$$

- Het nieuwe BCF-model en de daarmee afgeleide BCF-waarden zijn geschikt om te gebruiken in de instrumenten voor bepaling van spoed (Sanscrit) en voor het toetsen van lokale maximale waarden binnen het bodembeheer (de RisicoToolbox Bodem). De consequenties van het gecombineerde effect van de toepassing van het BCF model en de aanscherping van het MTR zijn gegeven in de tabellen 6.1 en 6.2.

Literatuur

Bockting, G. en R. Van den Berg (1992) De accumulatie van sporen metalen in groenten geteeld op verontreinigde bodems. Een literatuurstudie. RIVM rapport 725201009, Bilthoven.

Brand, E., P.F. Otte, J.P.A. Lijzen (2007) CSOIL 2000 an exposure model for human risk assessment of soil contamination. A model description. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapport 711701054/2007.

CBS, PBL, Wageningen UR (2010). Concentraties zware metalen in lucht, 1990-2009 (indicator 0486, versie 08, 1 juni 2010).
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl, CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.

Dirven-Van Breemen, E.M., J.P.A. Lijzen, P.F. Otte, P. van Vlaardingen, J. Spijker, E.M.J. Verbruggen et al. (2007) Landelijke referentiewaarden ter onderbouwing van maximale waarden in het bodembeleid. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapport 711701053/2007.

EFSA (2010). Scientific Opinion on Lead in Food. EFSA Journal 2010; 8(4):1570. European Food Safety Authority (EFSA), Parma, Italy.

GGD Zuid Limburg (2008) Blootstelling aan cadmium en andere zware metalen in de gemeente Eijsden. Rapport 8156, GGD Zuid Limburg – Medische Milieukunde.

Lijzen, J.P.A., A.J. Baars, P.F. Otte, M. Rikken, F.A. Swartjes, E.M.J. Verbruggen et al. (2001) Technical evaluation of the Intervention Values for Soil/sediment and Groundwater. Human and ecotoxicological risk assessment and derivation of risk limits for soil, aquatic sediment and groundwater. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapport 711701023.

Otte, P.F., J.P.A. Lijzen, J.G. Otte, F.A. Swartjes, C.W. Versluijs (2001) Evaluation and revision of the CSOIL parameter set. Proposed parameter set for human exposure modelling and deriving Intervention Values for the first series of compounds. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapport 711701021.

Rietra, R.P.J.J., P.F.A.M. Römkens en J. Japenga (2006) Cadmium en zink in bodem en landbouwgewassen in de Kempen 2005. Vervolgonderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem en in schorseneer, wortels en granen. Alterrapport 1167.

Rietra, R.P.J.J. en P.F.A.M. Römkens (2007) Cadmium en zink in de bodem en landbouwgewassen in de Kempen 2006; Vervolgonderzoek voor de gewassen schorseneer, waspeen en prei. Alterrapport 1422.

Rietra, R.P.J.J. en P.F.A.M. Römkens (2009) De invloed van Toemaak op de kwaliteit van veevoer en inname door grote grazers. Alterrapport 1871.

Römkens, P.F.A.M., G.W. Schuur, J.P.A. Lijzen, R.P.J.J. Rietra, E.M. Dirven-Van Breemen (2005) Risico's van cadmium en lood in moestuinen in de Kempen. Alterrapport 1129.

Römkens, P.F.A.M., R.P.J.J. Rietra, P.F. Otte (2008) Resultaten Inventariserend Onderzoek Bodem en Gewas in de Moestuin te Den Bommel, gemeente Oostflakkee. Alterrapport 1352, 50 pp.

Römkens, P.F.A.M., J.E. Groenenberg, R.P.J.J. Rietra, J.E. Groenenberg, W. de Vries (2008) Onderbouwing LAC2006-waarden en overzicht van bodem-plantrelaties ten behoeve van de Risicotoolbox; een overzicht van gebruikte data en toegepaste methoden; gepubliceerd: 18 feb 2008; 103 pp.

Römkens, P.F.A.M., R.P.J.J. Rietra (2010) Opname van lood door landbouwgewassen: data en modelconcepten. Alterra-advies 1352, 71 pp., Wageningen.

Römkens, P.F.A.M., R.P.J.J. Rietra (2011). Locatiespecifiek onderzoek naar de risico's van lood in moestuinen. Gehalten aan lood in de bodem en moestuingewassen in het volkstuincomplex 'Aan het Meer' te Heerenveen. Alterrapport 2107, 52 pp.

Swartjes, F.A.; E.M. Dirven-Van Breemen, P.F. Otte, P. van Beelen, M.G.J. Rikken, J. Tuinstra et al. (2007) Human health risks due to consumption of vegetables from contaminated sites. Towards a protocol for site-specific assessment. RIVM rapport 711701040. Bilthoven.

Van Driel, W., W. Stuurmans, J.M.J. Dekkers, W. de Vries, G. Vos, M.J.J. Stienen (1987a) Zware metalen in oevergronden en daarop verbouwde gewassen in het stroomgebied van Maas, Geul en Roer in de provincie Limburg. 1. Algemene gegevens en samenvatting van de resultaten. Rapport van de projectgroep zware metalen in oevergronden van Maas en zijrivieren.

Van Driel, W., W. Stuurmans, J.M.J. Dekkers, W. de Vries, G. Vos, M.J.J. Stienen (1987b) Zware metalen in oevergronden en daarop verbouwde gewassen in het stroomgebied van Maas, Geul en Roer in de provincie Limburg. 2. Documentatie van onderzoeksgegevens., Rapport van de projectgroep zware metalen in oevergronden van Maas en zijrivieren.

Van Driel, W., B. van Luit, W. Schuurmans, W. de Vries, M.J.J. Stienen (1988) Zware metalen in oevergronden en daarop verbouwde gewassen in het stroomgebied van Maas, Geul en Roer in de provincie Limburg. 3. Bodem-gewasrelaties. Rapport van de projectgroep zware metalen in oevergronden van Maas en zijrivieren.

Versluijs, C.W. en P.F. Otte (2001). Accumulatie van metalen in planten. Een bijdrage aan de evaluatie van de interventiewaarden en locatiespecifieke risicobeoordeling van verontreinigde bodem. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapport 711701 024.

VRM, (2007). Regeling bodemkwaliteit. Regeling van 17 december 2007, nr. DJZ2007124397, houdende regels voor de uitvoering van de kwaliteit van de bodem. Staatscourant 20 december 2007, nr. 247, pag. 67.

VROM, (2008). NOBO: Normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling
Onderbouwing en beleidsmatige keuzes voor de bodemnormen in 2005, 2006 en
2007. Den Haag.

VROM, (2009). Circulaire bodemsanering 2009. Staatscourant 7 april 2009,
nr 67, pag. 1.

Wiersma, D., B.J. van Goor en N.G. van der Veen (1985) Inventarisatie van
cadmium, lood, kwik en arseen in Nederlandse gewassen en bijbehorende
gronden. Haren (Gr.), Instituut voor Bodemvruchtbaarheid. rapport 8-85.

Bijlage 1: Gehalten aan lood in de bodem

In deze bijlage staat een overzicht van de loodgehalten in de bodem per gewas zoals opgenomen in de dataset. Gegeven worden het aantal waarnemingen, de minimum- en maximumwaarden, de 5 en 95 percentielen en de mediane en gemiddelde waarden.

Voor een aantal gewassen is aangegeven dat de hoeveelheid data te weinig is voor het afleiden van bodem-plantrelaties (minder dan tien gegevens). Ook is aangegeven als de data bodems betreft met onvoldoende spreiding en te lage bodemloodgehalten. Voor deze gewassen geldt dat dan de mediane BCF wordt genomen voor de verdere modellering.

Tabel A1: Overzicht van de loodgehalten in de bodem per gewas (in mg kg⁻¹ lood). Een gele arcering bij het gewas betekent dat er minder dan 10 waarnemingen zijn, een roze arcering bij het maximum betekent dat er minder dan 100 mg kg⁻¹ aan lood in de bodem is gemeten voor het betreffende gewas.

	Aantal	Minimum	5%	Median	Mean	95%	Maximum
Aardappel	204	6,0	12,7	35,0	57,8	231,3	297,0
Andijvie	302	6,2	16,1	80,0	104,5	265,7	548,0
Appel	99	9,0	15,5	29,0	32,4	65,6	93,0
Asperge	4	12,1	12,0	12,2	12,7	14,6	14,1
Augurk	5	28,0	21,8	102,0	120,6	222,0	218,0
Bloemkool	4	27,0	19,5	74,5	70,8	110,0	107,0
Boerenkool	65	17,0	21,3	146,0	161,1	393,0	461,0
Boon	10	42,6	42,6	79,3	107,2	265,7	265,7
Broccoli	1	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
Courgette	1	84,0	84,0	84,0	84,0	84,0	84,0
Doperwten	4	32,0	28,4	77,0	91,0	198,4	178,0
Gerst	96	5,0	13,0	24,1	44,6	127,5	265,7
Gras	185	11,0	14,8	53,8	108,6	334,8	680,0
Gras natuur	21	15,7	16,3	48,5	54,8	145,1	151,4
Haver	78	8,0	9,0	18,0	24,7	60,8	70,0
Komkommer	40	3,8	8,2	47,5	57,0	152,0	310,0
Kool	18	28,0	29,2	48,7	80,6	251,9	265,7
Mais	130	6,4	10,0	39,2	66,4	231,3	590,0
Prei	134	11,5	17,0	89,7	114,5	393,0	461,0
Rabarber	3	46,0	43,9	52,0	51,7	58,8	57,0
Radijs	8	42,6	42,0	85,7	117,3	269,1	265,7
Rode biet	68	57,0	57,0	146,0	161,5	393,0	461,0
Rogge	1	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3
Schorseneer	13	9,1	9,8	24,0	23,2	32,3	32,5
Sla	535	3,8	15,0	61,6	99,2	272,8	548,0
Spinazie	239	5,0	12,7	40,0	58,7	231,3	265,7
Suikerbiet	115	3,3	13,0	41,0	77,7	257,5	415,0
Tarwe	127	6,0	11,0	28,0	56,4	214,7	325,0
Tomaat	76	4,5	12,9	46,9	67,9	193,6	280,0
Triticale	6	51,6	47,5	81,5	81,8	102,0	102,0
Ui	19	27,0	34,0	83,7	111,7	265,7	265,7
Wortel	168	1,8	6,5	21,0	38,3	152,7	265,7

Bijlage 2: Gehalten aan lood in gewas

In deze bijlage staat een overzicht van de gehalten aan lood in de individuele gewassen. Gegeven worden het aantal waarnemingen, de minimum- en maximumwaarden, de 5 en 95 percentielen en de mediane en gemiddelde waarden.

Tabel A2: Overzicht van de gehalten aan lood in de gewassen uitgedrukt in mg lood kg⁻¹ droog gewicht.

Gewas	Gewas- groep	Aantal	min	5%	Median	Mean	95%	Max
Aardappel	1	204	0,01	0,01	0,10	0,14	0,34	1,12
Andijvie	2	302	0,03	0,24	1,25	1,50	4,43	7,12
Appel	6	99	0,16	0,21	0,35	0,38	0,67	0,88
Asperge	4	4	0,07	0,07	0,11	0,12	0,20	0,19
Augurk	4	5	0,40	0,38	0,60	0,90	1,80	1,70
Bloemkool	4	4	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Boerenkool	2	65	0,01	0,10	3,73	3,97	8,37	12,87
Boon	4	10	0,12	0,12	0,19	0,26	0,90	0,90
Broccoli	4	1	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Courgette	4	1	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Doperwten	4	4	0,10	0,07	0,20	0,20	0,33	0,30
Gerst	5	96	0,01	0,05	0,25	0,33	1,00	1,40
Gras	7	185	0,04	0,53	1,80	2,11	4,34	9,80
Gras natuur	7	21	0,20	0,24	0,78	1,16	2,62	3,18
Haver	5	78	0,10	0,15	0,33	0,36	0,57	0,61
Komkommer	4	40	0,04	0,06	0,13	0,14	0,33	0,44
Kool	2	18	0,01	0,05	0,32	0,34	0,84	0,96
Mais	7	130	0,01	0,01	1,50	1,48	3,00	4,10
Prei	3	134	0,01	0,05	0,73	0,81	1,79	2,50
Rabarber	4	3	0,40	0,33	0,60	0,60	0,87	0,80
Radijs	3	8	0,30	0,30	0,56	0,65	1,12	1,11
Rode biet	3	68	0,16	0,16	0,39	0,57	1,44	3,79
Rogge	5	1	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
Schorseneer	3	13	0,14	0,15	0,42	0,47	1,14	1,19
Sla	2	535	0,03	0,27	1,40	2,25	6,58	(57,88) ¹
Spinazie	2	239	0,01	0,10	0,73	0,97	2,60	4,50
Suikerbiet	7	115	0,05	1,83	3,20	3,40	5,98	10,80
Tarwe	5	127	0,04	0,06	0,18	0,33	1,23	2,60
Tomaat	4	76	0,01	0,01	0,15	1,32	1,89	(54,64) ¹
Triticale	5	6	0,41	0,21	2,00	1,82	3,04	2,90
Ui	3	19	0,07	0,07	0,22	0,60	1,38	1,39
Wortel	3	168	0,01	0,17	0,46	0,53	1,18	2,80

¹ Sterk afwijkende waarde ten opzichte van de rest van de data uit het bestand, ook in relatie tot het loodgehalte in de bodem.

Bijlage 3: BCF-waarden per gewas

In deze bijlage staat een overzicht van de berekende BCF-waarden. Voor elk gewas zijn de minimum-, maximum-, gemiddelde en mediane waarden, het geometrisch gemiddelde en de 5 en 95 percentielwaarden van de BCF gegeven.

Tabel A3: Overzicht van de BCF-waarden per gewas.

Gewas	Minimum	5%	Mediaan	Geom. Gem.	Gemiddelde	95%	Maximum
Aardappel	0,000107	0,000354	0,00313	0,002472	0,00402	0,01143	0,025
Andijvie	0,00057	0,002989	0,01553	0,014689	0,02191	0,06334	0,2516
Appel	0,003077	0,005815	0,01289	0,012359	0,01423	0,02878	0,0544
Asperge	0,004792	0,004597	0,00855	0,008299	0,00939	0,01688	0,0157
Augurk	0,004902	0,004637	0,00842	0,008318	0,00898	0,01503	0,0143
Bloemkool	0,001869	0,001811	0,00295	0,003236	0,0038	0,00848	0,0074
Boerenkool	0,000444	0,003172	0,02556	0,021478	0,02955	0,06219	0,0982
Boon	0,000692	0,000692	0,00297	0,002427	0,00327	0,01026	0,0103
Broccoli	0,006667	0,006667	0,00667	0,006668	0,00667	0,00667	0,0067
Courgette	0,002381	0,002381	0,00238	0,002382	0,00238	0,00238	0,0024
Doperwten	0,001124	0,000915	0,00247	0,00257	0,00322	0,00793	0,0068
Gerst	0,000414	0,001298	0,00901	0,007413	0,01169	0,03085	0,07
Gras	0,001382	0,004326	0,02261	0,024434	0,04439	0,1744	0,26
Gras natuur	0,003082	0,003833	0,01692	0,018664	0,02445	0,05275	0,0561
Haver	0,003065	0,003569	0,01857	0,015776	0,02012	0,05217	0,0633
Komkommer	0,0005	0,000609	0,00314	0,00302	0,00538	0,02181	0,0447
Kool	0,000323	0,000764	0,00501	0,003981	0,00526	0,01171	0,0122
Mais	0,000118	0,000236	0,02773	0,020091	0,06568	0,24444	0,3727
Prei	0,000175	0,000928	0,00693	0,007638	0,01574	0,06667	0,125
Rabarber	0,008696	0,007701	0,01154	0,01122	0,01142	0,01491	0,014
Radijs	0,003764	0,003661	0,00625	0,006252	0,00657	0,0122	0,0117
Rode biet	0,000724	0,001085	0,00277	0,003083	0,00398	0,0097	0,0315
Rogge	0,010174	0,010174	0,01017	0,010162	0,01017	0,01017	0,0102
Schorseneer	0,004863	0,005298	0,01851	0,018493	0,02279	0,04891	0,0494
Sla	0,000384	0,002961	0,01913	0,019498	0,03994	0,13969	0,9567
Spinazie	0,000216	0,000954	0,02333	0,015524	0,02965	0,08111	0,26
Suikerbiet	0,001854	0,008543	0,06875	0,062951	0,11134	0,28094	1,2121
Tarwe	0,000174	0,001015	0,00567	0,005585	0,00815	0,02617	0,0367
Tomaat	0,000172	0,000319	0,00362	0,003334	0,03202	0,0453	1,461
Triticale	0,007994	0,006447	0,0201	0,019679	0,0221	0,04266	0,0403
Ui	0,000339	0,000495	0,00278	0,00354	0,00811	0,02689	0,0312
Wortel	0,000333	0,002821	0,02372	0,018707	0,02915	0,07151	0,185

BCF= het gehalte in de plant / gehalte in de bodem [in mg.kg⁻¹ droge stof].

Bijlage 4: Geometrisch gemiddelde BCF-waarde voor
verschillende gewassen en de consumptiegemiddelde BCF
waarde voor groenten

Gewasgroep	Gewas	Gewichts- factor %	Vocht Gehalte % van totaal	Geometrisch gemiddelde BCF [-]	Wel (1) of niet (0) gebruikt
Aardappel	aardappel	61,6	83,30	0,00247	1
Wortel en knolgewas	totaal groep	5,1		0,01439	1
	rode biet	1,3	87,30	0,00308	1
	wortel	3,4	87,80	0,01871	1
	knolselderij	0,2	88,00		0
	raap	0,1	91,90		0
	radijs	0,05	94,80	0,00625	0
	winterpeen	0,04	87,80		0
Bolgewas	totaal groep	7,7		0,00593	1
	uien	3,2	90,80	0,00354	1
	prei	4,5	83,00	0,00764	1
Vruchtgewas	totaal groep	5,0		0,00590	1
	tomaat	3,2	94,00	0,00333	1
	komkommer	0,6	96,10	0,00302	1
	meloen	0,5	89,70		
	mais	0,7	76,00	0,02009	1
Kool	totaal groep	7,6		0,01273	1
	bloemkool	2,5	92,30	0,00324	0
	spruitjes	1,3	86,00		0
	witte kool	0,7	95,30	0,00398	1
	rode kool	0,9	95,30	0,00398	1
	spitskool	0,2	95,30		0
	boerenkool	1,6	84,50	0,02148	1
	broccoli	0,4	90,70	0,00667	0
Bladgroenten	totaal groep	4,4		0,01622	1
	sla	0,8	95,40	0,01950	1
	andijvie	0,9	93,80	0,01469	1
	spinazie	1,8	91,60	0,01552	1
	witlof	0,9	95,30		0
Verse peulvruchten	totaal groep	6,9		0,00243	1
	sperziebonen	2,3	90,30	0,00243	1
	snijbonen	0,6	90,30		0
	tuinbonen	0,6	88,90		0
	tuinerwten	3,4	88,90	0,00257	0
Bonen	totaal groep	1,2		0,00000	0
	witte bonen	0,4	77,10		0
	bruine bonen	0,8	77,10		0
Stengelgroenten	totaal groep	0,4		0,00000	0
	rabarber	0,1	93,60		0
	asperge	0,3	92,30	0,00830	0
Aardappel groenten				0,0025	
	consumptiegemiddelde BCF-waarde			0,0091	

Bijlage 5: Afgeleide bodem-plantloodopnamemodellen

In de tabellen A5.1 tot en met A5.4 staan de coëfficiënten voor de verschillende parameters van de modellen. In totaal zijn er drie verschillende modellen onderzocht:

Model I: berekening van de BCF met alleen het loodgehalte in de bodem.

Model II: berekening van de BCF met het loodgehalte en de pH.

Model III: berekening van de BCF met het loodgehalte, organische stof en textuur.

Daarbij onderscheiden we de modellen per gewas en die per gewasgroep.

Tabel A5.1: Coëfficiënten voor de berekening van de BCF met het loodgehalte in de bodem (model I) en lood plus pH (model II) voor gewasgroepen.

	Model I		Model II		
	$R^2 = 0,48$; $se(Y)_{est}=0,44$		$R^2 = 0,65$; $se(Y)_{est}=0,33$		
Gewasgroep	Intercept	Pb	Intercept	Pb	pH
Aardappel	-1,511	-0,6859	-0,522	-0,8763	-0,0841
Bladgroente	-0,5767	-0,666	0,0214	-0,629	-0,1019
Bolgewassen	-0,907	-0,6672	0,636	-1,0027	-0,1159
Bonen/erwten	-0,939	-0,87	-0,62	-0,857	-0,048
Granen	-1,042	-0,7066	-0,255	-0,755	-0,1018
Kool	-2,753	0,442	-4,114	0,202	0,2802
Ruwvoer	0,0337	-0,9137	0,398	-0,9908	-0,0128
Stengelgewas	-2,301	0,202	-5,9	2,27	0,005
Vruchtgroente	-0,732	-0,9417	0,15	-1,1365	-0,0868
Wortelgewassen	-0,486	-0,9188	-0,049	-0,9339	-0,0589

Tabel A5.2: Coëfficiënten voor de berekening van de BCF met het loodgehalte in de bodem (model I) en lood plus pH (model II) voor individuele gewassen.

	Model I		Model II		
	$R^2 = 0.55$; $se(Y) = 0.41$		$R^2 = 0.72$; $se(Y) = 0.30$		
	Intercept	Pb	Intercept	Pb	pH
Aardappel	-1,511	-0,6859	-0,522	-0,8763	-0,0841
Andijvie	-0,886	-0,5103	-0,569	-0,4506	-0,0658
Appel	-0,517	-0,948	-0,252	-0,948	-0,0426
Asperge	3,53	-5,09	*	*	*
Augurk	-1,35	-0,37	-3,2	-0,514	0,324
Bloemkool	-0,7	-1	-0,7	-1	0
Boerenkool	-2,144	0,227	-1,392	-0,59	0,1614
Boon	-0,836	-0,916	-0,84	-0,916	0
Broccoli	-2,176	0	-2,176	0	0
Courgette	-2,623	0	-2,623	0	0
Doperwten	-1,09	-0,808	1,9	-0,809	-0,447
Gerst	-1,128	-0,671	-0,445	-0,9681	-0,015
Gras	0,002	-0,8778	0,484	-0,8985	-0,0612
Gras N	-0,95	-0,468	*	*	*
Haver	-0,331	-1,114	0,046	-1,143	-0,0576
Komkommer	-0,815	-1,055	-1	-1,046	0,025
Kool	-1,988	-0,229	-2,151	-0,807	0,188
Mais	0,178	-1,1759	0,579	-1,0418	-0,0472
Prei	-0,932	-0,6349	0,319	-1,0573	-0,0419
Rabarber	-5,8	2,24	-5,9	2,27	0,005
Radijs	-1,47	-0,373	-5,33	-0,289	0,49
Rode biet	-1,524	-0,458	-3,558	-0,141	0,1997
Rogge	-1,993	0	*	*	*
Schorseneer	-0,182	-1,157	*	*	*
Sla	-0,4951	-0,6661	-0,112	-0,6427	-0,0684
Spinazie	0,108	-1,1871	0,87	-1,0834	-0,136
Suikerbiet	0,318	-0,9049	-0,111	-0,9402	0,0793
Tarwe	-1,392	-0,5541	-0,319	-0,5944	-0,1414
Tomaat	-1,41	-0,634	-0,885	-1,064	0,02
Triticale	-3,26	0,82	2,36	-1,48	-0,172
Ui	-0,668	-0,916	-3,15	-0,768	0,296
Wortel	-0,482	-0,9102	0,03	-0,8673	-0,0803

Tabel A5.3: Coëfficiënten voor de berekening van de BCF met het loodgehalte in de bodem en bodemeigenschappen voor gewasgroepen (model III).

Model III – gewasgroep					
$R^2 = 0.70$; $se(Y) = 0.32$					
	Intercept	Pb	OM	Klei	pH
Aardappel	-0,584	-0,8417	-0,003	-0,118	-0,0641
Bladgroente	-0,186	-0,6965	0,3195	-0,1668	-0,0572
Bolgewassen	0,94	-0,719	-0,005	-0,995	-0,0697
Bonen/erwten	-0,3	-1,188	0,73	-0,531	0,036
Granen	0,182	-0,7039	-0,279	0,0261	-0,16
Kool	-3,37	-0,565	1,252	-0,737	0,3833
Ruwvoer	0,309	-0,9886	0,049	-0,0491	0,0031
Stengelgewas	-5,8	2,3	-0,1	0	0
Vruchtgroente	0,094	-0,9215	-0,6384	0,1565	-0,0893
Wortelgewassen	-0,497	-0,5675	-0,23	-0,3227	-0,0224

Tabel A5.4: Coëfficiënten voor de berekening van de BCF met het loodgehalte in de bodem en bodemeigenschappen voor individuele gewassen (model III).

Model III – gewassen					
$R^2 = 0.74$; $se(Y) = 0.29$					
	Intercept	Pb	OM	Klei	pH
Aardappel	-0,584	-0,8417	-0,003	-0,118	-0,0641
Andijvie	-0,519	-0,5579	0,262	-0,2576	-0,021
Appel	-0,258	-0,869	-0,153	-0,046	-0,0396
Asperge	*	*	*	*	*
Augurk	*	*	*	*	*
Bloemkool	*	*	*	*	*
Boerenkool	3,1	-0,72	-0,821	-0,834	-0,187
Boon	-1,01	-1,265	0,85	-1,167	0,257
Broccoli	*	*	*	*	*
Courgette	*	*	*	*	*
Doperwten	*	*	*	*	*
Gerst	0,016	-0,902	-0,465	-0,015	-0,0644
Gras	0,31	-0,8816	0,0994	-0,1431	-0,0273
Gras N	*	*	*	*	*
Haver	-0,175	-1,177	0,09	-0,067	-0,0159
Komkommer	-0,94	-0,924	-0,226	-0,068	0,029
Kool	-1,72	-1,507	1,44	-1,166	0,413
Mais	0,507	-1,056	0,072	-0,0118	-0,0371
Prei	0,271	-0,533	-0,504	-0,451	-0,0517
Rabarber	-5,9	2,27	*	*	0,005
Radijs	-2	-0,02	-0,57	-0,34	0,08
Rode biet	-2,32	-0,15	-0,178	-0,431	0,1243
Rogge	*	*	*	*	*
Schorseneer	*	*	*	*	*
Sla	-0,209	-0,7062	0,3272	-0,1319	-0,0503
Spinazie	0,446	-1,0521	0,09	-0,1614	-0,0651
Suikerbiet	-0,178	-0,968	0,174	-0,0856	0,0963
Tarwe	0,369	-0,5329	-0,383	0,216	-0,2604
Tomaat	-0,631	-0,981	-0,174	-0,151	0,005
Triticale	2,45	-1,38	-2,81	2,3	-0,46
Ui	-3,52	-0,562	-0,36	0,057	0,307
Wortel	-0,203	-0,6891	-0,169	-0,2595	-0,0525

Percentage variance accounted for 74.1.

Standard error of observations is estimated to be 0.290.

Voor een aantal gewassen is het aantal monsters te gering om een relatie af te leiden met vier verklarende variabelen (aangeduid met *).

Bijlage 6: Berekening van consumptiegemiddelde BCF op basis van BCF-model I

Metaal: lood.

BCF-model: $^{10}\log [\text{BCF}] = \text{constante} + a * ^{10}\log [\text{lood-bodem}]$.

Lood-bodemconcentratie: 500 mg kg⁻¹.

Bodemtype: niet relevant.

BCF niet gebruikt vanwege te weinig data: radijs, bloemkool, broccoli, erwten, asperge en rabarber.

Crop information				BCFs vegetables Pb				BCFs vegetable groups				
Crop group	Crop	Weighting factor	Moisture content	BCF dry weight	BCF wet weight	Model (1) or geom. mean (0)	Participation yes(1)/ no (0)	BCFcrop group dry weight		Weighting factor group	Participation group yes(1)/ no (0)	
		crop	%weight basis	Mixed model								
0	potatoes	potatoes	61.6	83.30	0.00074	0.00012	1	1	0.00074	61.6	1	
1	root vegetbales	beetroot	1.3	87.30	0.00222	0.00028	1	1	0.00307	5.09	1	
		carrots	3.4	87.80	0.00339	0.00041	1	1				
		celeriac	0.2	88.00								
		turnip	0.1	91.90								
		radish	0.05	94.80								
	5.09	winter carrot	0.04	87.80								
2	bulbous crops	onions	3.2	90.80	0.00129	0.00012	1	1	0.00208	7.7	1	
		7.70 leek	4.5	83.00	0.00264	0.00045	1	1				
3	fruit vegetables	tomato	3.2	94.00	0.00138	0.00008	1	1	0.00147	5.0	1	
		cucumber	0.6	96.10	0.00076	0.00003	1	1				
		melon	0.5	89.70								
		5.00 maize	0.7	76.00	0.00250	0.00060	1	1				
4	cabbages	cauliflower	2.5	92.30	0.00290	0.00014	1	1	0.01219	7.6	1	
		brussels sprout	1.3	86.00								
		white cabbage	0.7	95.30								
		red cabbage	0.9	95.30								
		oxheart cabbage	0.2	95.30								
		7.60	curly kale	1.6								84.50
		broccoli	0.4	90.70								
5	leafy vegetables	lettuce	0.8	95.40	0.00763	0.00035	1	1	0.00471	4.4	1	
		endive	0.9	93.80	0.00753	0.00047	1	1				
		spinach	1.8	91.60	0.00200	0.00017	1	1				
		4.4	chicory	0.9	95.30							
6	legumes	green beans	2.3	90.30	0.00088	0.00009	1	1	0.00088	6.9	1	
		string/bush bean	0.6	90.30								
		broad/horse/fav.	0.6	88.90								
		6.9	garden peas	3.4								88.90
7	beans	haricot bean	0.4	77.10						1.2	0	
		1.2	kidney beans	0.8								77.10
8	stem and stalk vegeta	rhubarb	0.1	93.60						0.4	0	
		0.4	asparagus	0.3								92.30
								15				
metaal	Lood							BCFpotatoes: group 0	BCFall vegetables group 1 t/m 8	BCF overall:		
BCF model	$^{10}\log [\text{BCF}] = \text{Constante} + a * ^{10}\log [\text{Lood-bodem}]$											
Bodem lood mg/kg	500					consumption weighted average BCF		0.000737	0.004317	0.00207		

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl