

**RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU  
BILTHOVEN**

**Rapportnr. 601014 013**

**De accumulatie van zeldzame aardmetalen  
in planten.**

Een literatuurstudie.

M.G.J. Rikken

december 1995

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht en ten laste van het Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Veiligheid en Straling, in het kader van projectnummer 601014, "Bestaande Stoffen".

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven, tel. 030-2749111 fax 030-2742971

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titel            | <b>De accumulatie van zeldzame aardmetalen in planten</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Trefwoorden      | <b>Zeldzame aardmetalen</b> , zeldzame aarden, lanthaniden, scandium (Sc), yttrium (Y), lanthaan (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodymium (Nd), promethium (Pm), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb), lutetium (Lu), BCF, bioconcentratiefactor, accumulatie |
| Datum publikatie | December 1995                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Opdrachtgever    | Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Veiligheid en Straling, afdeling Normstelling (VROM/DGM/SVS/N)                                                                                                                                                                            |
| Projectleider    | Dr. C.W.M. Bodar (ACT)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Auteur           | Drs. M.G.J. Rikken (ACT)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Adviseurs        | Drs. J.A. Janus (ACT)<br>Ir. J.B.H.J. Linders (ACT)<br>Dr. ir. M. van den Hoop (LAC)<br>Ir. A. van der Linden (LBG)                                                                                                                                                                                                                                                   |

**VERZENDLIJST**

- 1 Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Stoffen, Veiligheid en Straling,  
dr. C.M. Plug (VROM/DGM/SVS)
- 2 Plv. Directeur-Generaal Milieubeheer, dr. ir. B.C.J. Zoeteman (VROM/DGM)
- 3-7 Directie Stoffen, Veiligheid en Straling, Afd. Normstelling, d.t.v. Prof. dr. C.J. van  
Leeuwen (VROM/DGM)
- 8-10 Directie Stoffen, Veiligheid en Straling, Afd. Stoffen, d.t.v. Ir. M. Bovenkerk  
(VROM/DGM)
- 11-13 Directie Bodem, d.t.v. Drs. C.A.J. Denneman (VROM/DGM)
- 14-16 Directie Drinkwater, Water, Landbouw, d.t.v. Drs. M. v.d. Gaag (VROM/DGM)
- 17 Technische Commissie Bodembescherming (VROM)
- 18 Dr. ir. H. de Heer (LNV)
- 19 Ir. P.R. Mertens (Kemira Pernis BV)
- 20 Depot van Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
- 21 Directie RIVM
- 22 Sectordirecteur Stoffen en Risico's
- 23 Sectordirecteur Milieuonderzoek
- 24 Sectordirecteur Toekomstverkenningen
- 25 Hoofd Adviescentrum Toxicologie
- 26 Hoofd Laboratorium voor Bodem- en Grondwateronderzoek
- 27 Hoofd Laboratorium voor Afvalstoffen en Emissies
- 28 Dr. C.W.M. Bodar (RIVM/ACT)
- 29 Drs. T.G. Vermeire (RIVM/ACT)
- 30-34 Auteurs
- 35 Hoofd Afdeling Voorlichting en Public Relations
- 36-37 Bibliotheek RIVM
- 38 Bibliotheek ACT
- 39 Bibliotheek LAE
- 40 Bibliotheek LBG
- 41 Archief Aandachtstoffen RIVM/ACT
- 42 Bureau Rapportenregistratie
- 43-62 Reserve exemplaren, t.b.v. Bureau Rapportenbeheer

## INHOUDSOPGAVE

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| VERZENDLIJST .....                                     | 3  |
| INHOUDSOPGAVE .....                                    | 4  |
| ABSTRACT .....                                         | 6  |
| SAMENVATTING .....                                     | 7  |
| 1. INLEIDING .....                                     | 9  |
| 2. STOFKENMERKEN EN ACHTERGRONDGEHALTEN .....          | 11 |
| 3. FACTOREN DIE DE ACCUMULATIE BEÏNVLOEDEN .....       | 15 |
| 3.1 Bodemfactoren .....                                | 15 |
| 3.1.1 Oplosbaarheid .....                              | 15 |
| 3.1.2 Partitiecoëfficiënt .....                        | 15 |
| 3.1.3 Klei en organische stof .....                    | 16 |
| 3.1.4 Zuurgraad (pH) .....                             | 16 |
| 3.1.5 Chelaat- en complexvormers .....                 | 17 |
| 3.1.6 Kunstmest .....                                  | 17 |
| 3.2 Plantfactoren .....                                | 17 |
| 3.2.1 Plantesoort .....                                | 17 |
| 3.2.2 Calciumgehalte in de plant .....                 | 18 |
| 3.2.3 Ionstraal .....                                  | 18 |
| 3.2.4 Fytotoxiciteit .....                             | 19 |
| 4. GEHALTEN IN PLANTEN EN BCF-WAARDEN .....            | 21 |
| 4.1 Gehalten van zeldzame aardmetalen in planten ..... | 21 |
| 4.2 Bioconcentratiefactoren (BCF) .....                | 24 |
| 4.5 Relatie tussen gehalten in planten en bodem .....  | 30 |
| 5. CONCLUSIES .....                                    | 31 |
| REFERENTIES .....                                      | 33 |

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| BIJLAGE 1. Online zoekprofielen .....                                                               | 37 |
| BIJLAGE 2. Achtergrondgehalten van zeldzame aardmetalen in de bodem<br>(mg.kg <sup>-1</sup> ) ..... | 39 |
| BIJLAGE 3. Gehalten van ZA in bodem en planten .....                                                | 41 |

## ABSTRACT

This report summarizes literature data on the accumulation of rare earth metals (RE) in plants, as a part of the investigation of data on the transfer of RE in the chain artificial fertilizers → soil → crops → livestock and man. The concentration and accumulation in plants can differ as a consequence of both plant factors and soil factors. The concentrations in plants (dry weight) of RE are in general low:  $< 0.2 \text{ mg.kg}^{-1}$  for root- and leaf vegetables,  $< 0.05 \text{ mg.kg}^{-1}$  in most fruits and  $< 1 \text{ mg.kg}^{-1}$  in herbs/grasses. Bioconcentration factors (BCF) for RE are usually within the range of  $1 \times 10^{-3}$  to  $1 \times 10^{-1}$  for feed crops and  $1 \times 10^{-4}$  to  $1 \times 10^{-2}$  for food crops, indicating a low accumulation potential, especially in food crops.

## SAMENVATTING

Dit rapport bevat de resultaten van een literatuuronderzoek naar de accumulatie van zeldzame aardmetalen (ZA) in planten, als onderdeel van een inventariserend onderzoek naar de overdracht van ZA in de keten kunstmest → bodem → plant → vee en mens. De gehalten in planten kunnen sterk verschillen, waarbij zowel plantfactoren als bodemfactoren het gehalte bepalen. De gehalten (drooggewicht) van zeldzame aardmetalen in planten zijn over het algemeen laag:  $< 0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$  voor wortel- en bladgroenten,  $< 0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$  in de meeste vruchten en  $< 1 \text{ mg.kg}^{-1}$  in kruiden/grassen. Verder blijkt dat ZA in geringe mate worden geaccumuleerd in gewassen. De op grond van de gegevens voor (vee)voedergewassen bepaalde bioconcentratiefactoren (BCF) liggen meestal tussen de  $1 \times 10^{-3}$  en  $1 \times 10^{-1}$ . Voor voedingsgewassen liggen de meeste BCF-waarden tussen de  $1 \times 10^{-4}$  en  $1 \times 10^{-2}$ , een factor 10 lager dan die voor voedergewassen.





## 1. INLEIDING

De zeldzame aardmetalen (ZA) omvatten een groep van 17 elementen die van nature voorkomen in de aardkorst en, door verwerking, in oppervlaktewater en grondwater. De groep bestaat uit de zogenaamde lanthaniden (atoomnummers 57 t/m 71), scandium (atoomnummer 21) en yttrium (atoomnummer 39), zie tabel 2.1. Zeldzame aardmetalen worden voornamelijk toegepast in de metallurgische industrie, als kraakkatalysator in de olieraffinage, in glas en keramische producten, lampen en elektronica. Deze groep stoffen komen vrij bij fosfaatertsverwerkende industrieën zoals kunstmest- en veevoerproducerende bedrijven. De kunstmest- en katalysatorindustrie zijn de belangrijkste emissiebronnen naar lucht en water. Bij de kunstmestindustrie is niet alleen de productieactiviteit, maar ook de op- en overslag een emissiebron. De emissie van zeldzame aardmetalen is sterk afhankelijk van de gebruikte ertsen. De agrarische sector is een andere belangrijke emissiebron van zeldzame aardmetalen, wanneer fosfaathoudende kunstmest wordt gebruikt. Fosfaathoudend kunstmest bevat kleine hoeveelheden zeldzame aardmetalen. Het gebruik van kunstmest is waarschijnlijk de belangrijkste emissiebron voor de bodem (Slooff et al., 1993).

In 1993 werd door het RIVM een scopingrapport over zeldzame aardmetalen uitgebracht (Slooff et al., 1993). Hierin werd op basis van een beperkt literatuuronderzoek gesteld dat er geen nationale of internationale gegevens zijn over ZA gehalten in drinkwater en voeding, zodat een risicobeoordeling voor blootstelling van de mens via het dieet niet mogelijk is. Om die reden werd aanbevolen nader onderzoek uit te voeren naar de blootstelling via het dieet, waarbij met betrekking tot de blootstelling via de voeding aandacht zou moeten worden besteed aan de overdracht van ZA in de keten kunstmest → bodem → plant → vee en mens. Voor de resultaten van dit inventariserend onderzoek naar de overdracht van ZA in de keten, uitgevoerd door het Adviescentrum Toxicologie en het Laboratorium voor Afvalstoffen en Emissies, wordt verwezen naar Janus et al. (1995). In het onderhavige rapport wordt een overzicht gegeven van de resultaten van de literatuurstudie naar de accumulatie van ZA in planten, uitgevoerd als onderdeel van bovengenoemde ketenstudie. In dit rapport worden eerst de belangrijkste factoren behandeld die de accumulatie beïnvloeden, waarna de gehalten in planten en BCF-waarden worden beschreven.

Voor zeldzame aardmetalen en de accumulatie in planten was weinig literatuur beschikbaar in de RIVM bibliotheken, waardoor op cd-rom en *online* naar literatuur is gezocht. Er is gezocht naar referenties met als onderwerp: gehalten van zeldzame aardmetalen in planten (of BCF-waarden) en gehalte in bijbehorende bodems. De geraadpleegde *online*-bestanden waren: Biosis en CAB abstracts. De gebruikte zoekprofielen zijn vermeld in bijlage 1.

De gehalten van zeldzame aardmetalen in bodem en in planten zijn in dit rapport gebaseerd op droge-stofgehalten (d.w.), tenzij expliciet vermeld staat dat het gehalte gebaseerd is op het versgewicht (w.w.). Ten behoeve van het bepalen van biologische concentratiefactoren (hoofdstuk 4) zijn de versgewicht gehalten van groenten omgerekend naar droge-stof gehalten met behulp van vochtpercentages van groenten (Bockting en v.d. Berg, 1992).

## 2. STOFKENMERKEN EN ACHTERGRONDGEHALTEN

De zeldzame aardmetalen omvatten een groep van 17 elementen uit het periodiek systeem met overeenkomstige eigenschappen. De 15 elementen met atoomnummer 57 tot 71 worden lanthaniden genoemd. Verder behoren scandium en yttrium tot de zeldzame aardmetalen (zie tabel 2.1). De lanthaniden lijken onderling sterk op elkaar voor wat betreft hun chemische gedrag. Zeldzame aardmetalen komen van nature voor in de bodem en het is niet uitgesloten dat de concentraties in het grondwater worden bepaald door het evenwicht tussen de vaste en vloeibare fase (Verweij et al., 1994). In het Engels wordt deze groep van stoffen *rare earths*, *rare-earth elements*, *rare-earth metals* of *lanthanides* genoemd.

Tabel 2.1 Lijst van zeldzame aardmetalen (Slooff et al., 1993; Verweij et al., 1994)

| Naam                | Symbool | CAS-nummer | Atoomnr. | Atoommassa |
|---------------------|---------|------------|----------|------------|
| Scandium            | Sc      | 7440-20-2  | 21       | 45,0       |
| Yttrium             | Y       | 7440-65-5  | 39       | 88,9       |
| <u>Lanthaniden:</u> |         |            |          |            |
| Lanthaan            | La      | 7439-91-0  | 57       | 138,9      |
| Cerium              | Ce      | 7440-45-1  | 58       | 140,1      |
| Praseodymium        | Pr      | 7440-10-0  | 59       | 140,9      |
| Neodymium           | Nd      | 7440-00-8  | 60       | 144,2      |
| Promethium*         | Pm      | 7440-12-2  | 61       | 145**      |
| Samarium            | Sm      | 7440-19-9  | 62       | 150,4      |
| Europium            | Eu      | 7440-53-1  | 63       | 152,0      |
| Gadolinium          | Gd      | 7440-54-2  | 64       | 157,3      |
| Terbium             | Tb      | 7440-27-9  | 65       | 158,9      |
| Dysprosium          | Dy      | 7429-91-6  | 66       | 162,5      |
| Holmium             | Ho      | 7440-60-0  | 67       | 164,9      |
| Erbium              | Er      | 7440-52-0  | 68       | 167,3      |
| Thulium             | Tm      | 7440-30-4  | 69       | 168,9      |
| Ytterbium           | Yb      | 7440-64-4  | 70       | 173,0      |
| Lutetium            | Lu      | 7439-94-3  | 71       | 175,0      |

\*) Promethium is instabiel en ontstaat alleen spontaan bij natuurlijke nucleaire splijting in uraniumerts

\*\*) Isotoop met atoommassa 145 is de meest stabiele

Gehalten van lanthaniden in bodems zijn over het algemeen gelijk aan die van het moedermateriaal, maar er is weinig bekend over de vorm en de beschikbaarheid van deze elementen in de bodem. De beschikbaarheid van lanthaan en cerium in de bodem is laag en aangenomen wordt dat andere lanthaniden een gelijke beschikbaarheid hebben. In het

scopingdocument (Slooff et al., 1993) zijn maar voor enkele zeldzame aardmetalen (achtergrond)gehalten gegeven voor Nederlandse bodems. Voor de lanthaniden zijn daarom in dit rapport de natuurlijke achtergrondgehalten gebruikt die zijn bepaald uit verzamelde literatuurgegevens door Coughtrey en Thorne (1983) (tabel 2.2). De gehalten voor Nederlandse bodems vallen binnen de variatie van de gehalten uit het onderzoek van Coughtrey en Thorne (zie bijlage 2). De natuurlijke achtergrondgehalten voor scandium en yttrium zijn gemiddelde gehalten, die bepaald zijn uit onderzoeksgegevens afkomstig uit gebieden die geïsoleerd zijn van stedelijke en industriële emissiebronnen (tabel 2.2). In bijlage 2 zijn verder nog de gemiddelde bodemgehalten over de gehele wereld vermeld die berekend zijn door verschillende auteurs (Kabata-Pendias en Pendias, 1992).

Tabel 2.2      *Natuurlijke achtergrondgehalten in de bodem*

|                                   |              |                         |               |
|-----------------------------------|--------------|-------------------------|---------------|
| 21.                               | scandium     | 5 mg.kg <sup>-1</sup>   | <sup>1)</sup> |
| 39.                               | yttrium*     | 22 mg.kg <sup>-1</sup>  | <sup>2)</sup> |
| <u>Lanthaniden: <sup>3)</sup></u> |              |                         |               |
| 57.                               | lanthaan**   | 30 mg.kg <sup>-1</sup>  |               |
| 58.                               | cerium**     | 50 mg.kg <sup>-1</sup>  |               |
| 59.                               | praseodymium | 8 mg.kg <sup>-1</sup>   |               |
| 60.                               | neodymium**  | 30 mg.kg <sup>-1</sup>  |               |
| 61.                               | promethium   | -                       |               |
| 62.                               | samarium     | 6 mg.kg <sup>-1</sup>   |               |
| 63.                               | europium     | 1 mg.kg <sup>-1</sup>   |               |
| 64.                               | gadolinium*  | 5 mg.kg <sup>-1</sup>   |               |
| 65.                               | terbium      | 0,8 mg.kg <sup>-1</sup> |               |
| 66.                               | dysprosium   | 4 mg.kg <sup>-1</sup>   |               |
| 67.                               | holmium      | 1 mg.kg <sup>-1</sup>   |               |
| 68.                               | erbium       | 3 mg.kg <sup>-1</sup>   |               |
| 69.                               | thulium      | 0,5 mg.kg <sup>-1</sup> |               |
| 70.                               | ytterbium    | 3 mg.kg <sup>-1</sup>   |               |
| 71.                               | lutetium     | 0,5 mg.kg <sup>-1</sup> |               |

\* Kandidaat aandachtstof

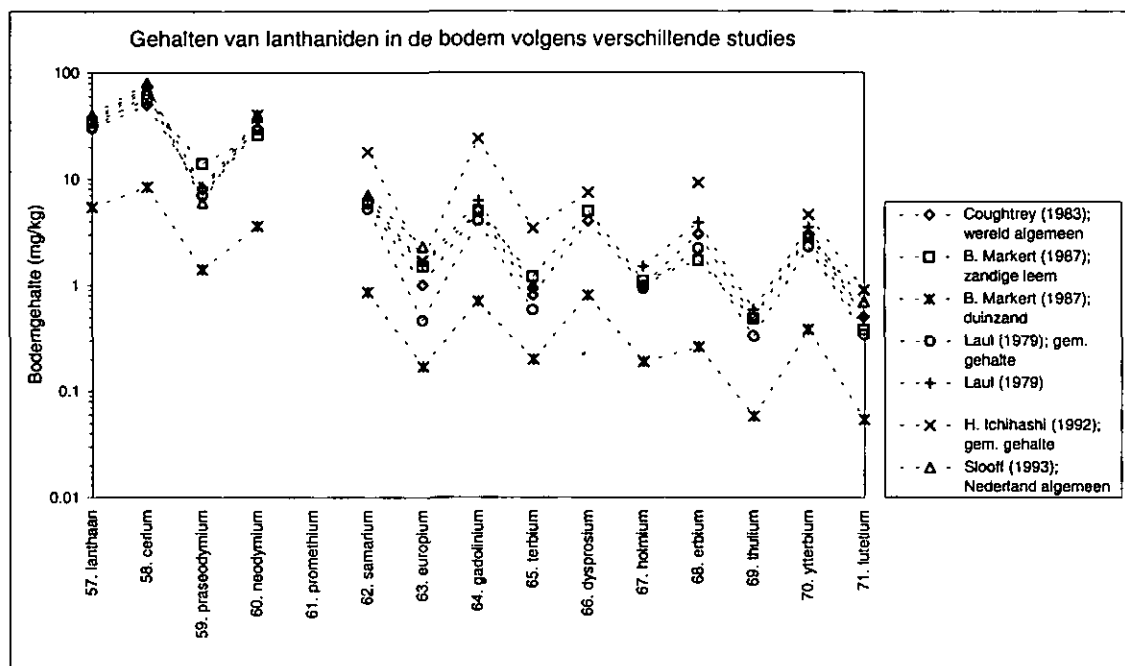
\*\* Aandachtstof 1994

1) Ichihashi et al., 1992; Laul et al., 1979; Horovitz et al., 1974; Slooff et al., 1993

2) Ichihashi et al., 1992; Kabata-Pendias en Pendias, 1992

3) Coughtrey en Thorne, 1983

Uit verschillende studies blijkt dat lanthaniden een eigenaardige natuurlijke verdeling in de bodem hebben. De elementen met een even atoomnummer komen in hogere gehalten voor dan hun aangrenzende elementen met oneven atoomnummers (zie fig. 1). Bovendien neemt de hoeveelheid van de lanthanide-elementen met een even atoomnummer lineair af met toenemend atoomnummer (Markert, 1987).



figuur 1.

**Gehalten van lanthaniden in de bodem**

(De gestippelde lijnen zijn alleen aangebracht voor het verduidelijken van de natuurlijke verdeling in de bodem)



### **3. FACTOREN DIE DE ACCUMULATIE BEÏNVLOEDEN**

Een inventarisatie van literatuurgegevens over de bodem- en plantfactoren die de accumulatie van sporenmetalen in groenten beïnvloeden is gerapporteerd door Bockting en v.d. Berg (1992). In dit hoofdstuk worden de belangrijkste factoren besproken die van invloed zijn op de accumulatie van zeldzame aardmetalen in planten.

#### **3.1 Bodemfactoren**

Alleen vanuit de bodemoplossing kan een plant via de wortels een stof opnemen. Vaste bestanddelen komen beschikbaar voor de plant als deze eerst zijn overgegaan in de bodemoplossing. In deze paragraaf worden de belangrijkste bodemfactoren genoemd die de concentratie en mobiliteit van zeldzame aardmetalen in de bodemoplossing kunnen bepalen.

##### **3.1.1 Oplosbaarheid**

De meeste zeldzame aardmetalen zijn slecht oplosbaar in water. De oplosbaarheid is een factor die het verdelingspatroon kan bepalen van zeldzame aardmetalen in de bodem en hun opname door planten. Volgens evenwichtsberekeningen blijkt dat met name carbonaat een belangrijke rol speelt in het bepalen van de oplosbaarheid. Ook fosfaat blijkt van belang, maar de literatuurgegevens over fosfaatcomplexen en -neerslagen van zeldzame aardmetalen zijn vrij gering in aantal (Verweij et al., 1994). Andere referenties vermelden voor aquatische systemen met een pH van 5-8 dat  $M(OH)_3$  ( $M$  = lanthanide) wordt gevormd en dat het oplosbaarheidsprodukt varieert van lanthaan ( $1 \times 10^{-19}$ ) tot lutetium ( $2,5 \times 10^{-24}$ ) (Laul et al., 1979). Het oplosbaarheidsprodukt van zeldzame aardmetalen vertoont echter geen gelijkmatige functie met hun ionstraal. Dit kan er op wijzen dat zeldzame aardmetalen opgenomen worden via verschillende chelaatsystemen (zie §3.1.5), waarbij de hydroxyde oplosbaarheidsprodukten niet van toepassing zijn (Laul et al., 1979).

##### **3.1.2 Partitiecoëfficiënt**

De partitiecoëfficiënt ( $K_p$ ) is gedefinieerd als de ratio van de gesorbeerde hoeveelheid stof in de vaste fase en de bijbehorende evenwichtsconcentratie in de oplossing. Over het algemeen blijkt de partitiecoëfficiënt voor metalen af te nemen met een stijgende

concentratie in de waterfase (Bockting en v.d. Berg, 1992). In Coughtrey en Thorne (1983) wordt voor cerium een partitiecöefficient ( $K_p$ ) voor de bodem vermeld van  $2000 \text{ l.kg}^{-1}$ . Het concentratiegebied van cerium in de oplossing wordt in deze studie niet vermeld. Uit een kolomproef, met een bodemkolom van 1,9 meter, blijkt dat het meeste cerium na vier maanden in de bovenste bodemlagen aanwezig is (Kuhn et al. uit: Coughtrey en Thorne, 1983). Dit kan er op wijzen dat cerium sterk aan de bodem gebonden wordt. Over het algemeen zal slechts een klein gedeelte van cerium of de vergelijkbare andere zeldzame aardmetalen in de bodemoplossing blijven.

### 3.1.3 Klei en organische stof

Kleimineralen, of silikaatmineralen in het algemeen, en organische stof zijn goed in staat om kationen zoals zeldzame aardmetalen te adsorberen (Bockting en v.d. Berg, 1992). Volgens Coughtrey en Thorne (1983) zal de beschikbaarheid van lanthaniden voor wortelopname toenemen bij kleinere hoeveelheden organisch materiaal in de bodem. Wanneer cerium aan grond wordt toegevoegd, mag worden aangenomen dat het grootste gedeelte (>95%) zich snel bindt aan kleimineralen en oplosbare en onoplosbare colloïdale organische complexen (Coughtrey en Thorne, 1983).

### 3.1.4 Zuurgraad (pH)

Bij een daling van de pH wordt verwacht dat de concentratie van metalen (kationen) in de oplossing zal toenemen (Bockting en v.d. Berg, 1992). Volgens Coughtrey en Thorne (1983) is het nog onduidelijk of de beschikbaarheid voor wortelopname van lanthaniden beïnvloed wordt door de zuurgraad. Uit onderzoek is geen concluderend bewijs gevonden voor de relatie tussen de pH van verschillende bodems en de opname van cerium en promethium in haver. Dit doet vermoeden dat het kleigehalte of organische stofgehalte voor zeldzame aardmetalen belangrijkere factoren kunnen zijn dan de pH (Cummings en Bankert, 1971). Andere gegevens voor de opname van cerium in doperwten laten de volgende relatieve absorpties zien, waarbij pH 7 gelijk is gesteld aan 1.

pH 4    201

pH 5    73

pH 7    1

pH 8,5 2

In dit onderzoek neemt de opnamehoeveelheid toe met afnemende pH (Scott-Russell, uit: Coughtrey en Thorne, 1983).



### 3.1.5 Chelaat- en complexvormers

Chelatie is het proces waarbij een (zeldzaam aard-)metaalion gebonden wordt door delen van moleculen (liganden), waarbij meer dan één atoom bij de binding de elektronen levert. Dit in tegenstelling tot complexatie waarbij het strikt genomen om één atoom gaat die bij de binding de elektronen levert. Vloeistoffen in de worteldelen van een plant bevatten hoge gehalten organische zuren en aminozuren die stoffen kunnen cheleren. Door het toevoegen van de chelaatvormers DTPA of CDTA aan de bodem wordt het ceriumgehalte 1,2 tot 16 keer groter in de plant, waarbij de grootste toename in de stengel plaats vindt. De chelaatvormer EDDHA veroorzaakt een afname van cerium in het blad, in het fruit en in de stengel en een geringe toename in de wortels (Coughtrey en Thorne, 1983). De gehalten in de plant van promethium worden aanzienlijk hoger (factor 20-2000) door het toevoegen van een chelaatvormer (DTPA) aan de bodem (Coughtrey en Thorne, 1983).

### 3.1.6 Kunstmest

In een onderzoek van Cummings en Bankert (1971) is de invloed van aan de bodem toegevoegde stikstof-, fosfor- en kaliumkunstmest bepaald op de opname van promethium in haverplanten. De bemesting met stikstof of kalium veroorzaakt een toename van de promethium opname in planten van achtereenvolgens 1,9 keer en 1,2 keer. Door het gecombineerde effect van stikstof en kalium is de opname 3,2 keer groter dan in de situatie zonder bemesting. Fosforbemesting veroorzaakt geen significant effect in de opname van promethium.

## 3.2 Plantfactoren

Planten kunnen aanzienlijk verschillen in de opname van nutriënten en andere stoffen uit de bodem. Daarnaast kunnen plaats- en tijdgebonden factoren de stofopname van planten bepalen. Het aantal gegevens over de opname en accumulatie van zeldzame aardmetalen in planten is zeer beperkt en de gehalten in planten verschillen sterk (zie: bijlage 3).

### 3.2.1 Plantesoort

Uit eerdere onderzoeken blijkt dat de plantesoort een belangrijke factor is voor de accumulatie van elementen. Hoge zeldzame aardmetalen gehalten zijn gevonden in

loofverliezende varens en lage gehalten in altijd groene planten. Er blijkt geen relatie te zijn tussen het zeldzame aardmetaal gehalte in het blad en de leeftijd van het blad. Hieruit is geconcludeerd dat het transport van zeldzame aardmetalen naar de bladeren relatief snel verloopt (Ichihashi et al., 1992). Er zijn geen gegevens beschikbaar over de relatie tussen het groeistadium en de accumulatie van zeldzame aardmetalen in planten.

Door Wilkinson en Duncan (1992) is de opname van extraheerbaar  $\text{Sc}^{3+}$  door de wortels van kafferkoren (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) onderzocht. Voor de totale opname zijn, op één meting na, geen verschillen gevonden tussen de drie verschillend gekweekte vormen van kafferkoren, bij pH waarden die varieerden van 4,0 tot 6,0. Bij één gekweekte vorm was de opname alleen bij een pH van 4,5 significant lager dan bij de ander vormen. De wortels van de verschillend gekweekte vormen van kafferkoren variëren wel in capaciteit om  $\text{Sc}^{3+}$  geadsorbeerd te houden, na een spoeling met water en EDTA (chelaatvormer). Dit verschil zal iets van de variatie verklaren in de pH-gevoeligheid tussen de verschillende kweekvormen voor wat betreft de bodem (Wilkinson en Duncan, 1992).

### 3.2.2 Calciumgehalte in de plant

Volgens Linsalata et al. (1989a) is er een sterke correlatie tussen de calciumgehalten in plantmateriaal en de biologische concentratiefactoren (BCF) van lanthaan. BCF-waarden worden omschreven in hoofdstuk 4. De gemiddelde BCF-waarden hebben op verschillende locaties een hoge lineaire correlatiecoëfficiënt ( $r = 0,65-0,98$ ) voor lanthaan. Het ijzer- en fosforgehalte van een plant is niet tot nauwelijks gecorreleerd met de BCF-waarden voor lanthaan ( $r \leq 0,27$ ). Gewassen met een hoog koolhydraatgehalte, zoals maïs en aardappel, bevatten relatief lage calciumgehalten en overeenkomstige BCF-waarden. Yttrium gedraagt zich als calcium in planten en verplaatst zich nauwelijks als het eenmaal is aangekomen in een bepaald plantendeel.

### 3.2.3 Ionstraal

Uit de studie van Laul et al. (1979) blijkt het zeldzame aardmetalen-patroon gerelateerd te zijn aan de ionstraal. Alle onderzochte gewassen vertonen hetzelfde zeldzame aardmetalen-patroon. De mogelijkheid kan daarom niet worden uitgesloten dat zeldzame aardmetalen selectief worden opgenomen door planten op een manier die eruit zal zien als een gelijkmatige functie van de ionstraal. Deze relatie wordt niet kwantitatief onderbouwd. De ionstraal is daarom niet bruikbaar voor het bepalen van de plantopname van bijvoorbeeld alle zeldzame aardmetalen, als er gegevens bekend zijn van minimaal één zeldzame aardmetaal.

### **3.2.4 Fytotoxiciteit**

In de beperkte literatuur wordt geen melding gemaakt van zeldzame aardmetalingehalten in gewassen die een verminderde groei of opbrengst tot gevolg hebben, of waarvan de uiterlijke kwaliteit verslechterd is.



#### 4. GEHALTEN IN PLANTEN EN BCF-WAARDEN

In dit hoofdstuk zijn de gegevens vermeld voor wat betreft de opname en het gehalte van zeldzame aardmetalen in wilde planten, voedings- en veevoedergewassen. Voor het beschrijven van de overdracht van ZA van bodem naar plant zijn verder experimentele gegevens met betrekking tot de biologische concentratiefactoren (BCF) bijeengebracht. Biologische concentratiefactoren worden gebruikt voor de overdracht van stoffen van bodem naar plant (v.d. Berg, 1991). De BCF is in dit rapport gedefinieerd als het zeldzame aardmetaalgehalte in de plant ( $\text{mg.kg}^{-1}$  droge-stof) gedeeld door het zeldzame aardmetaalgehalte in de bodem ( $\text{mg.kg}^{-1}$  droge-stof). Doordat in geen enkele studie de pH of het organische stofgehalte van de bodem is vermeld, zijn de BCF-waarden hiervoor niet gecorrigeerd.

##### 4.1 Gehalten van zeldzame aardmetalen in planten

De gehalten in planten kunnen sterk verschillen, waarbij zowel plantfactoren als bodemfactoren het gehalte bepalen. Bij onderstaande gegevens moet worden opgemerkt dat slecht in een enkele studie staat vermeld dat er rekening is gehouden met uitwendige verontreiniging van de plant; bij de overige studies is dit onduidelijk. De gehalten in planten kunnen daardoor zijn overschat.

Vanuit de (haar)wortels van een plant worden stoffen achtereenvolgens naar de stelen, de bladeren en dan naar de opslagorganen zoals knollen, wortels, vruchten of zaden getransporteerd. De opname en verplaatsing (translocatie) van cerium in planten is het resultaat van bodem- en plantfactoren. Uit experimenten met rijst en haver, geteeld op verschillende bodems, blijkt dat maximaal 0,01% tot 0,001% van cerium opgenomen zal worden door de bovengrondse delen. De lage gehalten in planten worden vooral veroorzaakt door de beperkte beschikbaarheid van lanthaniden voor planten vanuit de bodem (Coughtrey en Thorne, 1983). Door de grote gelijkenis in chemisch gedrag van lanthaniden en het ontbreken van gegevens die het tegendeel beweren, mag worden aangenomen dat de translocatiegegevens van cerium in planten toegepast mogen worden op alle andere lanthaniden (Coughtrey en Thorne, 1983).

Volgens Coughtrey en Thorne (1983) en Linsalata et al. (1989a) zijn er aanwijzingen dat geaccumuleerde lanthaniden vooral in de wortels van planten aanwezig zijn. Bij de opname van cerium en promethium via de wortels blijkt dat slechts een klein gedeelte naar andere plantendelen wordt verplaatst en dat het grootste gedeelte in de wortels blijft. Voor bonen

die groeien op een bodem met toegevoegd cerium zijn de verdelingspercentages van cerium in de plant voor de wortels, bladeren, stam en vrucht achtereenvolgens 76%, 14%, 8% en 2%. Alleen in wortelgewassen, zoals radijs en wortels, zijn de gehalten in het blad hoger dan in de wortel. Ook Linsalata et al. (1989a) vindt ditzelfde resultaat voor wortelgewassen. Voor enkele gewassen worden in tabel 4.1 concentratieratio's voor cerium gegeven tussen verschillende plantendelen. Voor de meeste gewassen blijkt dat voor de bovengrondse delen cerium voornamelijk is geconcentreerd in de bladeren en dat de gehalten in de stelen, vruchten of zaden aanzienlijk lager zijn. Over het algemeen mag worden aangenomen dat 20% van cerium, dat wordt opgenomen via de wortels, wordt verplaatst naar de bovengrondse delen, en dat slechts 10% van deze fractie uiteindelijk in de granen, vruchten of zaden terecht komt. Berekeningen wijzen verder uit dat 64% van het geaccumuleerde promethium aanwezig is in de wortels van de bonenplant en dat 1,8% aanwezig is in de boon (vrucht) zelf. Het beperkte aantal gegevens over het gehalte in vruchten van planten geven aanleiding om aan te nemen dat de accumulatie van lanthaniden in vruchten minimaal is (Coughtrey en Thorne, 1983).

*Tabel 4.1 Cerium concentratieratio's tussen de verschillende plantendelen van enkele gewassen (Coughtrey en Thorne, 1983)*

|                   | Maïs | Tarwe | Erwt   | Boon | Sla | Radijs | Wortel |
|-------------------|------|-------|--------|------|-----|--------|--------|
| blad:steel        | 9,82 | 3,55  | 4,62   | 3,33 | 2   |        |        |
| blad:wortel       |      |       | 0,0257 |      |     | 1,67   | 2      |
| blad:vrucht(zaad) |      | 6,90  |        | 3,33 |     |        |        |
| blad:dop          |      |       | 8,62   |      |     |        |        |
| blad:pluim        | 5,05 |       |        |      |     |        |        |
| zaad:dop (schil)  |      |       | 0,066  |      |     |        |        |

Planten kunnen ook ZA opnemen via de bladeren. Uit publikaties zijn alleen gegevens bekend over de absorptie en verplaatsing van op bladeren aangebracht cerium (Coughtrey en Thorne, 1983); gegevens over andere zeldzame aardmetalen ontbreken. Voor zonnebloemen is van de totaal aangebrachte hoeveelheid cerium op de bladeren 0,1% in het blad, 0,06% onder het blad en 0,01% in de bloem terug te vinden. Van de in totaal 0,17% via het blad geabsorbeerde hoeveelheid wordt 35% omlaag en 6% omhoog verplaatst. Uit de gegevens voor rijst kan worden afgeleid dat het verplaatsen van cerium naar de korrel beperkt is, maar dat een groot gedeelte in de wortels terecht komt. De concentratieratio's tussen wortels en scheuten geven voor rijst geen eenduidig beeld. Van de totale cerium depositie op de bovengrondse plantendelen, wordt ongeveer 1% door de plant geabsorbeerd. Van deze geabsorbeerde fractie wordt een groot gedeelte naar beneden getransporteerd alwaar het in de wortels terecht komt. Uit berekende bladabsorptie-coëfficiënten van cerium blijkt dat minder dan 0,2% van het toegepaste cerium

teruggevonden kan worden in andere plantendelen binnen 20 dagen na de applicatie. Bij het toepassen van oplosbaar cerium op bovengrondse delen van diverse graanplanten in verschillende ontwikkelingsstadia is twee dagen na de applicatie 30,1% (rijp niet gebarnd tarwe) tot 95,7% (jonge gerst) teruggevonden. Uit de studie van Linsalata et al. (1989b) blijkt dat zeer weinig absorptie in de bladeren plaatsvindt, maar wel dat de uitwendige verontreiniging van bladgewassen door stofdeeltjes van belang is. Dit blijkt uit de twee tot drie maal gehalten van zeldzame aardmetalen in ongewassen gras dan in gewassen gras.

Sheppard (1990) heeft een studie verricht naar de opname van cerium in de blauwbess (*Vaccinium augustifolium*). Het (aritmetisch) gemiddelde gehalte in het blad is hoog met een waarde van  $2,7 (\pm 0,6) \text{ mg.kg}^{-1}$ . Uit dit onderzoek blijkt tevens dat er geen significant verschil is tussen agrarische gebieden en natuurgebieden, voor wat betreft het gehalte van cerium in het blad. In de studie van Ichihashi et al. (1992) zijn in drie plantesoorten hoge gehalten gevonden tot  $140 \text{ mg.kg}^{-1}$ , namelijk in de bladeren van de karmozijnbess (*Phytolacca americana*) en twee soorten varens (*Dicranopteris dichotoma*, *Athyrium yokoscence*). Dit onderzoek omvatte 36 plantesoorten, waarbij slechts in 10 soorten gehalten zijn gemeten boven de detectiegrens ( $0,5\text{--}10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). In de studie van Nadkarni en Chaphekar (1977) is maar voor één (*Althernanthera sessilis*) van de 17 plantesoorten een hoog gemiddeld gehalte van scandium in de wortels en scheuten gemeten van achtereenvolgens  $2,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  en  $2,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ . De gehalten in andere soorten waren minimaal een orde van grootte kleiner. Het hoogst gemeten scandiumgehalte in planten is  $2,0 \text{ mg.kg}^{-1}$  in een onderzoek van Horovitz et al. (1979). Dit onderzoek omvatte 35 plantesoorten, met een (aritmetisch) gemiddeld gehalte van  $0,19 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Het gehalte in gewassen, vermeld in Laul et al. (1979), varieert van  $2 \times 10^{-3}$  tot  $18 \times 10^{-3} \text{ mg.kg}^{-1}$  voor lanthaan tot  $20 \times 10^{-3}$  tot  $40 \times 10^{-3} \text{ mg.kg}^{-1}$  voor lutetium. Voor zover bekend vertegenwoordigen deze laatstgenoemde gehalten de laagst gerapporteerde waarden in voedingsgewassen. Oladipo en Bodunde (1993) heeft onderzoek verricht naar de zeldzame aardmetalen Y, La, Ce, Nd, Sm en Gd in tomaten (als vrucht). Het onderzoek is te beperkt om een trend of een verband af te leiden voor de gevonden gehalten in tomaten en de afzonderlijke zeldzame aardmetalen. Dit onderzoek vermeldt geen bodemgehalten. De gemeten minimum- en maximumgehalten gehalten in tomaten staan vermeld in tabel 4.2.

## Conclusie

De opname en verplaatsing van ZA in planten is het resultaat van bodem- en plantfactoren. Geaccumuleerde ZA zijn vooral in de wortels van planten aanwezig. Bij de opname via de wortels wordt slechts een klein gedeelte naar andere plantendelen verplaatst en blijft het grootste gedeelte in de wortels. Verder blijkt dat er zeer weinig absorptie via de bladeren

plaatsvindt, maar wel dat de uitwendige verontreiniging van bladgewassen door stofdeeltjes van belang is voor de gehalten van planten. Uit de verschillende studies volgt dat de gehalten (drooggewicht) van zeldzame aardmetalen in planten over het algemeen laag zijn (zie ook bijlage 3):  $< 0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$  voor wortel- en bladgroenten,  $< 0,05$  in de meeste vruchten en  $< 1 \text{ mg.kg}^{-1}$  in kruiden/grassen. Voor de meeste planten geldt dat de gerapporteerde gehalten in gewassen ongeveer een factor  $10^2$  tot  $10^3$  onder de gehalten in de bodem liggen.

Tabel 4.2 Concentratiebereik van zeldzame aardmetalen in tomaten ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) (Oladipo en Bodunde, 1993)

|            | minimum | maximum |
|------------|---------|---------|
| yttrium    | 0,03    | 0,20    |
| lanthaan   | 0,04    | 0,28    |
| cerium     | 0,02    | 0,09    |
| neodymium  | 0,03    | 0,18    |
| samarium   | 0,004   | 0,02    |
| gadolinium | 0,009   | 0,10    |

## 4.2 Bioconcentratiefactoren (BCF)

Coughtrey en Thorne (1983) concludeert uit zijn literatuuronderzoek dat de bioconcentratiefactoren van lanthaniden in alle plantprodukten, met uitzondering van gras, rond de  $1 \times 10^{-3}$  liggen. Voor grassen varieert de BCF bij benadering van  $50 \times 10^{-3}$  tot  $1 \times 10^{-1}$ . Voor cerium in alle vegetatietypen mag voor de meeste omstandigheden die geen betrekking hebben op bladverontreiniging een gemiddelde BCF van  $5 \times 10^{-3}$  worden aangenomen (Coughtrey en Thorne, 1983). BCF-waarden voor cerium en radioisotopen van cerium in verschillende planten variëren van  $0,16 \times 10^{-3}$  tot  $100 \times 10^{-3}$  (tabel 4.3). Voor yttrium zijn maar in één referentie BCF-waarden gevonden van  $2 \times 10^{-3}$  voor sla en  $10 \times 10^{-3}$  voor bonen (Ng et al., 1982).

Er bestaan geen stabiele isotopen van promethium. Toch is in onderzoek vastgesteld dat isotopen van promethium een lage BCF hebben van kleiner dan  $10^{-2}$  (Coughtrey en Thorne, 1983). Potproeven hebben gegevens opgeleverd voor de opname van promethium door bonen vanuit de bodem. De BCF-waarden die uit dit onderzoek naar voren kwamen zijn voor blad, bonen, stengel en wortels achtereenvolgens  $20 \times 10^{-3}$ ,  $7 \times 10^{-3}$ ,  $8 \times 10^{-3}$  en  $240 \times 10^{-3}$ . Uit een potproeven-onderzoek van Cummings en Bankert (1971) blijkt dat de opname van promethium in haverplanten vergelijkbaar is met die van cerium. De opname in planten die



groeien op verschillende bodemtypes is voor beide stoffen ongeveer hetzelfde. De lage BCF varieert van  $3,3 \times 10^{-7}$  tot  $2,65 \times 10^{-5}$  voor cerium en van  $5,8 \times 10^{-7}$  tot  $3,39 \times 10^{-5}$  voor promethium.

Tabel 4.3 BCF-waarden ( $\times 10^{-3}$ ) voor cerium en radioisotopen van cerium in verschillende planten (Coughtrey en Thorne, 1983)

|                |          |
|----------------|----------|
| Kruiden, gras  | 0,25-11  |
| Graan, stengel | 0,16-75  |
| Graan, korrel  | 0,29-3   |
| Groenten       | 0,11-100 |
| Fruit          | <1       |

Uit verschillende onderzoeken blijkt dat de accumulatie per plantesoort sterk kan verschillen. Zo kon in de studie van Ichihashi et al. (1992) voor meer dan 70% van de onderzochte soorten kon geen BCF bepaald worden, omdat het gehalte in de planten lager was dan de detectiegrens ( $0,5-10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Vooral voor scandium en terbium waren de gehalten in planten extreem laag. Een uitschieter naar boven was de karmozijnbes, met extreem hoge BCF-waarden van ongeveer 1 tot 5, die goed zeldzame aardmetalen accumuleert. Hoge BCF-waarden worden ook gerapporteerd door Sheppard (1990), met een gemiddelde waarde voor het blad van de blauwbes (*Vaccinium augustifolium*) van ongeveer 0,061. In het onderzoek van Horovitz et al. (1974) zijn voor alleen scandium in verschillende plantesoorten lage (aritmatische) gemiddelde minimum en maximum BCF berekend van achtereenvolgens  $2,1 \times 10^{-3}$  en  $42 \times 10^{-3}$ . De hoogst berekende BCF is  $280 \times 10^{-3}$  (*Hypnum cupressiforme* L. ap. Hedw.).

In een studie van Laul et al. (1979) is voor de meeste zeldzame aardmetalen het gemiddelde gehalte van de bodem en het gehalte in gewassen bepaald. Hieruit zijn BCF-waarden berekend voor maïs, aardappel, erwten en pompoen, die liggen in de orde van grootte van  $0,05 \times 10^{-3}$  tot  $0,5 \times 10^{-3}$  (tabel 4.4).

Uit de gegevens van een veldstudie in een gebied in Brazilië zijn door Linsalata et al. (1987) aritmetisch gemiddelde BCF-waarden ( $\times 10^{-3}$ ) afgeleid voor voedingsgewassen, die afnemen in de volgorde La (2,4) > Nd (1,7)  $\geq$  Ce (0,8). In een vervolgstudie in hetzelfde gebied zijn BCF-waarden bepaald voor lanthaan, cerium, en neodymium voor de voedingsgewassen maïs, aardappel, tapioca, pompoen, bruine bonen, wortels en boerenkool (tabel 4.5, Linsalata et al., 1989a). Deze studie vermeldt alleen voor lanthaan, neodymium en cerium de geometrisch gemiddelde BCF-waarden ( $\times 10^{-3}$ ) voor voedingsgewassen in het algemeen, die afnemen in de volgorde La (0,54) > Nd (0,30)  $\geq$  Ce (0,26). De bijbehorende

aritmetisch gemiddelde bodemgehalten zijn voor La, Ce en Nd respectievelijk 278, 838 en 116 mg.kg<sup>-1</sup>. De karakteristieke bodems bevatten een hoog kleigehalte (72%) en hadden een zuurgraad van pH 5,1. De gegevens van andere locaties (VS) staan vermeld in tabel 4.6 (Linsalata et al., 1989a).

*Tabel 4.4 Zeldzame aardmetalen in bodem (mg.kg<sup>-1</sup>) en voedingsgewassen (mg.kg<sup>-1</sup>) en de berekende BCF gewas (Laul et al., 1979)*

|              | bodem | maïs<br>(x10 <sup>-3</sup> ) | BCF<br>maïs<br>(x10 <sup>-3</sup> ) | aardappel<br>(x10 <sup>-3</sup> ) | BCF<br>aardappel<br>(x10 <sup>-3</sup> ) | erwten<br>(x10 <sup>-3</sup> ) | BCF<br>erwten<br>(x10 <sup>-3</sup> ) | pompoen<br>(x10 <sup>-3</sup> ) | BCF<br>pompoen<br>(x10 <sup>-3</sup> ) |
|--------------|-------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| scandium     | 2,8   | 5,0                          | 1,8                                 | 5,0                               | 1,8                                      | 5,0                            | 1,8                                   | 7,0                             | 2,5                                    |
| lanthaan     | 30    | 5,0                          | 0,17                                | 2,0                               | 0,067                                    | 5,1                            | 0,17                                  | 18,0                            | 0,60                                   |
| cerium       | 63    | 10,0                         | 0,16                                | 2,5                               | 0,040                                    | 6,4                            | 0,10                                  | 16,0                            | 0,25                                   |
| praseodymium | 7,0   | <1,0                         | <0,14                               | <2,0                              | <0,29                                    | <2,0                           | <0,29                                 | <1,0                            | <0,14                                  |
| neodymium    | 29    | <10,0                        | <0,35                               | <10,0                             | <0,35                                    | <10,0                          | <0,35                                 | <10,0                           | <0,35                                  |
| samarium     | 5,2   | 0,74                         | 0,14                                | 0,21                              | 0,040                                    | 0,55                           | 0,11                                  | 1,0                             | 0,19                                   |
| europium     | 0,46  | 0,10                         | 0,22                                | 0,030                             | 0,065                                    | 0,04                           | 0,087                                 | 0,20                            | 0,44                                   |
| gadolinium   | 4,0   | <2,0                         | <0,50                               | <2,0                              | <0,50                                    | <2,0                           | <0,50                                 | <3,0                            | <0,75                                  |
| terbium      | 0,58  | <0,10                        | <0,17                               | 0,10                              | 0,17                                     | 0,10                           | 0,17                                  | 0,20                            | 0,35                                   |
| holmium      | 0,93  | 0,12                         | 0,13                                | 0,087                             | 0,094                                    | <0,062                         | <0,07                                 | 0,14                            | 0,15                                   |
| erbium       | 2,2   | <0,50                        | <0,23                               | <2,0                              | <0,91                                    | <0,50                          | <0,23                                 | <0,50                           | <0,23                                  |
| thulium      | 0,33  | <0,30                        | <0,91                               | <0,10                             | <0,30                                    | <0,20                          | <0,61                                 | <0,20                           | <0,61                                  |
| ytterbium    | 2,3   | 0,20                         | 0,087                               | 0,080                             | 0,035                                    | 0,090                          | 0,039                                 | 0,42                            | 0,18                                   |
| lutetium     | 0,34  | 0,27                         | 0,79                                | <0,020                            | <0,059                                   | 0,013                          | 0,038                                 | 0,04                            | 0,12                                   |

*Tabel 4.5 Mediane BCF-waarden (x10<sup>-3</sup>) voor verschillende voedingsgewassen (Linsalata et al., 1989a)*

|           | bodemgehalte<br>(mg.kg <sup>-1</sup> ) | maïs  | aard-<br>appel | tapioca | pompoen | bruine<br>bonen | wortels | boeren-<br>kool |
|-----------|----------------------------------------|-------|----------------|---------|---------|-----------------|---------|-----------------|
| Lanthaan  | 213 (79-904)                           | 0,048 | 0,11           | 1,8     | 2,2     | 0,30            | 0,80    | 0,11            |
| Cerium    | 798,5 (439-1484)                       | 0,02  | 0,12           | 0,32    | 2,5     | 0,12            | 0,85    | 0,30            |
| Neodymium | 67,5 (27-447)                          | 0,035 | 0,14           | 0,40    | 1,4     | 0,25            | 0,42    | 0,55            |

Tabel 4.6 *Vergelijking van BCF-waarden ( $\times 10^{-3}$ ) voor verschillende voedingsgewassen (Linsalata et al., 1989a)*

|          | maïs                          | aardappel                    | pompoen                | Opm.           |
|----------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------|
| Lanthaan | 0,025<br>0,02-0,08            | 0,19<br>0,06-0,39            | 1,91<br>1,07-6,60      | a)<br>b)       |
| Cerium   | 0,1-0,9<br>0,081<br>0,01-0,04 | 2,0-9,0<br>0,26<br>0,07-0,17 | -<br>3,70<br>0,40-7,70 | c)<br>a)<br>b) |

- a) Aritmetisch gemiddelde van gewassen die groeien op een siltige leem bodem  
 b) 95% betrouwbaarheidsinterval rond het geometrisch gemiddelde van gewassen die groeien op een kleibodem  
 c) Range van aritmetische gemiddelden voor cerium (chloride) toegevoegd aan leem, klei en zandige klei bodems

In een andere onderzoek van Linsalata et al. (1989b) zijn BCF-waarden voor verschillende veevoedergewassen bepaald voor de zeldzame aardmetalen cerium, lanthaan, neodymium en samarium. Deze BCF-waarden staan vermeld in tabel 4.7. De gemiddelde bodemgehalten voor Ce, La, Nd en Sm waren in dit onderzoek respectievelijk 68,7, 32,6, 28,8 en 6,8 mg.kg<sup>-1</sup>. Uit de gegevens van Laul et al. (1979) zijn BCF-waarden berekend voor gras, die gemiddeld ongeveer een factor 10 groter zijn dan voedingsgewassen. In de studie van Coughtrey en Thorne (1983) wordt opgemerkt dat de BCF-waarde voor gras ongeveer  $2 \times 10^{-3}$  is.

Tabel 4.7 *BCF ( $\times 10^{-3}$ ) voor verschillende ongewassen veevoedergewassen (Linsalata et al., 1989b)*

|                      | La   | Ce   | Nd   | Sm   |
|----------------------|------|------|------|------|
| alfalfa (3e maaisel) | 9,5  | 5,7  | 11,5 | 17,4 |
| alfalfa (2e maaisel) | 4,2  | 2,5  | 4,6  | 3,9  |
| maïs (kolf)          | 1,1  | 1,1  | NA*  | 1,0  |
| maïs (kuijvoer)      | 5,1  | 4,0  | 3,3  | 4,7  |
| gras (ongewassen)    | 18,4 | 16,0 | 16,6 | 16,2 |
| gras (gewassen)      | 7,0  | 5,0  | 6,0  | 6,2  |

\* Niet geanalyseerd

## Conclusie

De BCF-waarden worden bepaald door zowel bodem- als plantfactoren (hoofdstuk 3). De BCF-waarden kunnen daarom sterk verschillen voor elk afzonderlijk zeldzame aardmetaal. In tabel 4.8 (voedingsgewassen) en 4.9 (veevoedergewassen) zijn de ZA-gehalten in gewassen en BCF waarden, afkomstig uit de verschillende studies, samengevat. Uit de verschillende studies blijkt dat BCF-waarden voor voedingsgewassen meestal liggen tussen  $1 \times 10^{-4}$  en  $1 \times 10^{-2}$  (tabel 4.8) en voor (vee)voederwassen tussen  $1 \times 10^{-3}$  en  $1 \times 10^{-1}$  (tabel 4.9). Deze BCF-waarden zijn berekend op basis van drooggewicht. De BCF-waarden voor vruchten zijn een orde van grootte kleiner dan die van voedingsgewassen.

Tabel 4.8 Zeldzame aardmetalen in voedingsgewassen en BCF-waarden.

| Naam         | gehalte gewas<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw.) | BCF<br>( $\times 10^{-3}$ ) | gewas                                                                                                                      | aantal<br>referenties |
|--------------|--------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Scandium     | 0,025-0,061                                | 8,4-22                      | aardappel, erwt, pompoen                                                                                                   | 1                     |
| Yttrium      | 0,03-0,2                                   | 1,4 <sup>(1)</sup> -10      | tomaat, sla, bonen                                                                                                         | 2                     |
| Lanthaan     | <0,005-0,16                                | <0,17-5,2                   | aardappel, erwt, pompoen, bonen, wortel, fruit                                                                             | 4                     |
| Cerium       | 0,059-6,45                                 | 0,03-194 <sup>(2)</sup>     | aardappel, erwt, pompoen, bonen, kool, wortel, meloen, tomaat<br>komkommer, groene groenten, granen, sla, spinazie, radijs | 12                    |
| Praseodymium | <0,009-<0,01                               | <1,2-<1,4                   | aardappel, erwt, pompoen                                                                                                   | 1                     |
| Neodymium    | 0,017-0,087                                | 0,15-3,0                    | aardappel, erwt, pompoen, bonen, wortel                                                                                    | 2                     |
| Promethium   | -                                          | -                           | -                                                                                                                          | 0                     |
| Samarium     | 0,001-0,009                                | 0,2-1,7                     | aardappel, erwt, pompoen                                                                                                   | 1                     |
| Europium     | 0,0002-0,0017                              | 0,41-3,8                    | aardappel, erwt, pompoen, wortel, bonen, kool, komkommer                                                                   | 2                     |
| Gadolinium   | <0,01-<0,026                               | <2,5-<6,5                   | aardappel, erwt, pompoen                                                                                                   | 1                     |
| Terbium      | <0,0005-<0,0017                            | <0,8-<3,0                   | aardappel, erwt, pompoen                                                                                                   | 1                     |
| Dysprosium   | -                                          | -                           | -                                                                                                                          | 0                     |
| Holmium      | 0,00029-0,0012                             | 0,3-1,3                     | aardappel, erwt, pompoen                                                                                                   | 1                     |
| Erbium       | <0,0024-<0,01                              | <1,1-<4,5                   | aardappel, erwt, pompoen                                                                                                   | 1                     |
| Thulium      | <0,0005-<0,0017                            | <1,5-<5,3                   | aardappel, erwt, pompoen                                                                                                   | 1                     |
| Ytterbium    | 0,0004-0,0037                              | 0,017-10                    | aardappel, erwt, pompoen, sla, bonen                                                                                       | 2                     |
| Lutetium     | 0,00006-0,00035                            | 0,18-1,0                    | aardappel, erwt, pompoen                                                                                                   | 1                     |

1. Bij het gehalte in tomaten is het bijbehorende bodemgehalte onbekend; De minimale BCF is berekend met het gemiddelde bodemgehalte uit Coughtrey en Thorne (1983).
2. Inclusief BCF-waarden waarvan gehalte in gewassen onbekend is (Coughtrey en Thorne, 1983; Ng et al., 1982).

Ter vergelijking, door Bockting en Van den Berg (1992) werden voor het gebruik in CSOIL, het rekenmodel dat wordt gebruikt bij de afleiding van humaan-toxicologische interventiewaarden voor stoffen in de bodem, de volgende BCF-waarden voor lood (een niet-essentieel element) en zink (een essentieel element) voorgesteld:

Lood  $1 \times 10^{-3}$  voor aardappels en  $3 \times 10^{-2}$  voor overige groenten;

Zink  $1 \times 10^{-1}$  voor aardappels en  $4 \times 10^{-1}$  voor overige groenten.

Een vergelijking van de BCF-waarden voor lood en zink in "overige groenten" met de "gemiddelde" BCF voor ZA in voedingsgewassen laat zien dat de BCF voor ZA gemiddeld een factor 6-30 lager is dan die voor het niet-essentiële element lood en een factor 80-400 lager dan die voor het essentiële element zink. De BCF voor ZA is ook aanzienlijk lager dan de door Bockting en Van den Berg (1992) voor "overige groenten" voorgestelde BCF-waarden voor andere niet-essentiële en essentiële spoormetalen (As, Ba, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Mo, Sn en Ni), die varieert van  $2 \times 10^{-2}$  (Cr) tot  $7 \times 10^{-1}$  (Cd).

Tabel 4.9 Zeldzame aardmetalen in veevoedergewassen en BCF-waarden.

| Naam         | gehalte gewas<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw.) | BCF<br>( $\times 10^{-3}$ ) | gewas                                             | aantal<br>referenties |
|--------------|--------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------|
| Scandium     | 0,04-1,5                                   | 16-87                       | maïs , gras                                       | 1                     |
| Yttrium      | -                                          | -                           | -                                                 | 0                     |
| Lanthaan     | 0,0056-3,5                                 | 0,02-94                     | maïs , maïs (kolf+kuilvoer), alfalfa, gras        | 3                     |
| Cerium       | 0,0084-6,6                                 | 0,01-88                     | maïs (kolf+kuilvoer), alfalfa, klaver, gras, hooi | 7                     |
| Praseodymium | <0,0087-0,8                                | <1,2-4,8                    | maïs , gras                                       | 1                     |
| Neodymium    | 0,0041-3,0                                 | 0,035-87                    | maïs , maïs (kolf+kuilvoer), alfalfa, gras        | 3                     |
| Promethium   | -                                          | -                           | -                                                 | 0                     |
| Samarium     | 0,0007-0,7                                 | 1,03-106                    | maïs , maïs (kolf+kuilvoer), alfalfa, gras        | 2                     |
| Europium     | 0,00087-0,17                               | 1,9-108                     | maïs , gras                                       | 1                     |
| Gadolinium   | <0,017-0,74                                | <4,3-119                    | maïs , gras                                       | 1                     |
| Terbium      | <0,00087-0,17                              | <1,5-9,1                    | maïs , gras                                       | 1                     |
| Dysprosium   | -                                          | -                           | -                                                 | 0                     |
| Holmium      | 0,001-<0,4                                 | 1,1-<267                    | maïs , gras                                       | 1                     |
| Erbium       | <0,0043-<2,6                               | <2,0-<2564                  | maïs , gras                                       | 1                     |
| Thulium      | <0,0026-1                                  | <7,9-1695                   | maïs , gras                                       | 1                     |
| Ytterbium    | 0,0017-0,4                                 | 0,76-114                    | maïs , gras                                       | 1                     |
| Lutetium     | 0,00023-0,06                               | 0,69-118                    | maïs , gras                                       | 1                     |

#### 4.5 Relatie tussen gehalten in planten en bodem

De relatie tussen het plant- en bodemgehalte en van zeldzame aardmetalen is complex. Dit is terug te vinden in de verschillende studies die geen eenduidig beeld laten zien over deze relatie. Het aantal gegevens voor plant-bodem relaties zijn vrij beperkt. Wel komt naar voren dat een grote hoeveelheid toegevoegde lanthaniden in de bodem niet beschikbaar is voor wortelopname (Coughtrey en Thorne, 1983). In een evenwichts-toestand tussen bodem en bodemoplossing leveren de bioconcentratiefactoren (BCF) de maximale opnamegrenzen van zeldzame aardmetalen voor planten (Laul et al., 1979).

Ichihashi et al. (1992) heeft voor verschillende zeldzame aardmetalen de relatie tussen gehalten in planten en bodem onderzocht. De karmozijnbes (*Phytolacca americana*) was de grootste zeldzame aardmetaal-accumulator. Over het algemeen veroorzaken hogere zeldzame aardmetaal gehalten in de bodem ook hogere gehalten in de karmozijnbesbladeren. Wel moet worden aangetekend dat een klein aantal monsters in deze studie is gebruikt (Ichihashi et al., 1992). Uit het onderzoek van Sheppard (1991) blijkt het elementgehalte van de bladeren niet nauw gerelateerd te zijn met het bijbehorende bodemgehalte. De oorzaak hiervan wordt vooral toegeschreven aan een complex geheel van bodem- en plantfactoren anders dan het bodemgehalte. De verschillende factoren die volgens deze benadering een effect zouden hebben op het gehalte in de plant zijn niet nader omschreven. In tegenstelling tot Ichihashi et al. (1992) is volgens Markert (1987) het gehalte in planten onafhankelijk van de gehalten in de bodem. Deze conclusie wordt in het artikel onvoldoende onderbouwd. Wel wordt vermeld dat de gehalten in planten en bodem hetzelfde natuurlijke verdelingspatroon van lanthaniden vertonen (zie hoofdstuk 2.1; fig 1). Volgens Linsalata et al. (1989a) blijken verschillende bodemparameters (bodemtype, organische stof, pH e.d.) geen lineaire relatie (1% significantie-niveau) te vertonen met BCF-waarden voor de verschillende lanthaniden.

## 5. CONCLUSIES

Er zijn weinig gegevens bekend over de opname en het gehalte van zeldzame aardmetalen in terrestische planten.

De gehalten in planten kunnen sterk verschillen, waarbij zowel plantfactoren als bodemfactoren het gehalte bepalen. De beschikbaarheid voor planten van zeldzame aardmetalen uit de bodem is zeer beperkt en bedraagt over het algemeen niet meer dan 0,01%. Geaccumuleerde ZA zijn vooral in de wortels van planten aanwezig. Een uitzondering hierop zijn wortelgewassen, zoals wortels en radijs, waar het gehalte in het blad hoger is dan in de wortel. De gehalten (drooggewicht) van zeldzame aardmetalen in planten zijn over het algemeen laag:  $< 0.2 \text{ mg.kg}^{-1}$  voor wortel- en bladgroenten,  $< 0,05$  in de meeste vruchten en  $< 1 \text{ mg.kg}^{-1}$  in kruiden/grassen.

Enkele onderzoeken laten zien dat sommige (wilde) plantesoorten goed zeldzame aardmetalen kunnen accumuleren, zoals de karmozijnbes met een BCF die varieert van 1 tot 5. Uit de beperkte gegevens blijkt dat de accumulatie in voedings- en (vee)voedergewassen over het algemeen veel lager is. De BCF-waarden (gebaseerd op drooggewicht) liggen voor voedingsgewassen meestal tussen  $1 \times 10^{-4}$  en  $1 \times 10^{-2}$  en voor (vee)voederwassen tussen  $1 \times 10^{-3}$  en  $1 \times 10^{-1}$ . Op grond hiervan kan worden geconcludeerd dat ZA in geringe mate worden geaccumuleerd in gewassen. De BCF-waarden voor vruchten zijn een orde van grootte kleiner dan die van voedingsgewassen.





## REFERENTIES

Berg R. van den (1991)

Blootstelling van de mens aan bodemverontreiniging, Een kwalitatieve en kwantitatieve analyse, leidend tot voorstellen voor humaan-toxicologische C-toetsingswaarden, RIVM, Bilthoven, rapportnr. 725201006

Bockting G. en R. van den Berg (1992)

De accumulatie van sporenmetalen in groenten geteeld op verontreinigde bodems, een literatuurstudie, RIVM rapportnr. 725201009, Bilthoven

Coughtrey, P.J., M.C. Thorne (1983)

Radionuclide distribution and transport in terrestrial and aquatic ecosystems, A critical review of data, Volume 1; 425-454 (cerium), 455-490 (Lanthanides), A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands

Cummings, S.L., L. Bankert (1971)

The uptake of cerium-144, promethium-147, and plutonium-238 by oat plants from soils; Environmental Protection Agency, Radiation Office, Southeastern Radiological Health Lab., Montgomery, Alabama, USA; Radiological Health Data and Reports; 12 (2) 83-85

Djingova, R., I. Kuleff, N. Andreev (1993)

Comparison of the ability of several vascular plants to reflect environmental pollution, Chemosphere, vol. 27, no. 8, 1385-1396

Horovitz C.T., H.H. Schock, L.A. Horovitz-Kisimova (1974)

The content of scandium, thorium, silver, and other trace elements in different plant species. Plant and Soil; 40; 2; 397-403

Ichihashi H. , H. Morita, R. Taksukawa (1992)

Rare earth elements (REEs) in naturally grown plants in relation to their variation in soils. Environmental Pollution; 76; 2; 157-162; 1992

Janus, J.A., M.G.J Rikken, M. Rutgers, H. Booij, E.M. Paardekoper (1995)

Overdracht van zeldzame aardmetalen in de keten kunstmest → bodem → plant → vee en mens. RIVM-rapport 601014014, Bilthoven

Kabata-Pendias A., H. Pendias (1992)

Trace elements in soils and plants, 2nd edition, CRC Press, Boca Raton - Ann Arbor - London

Laul J.C., W.C. Weimer, L.A. Rancitelli (1979)

Biogeochemical distribution of rare earths and other trace elements in plants and soils. Physics and Chemistry of the Earth; 11; 819-827

Linsalata P., E. Penna Franca, I. Sachett, M.B. Castro, N. Lobao, R. Ballad, W. Lei, H. Ford, R.S. Morse, M. Eisenbud (1987)

Radium, thorium, and the light rare earth elements in soils and vegetables grown in an area of high natural radioactivity, DOE Symp. Ser.; 59; Environ. Res. Actinide Elem.; 131-146; Med. Cent. New York Univ., New York, USA

Linsalata P., R.S. Morse, H. Ford, M. Eisenbud, E.P. Franca, M.B. de Castro, N. Lobao, I. Sachett, M. Carlos (1989a)

An assessment of soil-to-plant concentration ratios for some natural analogues of the transuranic elements, Health Physics; vol. 56; No. 1; 33-46

Linsalata P., R. Morse, H. Ford, M. Eisenbud, E.P. Franca, M.B. de Castro, N. Loboa, I. Sachet, M. Carlos (1989b)

Transport pathways of Th, U, Ra and La from soil to cattle tissue, J. Environ. Radioactivity, vol 10, 115-140

Markert, B. (1987)

The pattern of distribution of lanthanide elements in soils and plants, Phytochemistry, vol. 26, no. 12, 3167-3170

Nadkarni R.A., S.B. Chaphekar (1977)

A plant species of suspected accumulator behaviour, Dep. Chem., Cornell University, Ithaca, N.Y; Experientia, vol. 33, number 1, 34-35

Ng, Y.C., C.S. Colsher, S.E. Thompson (1982)

Soil-to-plant concentration factors for radiological assessment, Lawrence Livermore National Laboratory, NUREG/CR-2975, UCID-19463

Oladipo M.O.A., J.O. Bodunde (1993)

ICP-MS analysis of tomato fruits grown on fertilizer amended soil, Journal of Environmental Science and Health, Part A, Environmental Science and Engineering; 28 (4); 809-820

Sheppard S.C. (1991)

A field and literature survey, with interpretation, of elemental concentrations in blueberry (*Vaccinium angustifolium*); Environ. Sci. Branch, AECL Res., Whiteshell Lab., Pinawa, Man., Canada R0E 1L0; Canadian journal of botany 69(1); 63-77

Slooff W., P.F.H. Bont, M.A.G.T. van den Hoop, J.A. Janus, J.A. Annema (1993)

Exploratory report rare earth metals and their compounds, RIVM report no. 710401025, Bilthoven

Verweij W., T. van der Velde-Koerts, J.L.M. de Boer, W. Mennes (1994)

Zeldzame aarden in drinkwater en drinkwaterbronnen, RIVM-rapport 734301003, Bilthoven

Wilkinson R.E., R.R. Duncan (1992)

Non-EDTA Extractable scandium in roots of three sorghum cultivars, Journal of plant nutrition, 15 (11), 2559-2565



**BIJLAGE 1. Online zoekprofielen****BIOSIS zoekprofiel (host Dimdi):**

f (bioaccumulat? or biococentrat? or accumulat?)/(ti;ut)  
f (biotransfer or transfer or uptake or translocation or stem#)/(ti;ut)  
f (transpiration stream or root# or distribution or disposition)/(ti;ut)  
f (bcf or baf or tscf or rcf or scf or shoot# or tuber# or leaf)/(ti;ut)  
f (cultivar# or grain# or leaves)/(ti;ut)  
f 1 to 5  
f (soil# or nutrient# or micronutrient# or macronutrient# or terrestri?)/(ti;ab)  
f (artificial manure or artificial fertilizer#)/(ti;ab)  
f 7 to 8  
f 6 and 9  
f 10 and sc=51520  
f (lanthanum or lanthanide# or lanthanon# or cerium or neodymium)/(ti;ut)  
f (gadolinium or yttrium or scandium or terbium or ytterbium)/(ti;ut)  
f (rare earth# or ree or rees)/(ti;ut)  
f 12 to 14  
f 11 and 15  
f 16 not la=(bu or ch or cz or hu or it or ja or po or ru or sp)

**CAB abstracts zoekprofiel (host Dimdi):**

f (bioaccumulat? or biococentrat? or accumulat?)/(ti;ab)  
f (biotransfer or transfer or uptake or translocation or stem#)/(ti;ab)  
f (transpiration stream or root# or distribution or disposition)/(ti;ab)  
f (bcf or baf or tscf or rcf or scf or shoot# or tuber# or leaf)/(ti;ab)  
f (cultivar# or grain# or leaves)/(ti;ab)  
f 1 to 5  
f (soil# or nutrient# or micronutrient# or macronutrient# or terrestri?)/(ti;ab)  
f (artificial manure or artificial fertilizer#)/(ti;ab)  
f 7 to 8  
f 6 and 9  
f (lanthanum or lanthanide# or lanthanon# or cerium or neodymium or terbium)/(ti;ut)  
f (gadolinium or yttrium or scandium or ytterbium or rare earth# or ree or rees)/(ti;ut)  
f 11 to 12  
f 10 and 13  
f 14 not la=(bulg or port or span or russ or japn or chin or czech or ital)



**BIJLAGE 2. Achtergrondgehalten van zeldzame aardmetalen in de bodem (mg.kg<sup>-1</sup>)**

|                  | <u>Coughtrey en</u><br><u>Thorne (1983)</u> |                         | <u>Slooff et al.</u><br><u>(1993)</u> | <u>Kabata-Pendias en</u><br><u>Pendias (1992)***</u> |
|------------------|---------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 21. scandium     | 5                                           | (2,0-11) <sup>(1)</sup> | 7                                     | -                                                    |
| 39. yttrium**    | 22                                          | (2,4-74) <sup>(2)</sup> | -                                     | 25                                                   |
| 57. lanthaan*    | 30                                          | (6-56)                  | 40 / 5-50                             | 26.1                                                 |
| 58. cerium*      | 50                                          | (12-85)                 | 80 / 8-60                             | 48.7                                                 |
| 59. praseodymium | 8                                           | (1,4-12,2)              | <5-8                                  | 7.6                                                  |
| 60. neodymium*   | 30                                          | (4,3-46)                | 40 / 5-28                             | 19.5                                                 |
| 61. promethium   | -                                           |                         | -                                     | -                                                    |
| 62. samarium     | 6                                           | (0,8-8,5)               | 7                                     | 4.8                                                  |
| 63. europium     | 1                                           | (0,2-2,5)               | 2,3                                   | 1.23                                                 |
| 64. gadolinium*  | 5                                           | (0,7-8)                 | -                                     | 6.03                                                 |
| 65. terbium      | 0,8                                         | (0,07-1,0)              | 1                                     | 0.71                                                 |
| 66. dysprosium   | 4                                           | (0,9-6,1)               | -                                     | 3.65                                                 |
| 67. holmium      | 1                                           | (0,17-1,66)             | -                                     | 1.08                                                 |
| 68. erbium       | 3                                           | (0,36-4,6)              | -                                     | 1.58                                                 |
| 69. thulium      | 0,5                                         | (0,065-0,72)            | -                                     | 0.46                                                 |
| 70. ytterbium    | 3                                           | (0,43-4,6)              | 3                                     | 2.06                                                 |
| 71. lutetium     | 0,5                                         | (0,067-0,72)            | 0,7                                   | 0.34                                                 |

(1) Ichihashi et al., 1992; Laul et al., 1979; Horovitz et al., 1974; Slooff et al., 1993

(2) Ichihashi et al., 1992; Kabata-Pendias en Pendias, 1992

\* Aandachtstof 1994

\*\* Kandidaat aandachtstof

\*\*\* Gemiddeld bodemgehalte wereld





### **BIJLAGE 3. Gehalten van ZA in bodem en planten**



|                     | Bodem<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Plant<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Opmerkingen; Bodem | Opmerkingen; Plant                      | Referentie                       |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| <b>21. scandium</b> | 5,4                               | -                                 | gemiddelde         | -                                       | Ichihashi (1992)                 |
| -                   | -                                 | 2,1 - 2,5                         | -                  | A. sessilis; min=wortels, max =scheuten | Nadkarni (1977)                  |
| -                   | -                                 | 0,06 - 1                          | -                  | andere landplanten (scheuten)           | Nadkarni (1977)                  |
| -                   | -                                 | 0,008                             | -                  | gem. gehalte landplanten                | Bowen (1966) in: Nadkarni (1977) |
| 2,8                 | 0,005                             |                                   | gemiddeld gehalte  | mais (w.w.)                             | Laul (1979)                      |
| 2,8                 | 0,005                             |                                   | gemiddeld gehalte  | aardappel (w.w.)                        | Laul (1979)                      |
| 2,8                 | 0,005                             |                                   | gemiddeld gehalte  | erwten (w.w.)                           | Laul (1979)                      |
| 2,8                 | 0,007                             |                                   | gemiddeld gehalte  | pompoen (w.w.)                          | Laul (1979)                      |
| 17                  | 0,074                             |                                   | gemiddeld gehalte  | gras (w.w.)                             | Laul (1979)                      |
| 3,6                 | 0,99                              |                                   | -                  | hyphnum cupressiforme                   | Horovitz (1974)                  |
| 1                   | 0,009 - 0,01                      |                                   | -                  | psilotum triquetrum                     | Horovitz (1974)                  |
| 0,5                 | 0,004 - 0,01                      |                                   | -                  | lycopodium circinatum                   | Horovitz (1974)                  |
| 9                   | 0,003 - 0,006                     |                                   | -                  | encephalartos lehmanii                  | Horovitz (1974)                  |
| 7                   | 0,02 - 0,03                       |                                   | -                  | juniperus communis                      | Horovitz (1974)                  |
| 5                   | 0,01 - 0,04                       |                                   | -                  | ephedra gerardiana                      | Horovitz (1974)                  |
| -                   | 0,102 - 0,14                      |                                   | -                  | Taraxacum officinale                    | Djingova (1993)                  |
| -                   | 0,064                             |                                   | -                  | Populus nigra                           | Djingova (1993)                  |
| -                   | 0,32                              |                                   | -                  | Trifolium repens                        | Djingova (1993)                  |
| -                   | 0,19                              |                                   | -                  | Rumex acetosella                        | Djingova (1993)                  |
| -                   | 0,11                              |                                   | -                  | Poa annua                               | Djingova (1993)                  |
| -                   | 0,12                              |                                   | -                  | Lolium multiflorum                      | Djingova (1993)                  |
| -                   | 0,05 - 0,5                        |                                   | -                  | vruchten / gewassen                     | Ewing (1969) in: Horovitz (1974) |
| <b>39. yttrium</b>  | 22                                | 33                                | gemiddeld gehalte  | phytolacca americana                    | Ichihashi (1992)                 |
| -                   | -                                 | 12                                | -                  | dicranopteris dichotoma                 | Ichihashi (1992)                 |
| -                   | -                                 | 62                                | -                  | athyrium yokoscence                     | Ichihashi (1992)                 |
| -                   | -                                 | 2,9                               | -                  | polygonum cuspidatum                    | Ichihashi (1992)                 |
| -                   | -                                 | 1,3                               | -                  | parthenocissus tricuspidata             | Ichihashi (1992)                 |
| -                   | -                                 | 12                                | -                  | oenothera biennis                       | Ichihashi (1992)                 |
| -                   | -                                 | 2,3                               | -                  | lantana camara                          | Ichihashi (1992)                 |
| -                   | -                                 | 0,8                               | -                  | erigeron canadensis                     | Ichihashi (1992)                 |
| -                   | -                                 | 2,2                               | -                  | bidens bitemata                         | Ichihashi (1992)                 |
| -                   | -                                 | 0,03 - 0,2                        | -                  | tomaat (vrucht)                         | Oladipo (1993)                   |

|              | Bodem<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Plant<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Opmerkingen; Bodem       | Opmerkingen; Plant                   | Referentie                        |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 57. lanthaan | 30                                | <0,0056                           | algemeen gemiddelde      | gem. gewassen (w.w.)                 | Oakes (1977) in :Coughtrey (1983) |
|              | 30                                | <0,0127                           | algemeen gemiddelde      | gem. aardappel/wortelgewassen (w.w.) | Oakes (1977) in :Coughtrey (1983) |
|              | 30                                | <0,00057                          | algemeen gemiddelde      | gem. fruit (w.w.)                    | Oakes (1977) in :Coughtrey (1983) |
|              | -                                 | 0,015                             | -                        | duitse kustvegetatie (w.w.)          | Heine (1978) in: Coughtrey (1983) |
|              | -                                 | 0,085                             | -                        | hogere planten                       | Bowen (1966) in: Coughtrey (1983) |
|              | 34                                | 0,23                              | zandige leem; podsol     | loofblad; vaccinium vitis            | B. Markert (1987)                 |
|              | 5,4                               | 0,13                              | duinzand                 | loofblad; vaccinium vitis            | B. Markert (1987)                 |
|              | 1,4                               | 0,34                              | veen                     | loofblad; vaccinium vitis            | B. Markert (1987)                 |
|              | 5,4                               | 0,26                              | duinzand                 | naald; pinus sylvestris              | B. Markert (1987)                 |
|              | 1,9                               | 0,3                               | veen                     | naald; pinus sylvestris              | B. Markert (1987)                 |
|              | -                                 | 0,04 - 0,28                       | -                        | tomaat (vrucht)                      | Oladipo (1993)                    |
|              | 50                                | 25                                | gemiddeld gehalte        | phytolacca americana                 | Ichihashi (1992)                  |
|              | -                                 | 120                               | -                        | dicranopteris dichotoma              | Ichihashi (1992)                  |
|              | -                                 | 45                                | -                        | athyrium yokoscence                  | Ichihashi (1992)                  |
|              | -                                 | 6,9                               | -                        | parthenocissus tricuspidata          | Ichihashi (1992)                  |
|              | -                                 | 11                                | -                        | oenothera biennis                    | Ichihashi (1992)                  |
|              | -                                 | 2,6                               | -                        | lantana camara                       | Ichihashi (1992)                  |
|              | -                                 | 2,3                               | -                        | solidago altissima                   | Ichihashi (1992)                  |
|              | 30                                | 0,005                             | gemiddeld gehalte        | mais (w.w.)                          | Laul (1979)                       |
|              | 30                                | 0,002                             | gemiddeld gehalte        | aardappel (w.w.)                     | Laul (1979)                       |
|              | 30                                | 0,0051                            | gemiddeld gehalte        | erwten (w.w.)                        | Laul (1979)                       |
|              | 30                                | 0,018                             | gemiddeld gehalte        | pompoen (w.w.)                       | Laul (1979)                       |
|              | 36,1                              | 0,17                              | gemiddeld gehalte        | gras (w.w.)                          | Laul (1979)                       |
|              | 278                               | 0,0056 - 0,022                    | gemiddelde (79-904)      | mais (gem.)                          | Linsalata (1989a)                 |
|              | 278                               | 0,017 - 0,11                      | gemiddelde (79-904)      | aardappel (gem.)                     | Linsalata (1989a)                 |
|              | 278                               | 0,50                              | gemiddelde (79-904)      | tapioca (gem.)                       | Linsalata (1989a)                 |
|              | 278                               | 0,30 - 1,83                       | gemiddelde (79-904)      | pompoen (gem.)                       | Linsalata (1989a)                 |
|              | 278                               | 0,083                             | gemiddelde (79-904)      | bruine bonen (gem.)                  | Linsalata (1989a)                 |
|              | 278                               | 0,22                              | gemiddelde (79-904)      | wortel (gem.)                        | Linsalata (1989a)                 |
|              | 32,6                              | 0,305                             | siltige leem; gemiddelde | alfalfa (3e maaisel)                 | Linsalata (1989b)                 |
|              | 32,6                              | 0,134                             | siltige leem; gemiddelde | alfalfa (2e maaisel)                 | Linsalata (1989b)                 |
|              | 32,6                              | 0,035                             | siltige leem; gemiddelde | mais (kolf)                          | Linsalata (1989b)                 |
|              | 32,6                              | 0,167                             | siltige leem; gemiddelde | mais (kuilvoer)                      | Linsalata (1989b)                 |
|              | 32,6                              | 0,593                             | siltige leem; gemiddelde | gras (ongewassen)                    | Linsalata (1989b)                 |
|              | 32,6                              | 0,225                             | siltige leem; gemiddelde | gras (gewassen)                      | Linsalata (1989b)                 |

|            | Bodem<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Plant<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Opmerkingen; Bodem       | Opmerkingen; Plant                         | Referentie                           |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| 58. cerium | 50                                | <0,0063                           | algemeen gemiddelde      | gem. gewassen (w.w.)                       | Oakes (1977) in: Coughtrey (1983)    |
|            | 50                                | <0,0079                           | algemeen gemiddelde      | gem. aardappelen/wortelgewassen (w.w.)     | Oakes (1977) in: Coughtrey (1983)    |
|            | 50                                | n.d.                              | algemeen gemiddelde      | fruit (w.w.); metingen onder detectiegrens | Oakes (1977) in: Coughtrey (1983)    |
|            | -                                 | <0,0045 - 0,0097                  | -                        | gr. druif, mais, gr. bonen (w.w.)          | Montford (1980) in: Coughtrey (1983) |
|            | 56                                | 0,33                              | zandige leem; podsol     | loofblad; vaccinium vitis                  | B. Markert (1987)                    |
|            | 8,4                               | 0,21                              | duinzand                 | loofblad; vaccinium vitis                  | B. Markert (1987)                    |
|            | 2,1                               | 0,74                              | veen                     | loofblad; vaccinium vitis                  | B. Markert (1987)                    |
|            | 8,4                               | 0,37                              | duinzand                 | naald; pinus sylvestris                    | B. Markert (1987)                    |
|            | 2,7                               | 0,37                              | veen                     | naald; pinus sylvestris                    | B. Markert (1987)                    |
|            | 44,5                              | 2,7                               | gem. gehalte             | gem. gehalte blad blauwbes                 | Sheppard (1990)                      |
|            | -                                 | 0,02 - 0,09                       | -                        | tomaat (vrucht)                            | Oladipo (1993)                       |
|            | 100                               | 39                                | gem. gehalte;schatting   | phytolacca americana                       | Ichihashi (1992)                     |
|            | -                                 | 140                               | -                        | dicranopteris dichotoma                    | Ichihashi (1992)                     |
|            | -                                 | 35                                | -                        | athyrium yokoscence                        | Ichihashi (1992)                     |
|            | -                                 | 4,2                               | -                        | parthenocissus tricuspidata                | Ichihashi (1992)                     |
|            | 63                                | 0,01                              | gemiddeld gehalte        | mais (w.w.)                                | Laul (1979)                          |
|            | 63                                | 0,0025                            | gemiddeld gehalte        | aardappel (w.w.)                           | Laul (1979)                          |
|            | 63                                | 0,0064                            | gemiddeld gehalte        | erwten (w.w.)                              | Laul (1979)                          |
|            | 63                                | 0,016                             | gemiddeld gehalte        | pompoen (w.w.)                             | Laul (1979)                          |
|            | 74,7                              | 0,33                              | gemiddeld gehalte        | gras (w.w.)                                | Laul (1979)                          |
|            | -                                 | 0,18 - 1,1                        | -                        | Taraxacum officinale                       | Djingova (1993)                      |
|            | -                                 | 0,46                              | -                        | Populus nigra                              | Djingova (1993)                      |
|            | -                                 | 1                                 | -                        | Trifolium repens                           | Djingova (1993)                      |
|            | -                                 | 0,46                              | -                        | Rumex acetosella                           | Djingova (1993)                      |
|            | -                                 | 0,49                              | -                        | Poa annua                                  | Djingova (1993)                      |
|            | -                                 | 0,52                              | -                        | Lolium multiflorum                         | Djingova (1993)                      |
|            | 838                               | 0,0084 - 0,034                    | gemiddelde (439-1484)    | mais (gem.)                                | Linsalata (1989a)                    |
|            | 838                               | 0,059 - 0,14                      | gemiddelde (439-1484)    | aardappel (gem.)                           | Linsalata (1989a)                    |
|            | 838                               | 1,51                              | gemiddelde (439-1484)    | tapioca (gem.)                             | Linsalata (1989a)                    |
|            | 838                               | 0,34 - 6,45                       | gemiddelde (439-1484)    | pompoen (gem.)                             | Linsalata (1989a)                    |
|            | 838                               | 0,251                             | gemiddelde (439-1484)    | bruine bonen (gem.)                        | Linsalata (1989a)                    |
|            | 838                               | 0,67                              | gemiddelde (439-1484)    | wortel (gem.)                              | Linsalata (1989a)                    |
|            | 68,7                              | 0,37                              | siltige leem; gemiddelde | alfalfa (3e maaisel)                       | Linsalata (1989b)                    |
|            | 68,7                              | 0,162                             | siltige leem; gemiddelde | alfalfa (2e maaisel)                       | Linsalata (1989b)                    |
|            | 68,7                              | 0,081                             | siltige leem; gemiddelde | mais (kolf)                                | Linsalata (1989b)                    |
|            | 68,7                              | 0,287                             | siltige leem; gemiddelde | mais (kuilvoer)                            | Linsalata (1989b)                    |
|            | 68,7                              | 1,069                             | siltige leem; gemiddelde | gras (ongewassen)                          | Linsalata (1989b)                    |
|            | 68,7                              | 0,335                             | siltige leem; gemiddelde | gras (gewassen)                            | Linsalata (1989b)                    |

|                  | Bodem<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Plant<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Opmerkingen; Bodem       | Opmerkingen; Plant        | Referentie                        |
|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 59. praseodymium | 8                                 | <0,001 - 0,04                     | algemeen gemiddelde      | mais-gras (w.w.)          | Laul (1977) in: Coughtrey (1983)  |
|                  | 14                                | 0,078                             | zandige leem; podsol     | loofblad; vaccinium vitis | B. Markert (1987)                 |
|                  | 1,4                               | 0,07                              | duinzand                 | loofblad; vaccinium vitis | B. Markert (1987)                 |
|                  | 0,44                              | 0,14                              | veen                     | loofblad; vaccinium vitis | B. Markert (1987)                 |
|                  | 1,4                               | 0,062                             | duinzand                 | naald; pinus sylvestris   | B. Markert (1987)                 |
|                  | 0,71                              | 0,12                              | veen                     | naald; pinus sylvestris   | B. Markert (1987)                 |
|                  | -                                 | 25                                | -                        | phytolacca americana      | Ichihashi (1992)                  |
|                  | 7                                 | <0,001                            | gemiddeld gehalte        | mais (w.w.)               | Laul (1979)                       |
|                  | 7                                 | <0,002                            | gemiddeld gehalte        | aardappel (w.w.)          | Laul (1979)                       |
|                  | 7                                 | <0,002                            | gemiddeld gehalte        | erwten (w.w.)             | Laul (1979)                       |
|                  | 7                                 | <0,001                            | gemiddeld gehalte        | pompoen (w.w.)            | Laul (1979)                       |
|                  | 8,4                               | 0,04                              | gemiddeld gehalte        | gras (w.w.)               | Laul (1979)                       |
|                  |                                   |                                   |                          |                           |                                   |
| 60. neodymium    | 30                                | <0,01 - 0,15                      | algemeen gemiddelde      | mais-gras (w.w.)          | Laul (1977) in: Coughtrey (1983)  |
|                  | -                                 | 6,5                               | -                        | Bryophytes                | Bowen (1966) in: Coughtrey (1983) |
|                  | 26                                | 0,13                              | zandige leem; podsol     | loofblad; vaccinium vitis | B. Markert (1987)                 |
|                  | 3,6                               | 0,073                             | duinzand                 | loofblad; vaccinium vitis | B. Markert (1987)                 |
|                  | 0,99                              | 0,1                               | veen                     | loofblad; vaccinium vitis | B. Markert (1987)                 |
|                  | 3,6                               | 0,15                              | duinzand                 | naald; pinus sylvestris   | B. Markert (1987)                 |
|                  | 1,2                               | 0,16                              | veen                     | naald; pinus sylvestris   | B. Markert (1987)                 |
|                  | 40                                | 62                                | gem. gehalte;schatting   | phytolacca americana      | Ichihashi (1992)                  |
|                  | -                                 | 35                                | -                        | dicranopteris dichotoma   | Ichihashi (1992)                  |
|                  | -                                 | 35                                | -                        | athyrium yokoscence       | Ichihashi (1992)                  |
|                  | -                                 | 0,03 - 0,18                       | -                        | tomaat (vrucht)           | Oladipo (1993)                    |
|                  | 29                                | <0,01                             | gemiddeld gehalte        | mais (w.w.)               | Laul (1979)                       |
|                  | 29                                | <0,01                             | gemiddeld gehalte        | aardappel (w.w.)          | Laul (1979)                       |
|                  | 29                                | <0,01                             | gemiddeld gehalte        | erwten (w.w.)             | Laul (1979)                       |
|                  | 29                                | <0,01                             | gemiddeld gehalte        | pompoen (w.w.)            | Laul (1979)                       |
|                  | 34,6                              | 0,15                              | gemiddeld gehalte        | gras (w.w.)               | Laul (1979)                       |
|                  | 116                               | 0,00023 - 0,0093                  | gemiddelde (27-447)      | mais (gem.)               | Linsalata (1989a)                 |
|                  | 116                               | 0,0046 - 0,064                    | gemiddelde (27-447)      | aardappel (gem.)          | Linsalata (1989a)                 |
|                  | 116                               | 0,014 - 0,46                      | gemiddelde (27-447)      | tapioca (gem.)            | Linsalata (1989a)                 |
|                  | 116                               | 0,075 - 0,26                      | gemiddelde (27-447)      | pompoen (gem.)            | Linsalata (1989a)                 |
|                  | 116                               | 0,0035 - 0,23                     | gemiddelde (27-447)      | bruine bonen (gem.)       | Linsalata (1989a)                 |
|                  | 116                               | 0,012 - 0,23                      | gemiddelde (27-447)      | wortel (gem.)             | Linsalata (1989a)                 |
|                  | 28,8                              | 0,286                             | siltige leem; gemiddelde | alfalfa (3e maaisel)      | Linsalata (1989b)                 |
|                  | 28,8                              | 0,115                             | siltige leem; gemiddelde | alfalfa (2e maaisel)      | Linsalata (1989b)                 |
|                  | 28,8                              | 0,119                             | siltige leem; gemiddelde | mais (kuilvoer)           | Linsalata (1989b)                 |
|                  | 28,8                              | 0,477                             | siltige leem; gemiddelde | gras (ongewassen)         | Linsalata (1989b)                 |
|                  | 28,8                              | 0,174                             | siltige leem; gemiddelde | gras (gewassen)           | Linsalata (1989b)                 |

|              | Bodem<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Plant<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Opmerkingen; Bodem       | Opmerkingen; Plant        | Referentie                        |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 62. samarium | 6                                 | 0,00021 - 0,035                   | algemeen gemiddelde      | aardappel-gras (w.w.)     | Laul (1977) in: Coughtrey (1983)  |
|              | -                                 | 0,0055                            | -                        | Angiosperms               | Bowen (1966) in: Coughtrey (1983) |
|              | 5,9                               | 0,049                             | zandige leem; podsol     | loofblad; vaccinium vitis | B. Markert (1987)                 |
|              | 0,86                              | 0,024                             | duinzand                 | loofblad; vaccinium vitis | B. Markert (1987)                 |
|              | 0,2                               | 0,027                             | veen                     | loofblad; vaccinium vitis | B. Markert (1987)                 |
|              | 0,86                              | 0,032                             | duinzand                 | naald; pinus sylvestris   | B. Markert (1987)                 |
|              | 0,25                              | 0,03                              | veen                     | naald; pinus sylvestris   | B. Markert (1987)                 |
|              | 18                                | 27                                | gem. gehalte; schatting  | phytolacca americana      | Ichihashi (1992)                  |
|              | -                                 | 1,6                               | -                        | dicranopteris dichotoma   | Ichihashi (1992)                  |
|              | -                                 | 0,004 - 0,02                      | -                        | tomaat (vrucht)           | Oladipo (1993)                    |
|              | 5,2                               | 0,00074                           | gemiddeld gehalte        | mais (w.w.)               | Laul (1979)                       |
|              | 5,2                               | 0,00021                           | gemiddeld gehalte        | aardappel (w.w.)          | Laul (1979)                       |
|              | 5,2                               | 0,00055                           | gemiddeld gehalte        | erwten (w.w.)             | Laul (1979)                       |
|              | 5,2                               | 0,001                             | gemiddeld gehalte        | pompoen (w.w.)            | Laul (1979)                       |
|              | 6,6                               | 0,035                             | gemiddeld gehalte        | gras (w.w.)               | Laul (1979)                       |
|              | -                                 | 0,052 - 0,08                      | -                        | Taraxacum officinale      | Djingova (1993)                   |
|              | -                                 | 0,034                             | -                        | Populus nigra             | Djingova (1993)                   |
|              | -                                 | 0,12                              | -                        | Trifolium repens          | Djingova (1993)                   |
|              | -                                 | 0,083                             | -                        | Rumex acetosella          | Djingova (1993)                   |
|              | -                                 | <0,001                            | -                        | Poa annua                 | Djingova (1993)                   |
|              | -                                 | <0,001                            | -                        | Lolium multiflorum        | Djingova (1993)                   |
|              | 6,8                               | 0,115                             | siltige leem; gemiddelde | alfalfa (3e maaisel)      | Linsalata (1989b)                 |
|              | 6,8                               | 0,026                             | siltige leem; gemiddelde | alfalfa (2e maaisel)      | Linsalata (1989b)                 |
|              | 6,8                               | 0,007                             | siltige leem; gemiddelde | mais (kolf)               | Linsalata (1989b)                 |
|              | 6,8                               | 0,032                             | siltige leem; gemiddelde | mais (kuilvoer)           | Linsalata (1989b)                 |
|              | 6,8                               | 0,115                             | siltige leem; gemiddelde | gras (ongewassen)         | Linsalata (1989b)                 |
|              | 6,8                               | 0,044                             | siltige leem; gemiddelde | gras (gewassen)           | Linsalata (1989b)                 |

|                       | Bodem<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Plant<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Opmerkingen; Bodem     | Opmerkingen; Plant                    | Referentie                        |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>63. europium</b>   | 1                                 | 0,00003 - 0,0084                  | algemeen gemiddelde    | aardappel-gras (w.w.)                 | Laul (1977) in: Coughtrey (1983)  |
| -                     | -                                 | 0,021                             | -                      | Angiosperms                           | Bowen (1966) in: Coughtrey (1983) |
| -                     | -                                 | <0,000348                         | -                      | gemiddelde gewassen (w.w.)<           | Oakes (1977) in: Coughtrey (1983) |
| -                     | -                                 | <0,0005                           | -                      | gem. aardappel/wortelgewassen (w.w.)< | Oakes (1977) in: Coughtrey (1983) |
| 1,5                   | 0,004                             |                                   | zandige leem; podsol   | loofblad; vaccinium vitis             | B. Markert (1987)                 |
| 0,17                  | 0,00082                           |                                   | duinzand               | loofblad; vaccinium vitis             | B. Markert (1987)                 |
| 0,032                 | 0,0056                            |                                   | veen                   | loofblad; vaccinium vitis             | B. Markert (1987)                 |
| 0,17                  | 0,0049                            |                                   | duinzand               | naald; pinus sylvestris               | B. Markert (1987)                 |
| 0,06                  | 0,0053                            |                                   | veen                   | naald; pinus sylvestris               | B. Markert (1987)                 |
| 2,2                   | 2,3                               |                                   | gem. gehalte;schatting | phytolacca americana                  | Ichihashi (1992)                  |
| -                     | 0,5                               |                                   | -                      | dicranopteris dichotoma               | Ichihashi (1992)                  |
| -                     | 2,3                               |                                   | -                      | athyrium yokoscence                   | Ichihashi (1992)                  |
| -                     | 0,7                               |                                   | -                      | parthenocissus tricuspidata           | Ichihashi (1992)                  |
| -                     | 0,073 - 0,074                     |                                   | -                      | Taraxacum officinale                  | Djingova (1993)                   |
| -                     | 0,018                             |                                   | -                      | Populus nigra                         | Djingova (1993)                   |
| -                     | 0,029                             |                                   | -                      | Trifolium repens                      | Djingova (1993)                   |
| -                     | 0,033                             |                                   | -                      | Rumex acetosella                      | Djingova (1993)                   |
| -                     | <0,001                            |                                   | -                      | Poa annua                             | Djingova (1993)                   |
| -                     | <0,001                            |                                   | -                      | Lolium multiflorum                    | Djingova (1993)                   |
| 0,46                  | 0,0001                            |                                   | gemiddeld gehalte      | mais (w.w.)                           | Laul (1979)                       |
| 0,46                  | 0,00003                           |                                   | gemiddeld gehalte      | aardappel (w.w.)                      | Laul (1979)                       |
| 0,46                  | 0,00004                           |                                   | gemiddeld gehalte      | erwten (w.w.)                         | Laul (1979)                       |
| 0,46                  | 0,0002                            |                                   | gemiddeld gehalte      | pompoen (w.w.)                        | Laul (1979)                       |
| 1,55                  | 0,0084                            |                                   | gemiddeld gehalte      | gras (w.w.)                           | Laul (1979)                       |
| <b>64. gadolinium</b> | 5                                 | 0,002 - 0,037                     | algemeen gemiddelde    | <0,002-0,037; aard. e.d.-gras (w.w.)  | Laul (1977) in: Coughtrey (1983)  |
| 5                     | 0,027                             |                                   | zandige leem; podsol   | loofblad; vaccinium vitis             | B. Markert (1987)                 |
| 0,7                   | 0,011                             |                                   | duinzand               | loofblad; vaccinium vitis             | B. Markert (1987)                 |
| 0,16                  | 0,023                             |                                   | veen                   | loofblad; vaccinium vitis             | B. Markert (1987)                 |
| 0,7                   | 0,025                             |                                   | duinzand               | naald; pinus sylvestris               | B. Markert (1987)                 |
| 0,21                  | 0,023                             |                                   | veen                   | naald; pinus sylvestris               | B. Markert (1987)                 |
| 19                    | 19                                |                                   | gem. gehalte;schatting | phytolacca americana                  | Ichihashi (1992)                  |
| -                     | 9,1                               |                                   | -                      | athyrium yokoscence                   | Ichihashi (1992)                  |
| -                     | 0,009 - 0,1                       |                                   | -                      | tomaat (vrucht)                       | Oladipo (1993)                    |
| 4                     | <0,002                            |                                   | gemiddeld gehalte      | mais (w.w.)                           | Laul (1979)                       |
| 4                     | <0,002                            |                                   | gemiddeld gehalte      | aardappel (w.w.)                      | Laul (1979)                       |
| 4                     | <0,002                            |                                   | gemiddeld gehalte      | erwten (w.w.)                         | Laul (1979)                       |
| 4                     | <0,003                            |                                   | gemiddeld gehalte      | pompoen (w.w.)                        | Laul (1979)                       |
| 6,2                   | 0,037                             |                                   | gemiddeld gehalte      | gras (w.w.)                           | Laul (1979)                       |



|                | Bodem<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Plant<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Opmerkingen; Bodem      | Opmerkingen; Plant         | Referentie                        |
|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 65. terbium    | 1,2                               | 0,0047                            | zandige leem; podsol    | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|                | 0,2                               | 0,012                             | duinzand                | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|                | 0,044                             | 0,014                             | veen                    | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|                | 0,2                               | 0,012                             | duinzand                | naald; pinus sylvestris    | B. Markert (1987)                 |
|                | 0,051                             | 0,022                             | veen                    | naald; pinus sylvestris    | B. Markert (1987)                 |
|                | 0,8                               | <0,0001 - 0,0086                  | algemeen gemiddelde     | aardappel e.d.-gras (w.w.) | Laul (1977) in: Coughtrey (1983)  |
|                | -                                 | <0,0015                           | -                       | Angiosperms                | Bowen (1966) in: Coughtrey (1983) |
|                | 0,58                              | <0,0001                           | gemiddeld gehalte       | mais (w.w.)                | Laul (1979)                       |
|                | 0,58                              | <0,0001                           | gemiddeld gehalte       | aardappel (w.w.)           | Laul (1979)                       |
|                | 0,58                              | <0,0001                           | gemiddeld gehalte       | erwten (w.w.)              | Laul (1979)                       |
|                | 0,58                              | <0,0002                           | gemiddeld gehalte       | pompoen (w.w.)             | Laul (1979)                       |
|                | 0,95                              | 0,0086                            | gemiddeld gehalte       | gras (w.w.)                | Laul (1979)                       |
| 66. dysprosium | 5                                 | 0,021                             | zandige leem; podsol    | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|                | 0,8                               | 0,0086                            | duinzand                | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|                | 0,14                              | 0,021                             | veen                    | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|                | 0,8                               | 0,022                             | duinzand                | naald; pinus sylvestris    | B. Markert (1987)                 |
|                | 0,18                              | 0,02                              | veen                    | naald; pinus sylvestris    | B. Markert (1987)                 |
|                | 4                                 | <0,02                             | algemeen gemiddelde     | Angiosperms                | Bowen (1966) in: Coughtrey (1983) |
|                | 6                                 | 12                                | gem. gehalte; schatting | phytolacca americana       | Ichihashi (1992)                  |
|                | -                                 | 2,4                               | -                       | dicranopteris dichotoma    | Ichihashi (1992)                  |
|                | -                                 | 8,7                               | -                       | athyrium yokoscence        | Ichihashi (1992)                  |
| 67. holmium    | 1,1                               | 0,00025                           | zandige leem; podsol    | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|                | 0,19                              | 0,0042                            | duinzand                | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|                | 0,033                             | 0,0041                            | veen                    | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|                | 0,19                              | 0,0051                            | duinzand                | naald; pinus sylvestris    | B. Markert (1987)                 |
|                | 0,041                             | 0,0039                            | veen                    | naald; pinus sylvestris    | B. Markert (1987)                 |
|                | -                                 | 1,5                               | -                       | athyrium yokoscence        | Ichihashi (1992)                  |
|                | 1                                 | 0,00012 - <0,02                   | algemeen gemiddelde     | aardappel e.d.-gras (w.w.) | Laul (1977) in: Coughtrey (1983)  |
|                | 0,93                              | 0,00012                           | gemiddeld gehalte       | mais (w.w.)                | Laul (1979)                       |
|                | 0,93                              | 0,000087                          | gemiddeld gehalte       | aardappel (w.w.)           | Laul (1979)                       |
|                | 0,93                              | 0,000062                          | gemiddeld gehalte       | erwten (w.w.)              | Laul (1979)                       |
|                | 0,93                              | 0,00014                           | gemiddeld gehalte       | pompoen (w.w.)             | Laul (1979)                       |
|                | 1,5                               | <0,02                             | gemiddeld gehalte       | gras (w.w.)                | Laul (1979)                       |

|             | Bodem<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Plant<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Opmerkingen; Bodem   | Opmerkingen; Plant        | Referentie                        |
|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 68. erbium  | 1,7                               | 0,0077                            | zandige leem; podsol | loofblad; vaccinium vitis | B. Markert (1987)                 |
|             | 0,26                              | 0,0015                            | duinzand             | loofblad; vaccinium vitis | B. Markert (1987)                 |
|             | 0,05                              | 0,0054                            | veen                 | loofblad; vaccinium vitis | B. Markert (1987)                 |
|             | 0,26                              | 0,0068                            | duinzand             | naald; pinus sylvestris   | B. Markert (1987)                 |
|             | 0,054                             | 0,006                             | veen                 | naald; pinus sylvestris   | B. Markert (1987)                 |
|             | 3                                 | <0,0005 - <0,5                    | algemeen gemiddelde  | aard. e.d.-gras (w.w.)    | Laul (1977) in: Coughtrey (1983)  |
|             | -                                 | 16                                | -                    | phytolacca americana      | Ichihashi (1992)                  |
|             | 2,2                               | <0,0005                           | gemiddeld gehalte    | mais (w.w.)               | Laul (1979)                       |
|             | 2,2                               | <0,002                            | gemiddeld gehalte    | aardappel (w.w.)          | Laul (1979)                       |
|             | 2,2                               | <0,0005                           | gemiddeld gehalte    | erwten (w.w.)             | Laul (1979)                       |
|             | 2,2                               | <0,0005                           | gemiddeld gehalte    | pompoen (w.w.)            | Laul (1979)                       |
|             | 3,9                               | <0,5                              | gemiddeld gehalte    | gras (w.w.)               | Laul (1979)                       |
|             |                                   |                                   |                      |                           |                                   |
| 69. thulium | 0,058                             | 0,0011                            | duinzand             | naald; pinus sylvestris   | B. Markert (1987)                 |
|             | 0,015                             | 0,0017                            | veen                 | naald; pinus sylvestris   | B. Markert (1987)                 |
|             | 0,5                               | <0,0001 - 0,05                    | algemeen gemiddelde  | aardappel-gras (w.w.)     | Laul (1977) in: Coughtrey (1983)  |
|             | -                                 | 0,0015                            | -                    | Angiosperms               | Bowen (1966) in: Coughtrey (1983) |
|             | -                                 | 12                                | -                    | phytolacca americana      | Ichihashi (1992)                  |
|             | -                                 | 2,4                               | -                    | dicranopteris dichotoma   | Ichihashi (1992)                  |
|             | -                                 | 2,7                               | -                    | lantana camara            | Ichihashi (1992)                  |
|             | 0,33                              | <0,0003                           | gemiddeld gehalte    | mais (w.w.)               | Laul (1979)                       |
|             | 0,33                              | <0,0001                           | gemiddeld gehalte    | aardappel (w.w.)          | Laul (1979)                       |
|             | 0,33                              | <0,0002                           | gemiddeld gehalte    | erwten (w.w.)             | Laul (1979)                       |
|             | 0,33                              | <0,0002                           | gemiddeld gehalte    | pompoen (w.w.)            | Laul (1979)                       |
|             | 0,59                              | 0,05                              | gemiddeld gehalte    | gras (w.w.)               | Laul (1979)                       |
|             |                                   |                                   |                      |                           |                                   |

|               | Bodem<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Plant<br>(mg.kg <sup>-1</sup> dw) | Opmerkingen; Bodem   | Opmerkingen; Plant         | Referentie                        |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 70. ytterbium | 2,8                               | 0,01                              | zandige leem; podsol | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|               | 0,38                              | 0,0025                            | duinzand             | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|               | 0,072                             | 0,0086                            | veen                 | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|               | 0,38                              | 0,0082                            | duinzand             | naald; pinus sylvestris    | B. Markert (1987)                 |
|               | 0,077                             | 0,0085                            | veen                 | naald; pinus sylvestris    | B. Markert (1987)                 |
|               | 0,8                               | 0,00008 - 0,02                    | algemeen gemiddelde  | aardappel e.d.-gras (w.w.) | Laul (1977) in: Coughtrey (1983)  |
|               | -                                 | <0,0015                           | -                    | Angiosperms                | Bowen (1966) in: Coughtrey (1983) |
|               | -                                 | 0,2                               | -                    | Bryophytes                 | Bowen (1966) in: Coughtrey (1983) |
|               | 2,4                               | 6,8                               | gemiddeld gehalte    | phytolacca americana       | Ichihashi (1992)                  |
|               | -                                 | 3,3                               | -                    | athyrium yokoscence        | Ichihashi (1992)                  |
|               | -                                 | 0,6                               | -                    | oenothera biennis          | Ichihashi (1992)                  |
|               | -                                 | <0,001 - 0,014                    | -                    | Taraxacum officinale       | Djingova (1993)                   |
|               | -                                 | 0,044                             | -                    | Populus nigra              | Djingova (1993)                   |
|               | -                                 | <0,001                            | -                    | Trifolium repens           | Djingova (1993)                   |
|               | -                                 | 0,014                             | -                    | Rumex acetosella           | Djingova (1993)                   |
|               | -                                 | <0,001                            | -                    | Poa annua                  | Djingova (1993)                   |
|               | -                                 | <0,001                            | -                    | Lolium multiflorum         | Djingova (1993)                   |
|               | 2,3                               | 0,0002                            | gemiddeld gehalte    | mais (w.w.)                | Laul (1979)                       |
|               | 2,3                               | 0,00008                           | gemiddeld gehalte    | aardappel (w.w.)           | Laul (1979)                       |
|               | 2,3                               | 0,00009                           | gemiddeld gehalte    | erwten (w.w.)              | Laul (1979)                       |
|               | 2,3                               | 0,00042                           | gemiddeld gehalte    | pompoen (w.w.)             | Laul (1979)                       |
|               | 3,5                               | 0,02                              | gemiddeld gehalte    | gras (w.w.)                | Laul (1979)                       |
| 71. lutetium  | 0,38                              | 0,0019                            | zandige leem; podsol | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|               | 0,054                             | 0,0012                            | duinzand             | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|               | 0,014                             | 0,0023                            | veen                 | loofblad; vaccinium vitis  | B. Markert (1987)                 |
|               | 0,054                             | 0,002                             | duinzand             | naald; pinus sylvestris    | B. Markert (1987)                 |
|               | 0,012                             | 0,0019                            | veen                 | naald; pinus sylvestris    | B. Markert (1987)                 |
|               | 0,5                               | 0,000013 - 0,003                  | algemeen gemiddelde  | doperwt e.d.-gras (w.w.)   | Laul (1977) in: Coughtrey (1983)  |
|               | 0,7                               | 1                                 | gemiddeld gehalte    | phytolacca americana       | Ichihashi (1992)                  |
|               | -                                 | 0,4                               | -                    | athyrium yokoscence        | Ichihashi (1992)                  |
|               | 0,34                              | 0,000027                          | gemiddeld gehalte    | mais (w.w.)                | Laul (1979)                       |
|               | 0,34                              | <0,00002                          | gemiddeld gehalte    | aardappel (w.w.)           | Laul (1979)                       |
|               | 0,34                              | 0,000013                          | gemiddeld gehalte    | erwten (w.w.)              | Laul (1979)                       |
|               | 0,34                              | 0,00004                           | gemiddeld gehalte    | pompoen (w.w.)             | Laul (1979)                       |
|               | 0,51                              | 0,003                             | gemiddeld gehalte    | gras (w.w.)                | Laul (1979)                       |