



ALTERRA

WAGENINGEN UR



# Verkenning mogelijke schaarste aan micronutriënten in het voedselsysteem

Alterra-rapport 2413  
ISSN 1566-7197

W.J. Chardon en O. Oenema



---

Verkenning mogelijke schaarste aan  
micronutriënten in het voedselsysteem

---

---

---

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het BO-programma 'Innovaties voedselketen'  
Projectcode BO-08-018.04

---

---

# Verkenning mogelijke schaarste aan micronutriënten in het voedselsysteem

W.J. Chardon en O. Oenema

**Alterra-rapport 2413**

Alterra Wageningen UR  
Wageningen, 2013

---

## Referaat

Chardon, W.J. en O. Oenema, 2013. *Verkenning mogelijke schaarste aan micronutriënten in het voedselsysteem*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2413. 44 blz.; 5 fig.; 9 tab.; 21 ref.

Onder een micro-nutriënt wordt verstaan: een element dat essentieel is voor de groei en het functioneren van de plant, een dier of de mens, maar waarvan de benodigde hoeveelheid relatief klein is. In dit rapport zijn zes elementen geselecteerd omdat zij aantoonbaar essentieel zijn voor meerdere soorten gewassen of voor de veehouderij, en omdat de mate van vóórkomen in de aardkorst relatief gering is, waardoor (toekomstige) mondiale schaarste denkbaar is. Deze elementen zijn resp. borium, kobalt, koper, molybdeen, seleen en zink (B, Co, Cu, Mo, Se, en Zn). Alleen voor B en Se dragen de akker- en tuinbouw en de veehouderij significant bij aan het huidige mondiale gebruik: Se in de veehouderij 11% van totaal, en B in akker- en tuinbouw 12% van totaal verbruik. Prijsfluctuaties van Se en B zijn groot en wijzen op schaarste; binnen de industrie vindt recycling van deze elementen nauwelijks plaats. Binnen het voedselsysteem vindt recycling plaats van micronutriënten via hergebruik van dierlijke mest, gewasresten, compost en zuiveringsslib. Voor alle industrieel gebruikte micronutriënten zijn er alternatieven, behalve voor Co. In bodems vindt niet-duurzame ophoping plaats van Cu en Zn via mest, vooral in gebieden met een hoge veedichtheid.

Trefwoorden: micro-nutriënt, borium, kobalt, koper, molybdeen, seleen, zink, recycling, schaarste, ophoping.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra) (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op [www.rapportbestellen.nl](http://www.rapportbestellen.nl).

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)  
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

**Alterra-rapport 2413**

Wageningen, februari 2013

# Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Te behandelen micronutriënten	11
2.1 Selectie van elementen die in dit rapport worden behandeld	12
3 Prijsontwikkeling en reserves van micronutriënten	15
3.1 Prijsontwikkeling	15
3.1 Risico van verstoring van aanvoer	20
4 Analyse per micronutriënt	23
4.1 B - borium	23
4.1.1 Belang voor plant/dier	23
4.1.2 Gebruik buiten landbouw	23
4.1.3 Verwachte ontwikkeling in gebruik/risico van tekort	23
4.1.4 Aanwijzing voor aanrijking toplaag in Nederland	24
4.2 Co - kobalt	24
4.2.1 Belang voor plant/dier	24
4.2.2 Gebruik buiten landbouw	24
4.2.3 Verwachte ontwikkeling in gebruik/risico van tekort	24
4.2.4 Aanwijzing voor aanrijking toplaag in Nederland	24
4.3 Cu - koper	25
4.3.1 Belang voor plant/dier	25
4.3.2 Gebruik buiten landbouw	26
4.3.3 Verwachte ontwikkeling in gebruik/risico van tekort	26
4.3.4 Aanwijzing voor aanrijking toplaag in Nederland	26
4.4 Mo - molybdeen	26
4.4.1 Belang voor plant/dier	26
4.4.2 Gebruik buiten landbouw	27
4.4.3 Verwachte ontwikkeling in gebruik/risico van tekort	27
4.4.4 Aanwijzing voor aanrijking toplaag in Nederland	27
4.5 Se - seleen	27
4.5.1 Belang voor plant/dier	27
4.5.2 Gebruik buiten landbouw	27
4.5.3 Verwachte ontwikkeling in gebruik/risico van tekort	28
4.5.4 Aanwijzing voor aanrijking toplaag in Nederland	28
4.6 Zn - zink	28
4.6.1 Belang voor plant/dier	28
4.6.2 Gebruik buiten landbouw	29
4.6.3 Verwachte ontwikkeling in gebruik/risico van tekort	29
4.6.4 Aanwijzing voor aanrijking toplaag in Nederland	29

5	Oplossingen voor mogelijk tekort	31
5.1	Verhogen van efficiency bij gebruik	31
5.2	Recyclen	32
5.3	Nieuwe bronnen	32
5.4	Vervangingen van het element door ander materiaal	33
5.4.1	B - borium	33
5.4.2	Co - kobalt	33
5.4.3	Cu - koper	33
5.4.4	Mo - molybdeen	33
5.4.5	Se - seleen	33
5.4.6	Zn - zink	34
6	Synthese	35
6.1	Per element	35
6.1.1	B - borium	35
6.1.2	Co - kobalt	35
6.1.3	Cu - koper	35
6.1.4	Mo - molybdeen	35
6.1.5	Se - seleen	36
6.1.6	Zn - zink	36
6.2	Algemeen, doelstellingen project	36
6.3	Conclusies	37
6.4	Suggesties voor beleid	37
7	Referenties	39
	Bijlage 1	41
	Bijlage 2	43



# Samenvatting

Onder een sporenelement wordt verstaan een element dat essentieel is voor de groei en het functioneren van de plant, een dier of de mens, maar waarvan de benodigde hoeveelheid relatief klein is.

In dit rapport zijn een groot aantal elementen onderzocht die in de literatuur genoemd worden als micronutriënt. Daarvan zijn er uiteindelijk zes geselecteerd omdat zij aantoonbaar essentieel zijn voor meerdere soorten gewassen of voor de veehouderij, en omdat de mate van vóorkomen in de aardkorst relatief gering is, waardoor (toekomstige) mondiale schaarste denkbaar is. Deze elementen zijn resp. borium, kobalt, koper, molybdeen, seleen en zink (B, Co, Cu, Mo, Se, en Zn). Alleen voor borium en seleen dragen de akker- en tuinbouw en de veehouderij significant bij aan het huidige mondiale gebruik: seleen in de veehouderij 11% van totaal, en borium in akker- en tuinbouw 12% van het mondiale verbruik.

Nagegaan werd of prijsstijgingen of -fluctuaties wijzen op mogelijke (speculatie op) schaarste, of er alternatieven bestaan voor het gebruik in huidige toepassingen, en of er sprake is van recycling. Verwacht wordt dat meer aandacht voor recycling belangrijk zou kunnen bijdragen aan het verkleinen van de kans op schaarste, maar ook dat een verhoging van de kostprijs van de elementen dan vaak een voorwaarde is om dat rendabel te maken.

De landbouw in het algemeen is slechts voor de elementen borium en seleen verantwoordelijk voor een significant deel (resp. 12 en 11%) van het wereldgebruik. Borium heeft een stabiele, lage kostprijs, en is voor een aantal huidige toepassingen goed vervangbaar door andere stoffen. Er is geen aanwijzing voor schaarste, dus geen indicatie voor een bijdrage van het voedselsysteem aan mondiale uitputting van borium. Daarentegen fluctueert de prijs van seleen sterk en vertoont een stijgende lijn, duidend op mogelijke schaarste of op speculatie op schaarste. Vervanging van seleen is niet goed mogelijk, en rekening moet worden gehouden met een stijging van de kostprijs voor de veehouderij, waarin seleen wordt toegediend. Optimalisatie van dat verbruik van seleen verdient dan ook aanbeveling.

Buiten Nederland is regionale uitputting van de bodem met micronutriënten mogelijk wanneer gewassen (*food, feed or fiber*) worden geëxporteerd zonder dat bemesting met dierlijke mest of met sporenelementen plaatsvindt. Ook met macronutriënten zoals fosfor of kalium is dit het geval. Lokale recycling van gewasresten en dierlijke mest, of van de as hiervan wanneer dierlijke mest als brandstof is gebruikt, moet worden bevorderd.

Zowel voor koper als zink wordt een accumulatie gevonden in de bodem van Nederlandse landbouwgronden door hoge gehalten in dierlijke mest. Zowel uit milieuoogpunt - risico op uitspoeling naar oppervlaktewater - als vanwege mogelijke toekomstige schaarste moeten de mogelijkheden worden onderzocht om de aan de voeding toegediende hoeveelheden te verlagen, eventueel in combinatie met het vergroten van de werkzaamheid ervan.

## Conclusies

- Van de ca. 20 mogelijke micronutriënten voor planten en dieren hebben zes een potentieel aspect van schaarste, namelijk: borium, kobalt, koper, molybdeen, selenium en zink (B, Co, Cu, Mo, Se en Zn).
- Het mondiale gebruik van deze elementen in het voedselsysteem varieert van <1% tot 11% (Se en B) van het totale gebruik.
- Binnen het voedselsysteem vindt recycling plaats van micronutriënten via dierlijke mest, gewasresten, compost en slib.
- In bodems vindt niet-duurzame ophoping plaats van Cu en Zn via mest, vooral in gebieden met hoge veedichtheid.
- Gebruik van micronutriënten in diervoeding is veelal hoger dan gepubliceerde voedernormen; verlaging vereist nader onderzoek en beleid in internationaal verband.
- Prijsfluctuaties van selenium en borium zijn groot en wijzen op schaarste; recycling van beide elementen vindt echter nauwelijks plaats.
- De verhouding reserves/jaarlijkse productie (R/P) van B, Co, Cu, Mo, Se en Zn varieert van 20 tot 84.
- De gerapporteerde relatief lage R/P van Zn (20-46) stemt niet overeen met de relatief lage en stabiele prijzen van Zn.
- Voor alle micronutriënten gebruikt door de industrie zijn er alternatieven, behalve voor Co.
- Door het lage gehalte in mengvoer hebben prijsfluctuaties van micronutriënten een beperkt effect op de voerprijs.

## Suggesties voor beleid

- Stimuleer het hergebruik van B, Co, Cu, Mo, Se en Zn, waar mogelijk.
- Stimuleer binnen de industrie de vervanging van primair B, Cu, Mo, Se en Zn door andere materialen, waar mogelijk.
- Stimuleer in internationaal verband het gebruik in diervoeder op basis van 'officieel' vastgestelde voedernormen.
- Stimuleer onderzoek naar behoefte en benutting van micronutriënten in diervoeding ter onderbouwing van een mogelijke verlaging van de gehalten aan Cu en Zn.

# 1 Inleiding

Binnen het ministerie voor Economische Zaken bestaat de vrees dat voor sommige micronutriënten schaarste zou kunnen ontstaan in de toekomst. Onder een micronutriënt, ook wel sporenelementen genoemd, wordt een stof verstaan die enerzijds essentieel is voor de groei van (sommige) planten en/of dieren, en waarvan anderzijds de behoefte relatief gering is<sup>1</sup>. Een mogelijke toekomstige schaarste werd besproken tijdens een workshop, die eind 2011 werd georganiseerd door het Platform Landbouw, Innovatie & Samenleving, een onafhankelijk adviesorgaan van het ministerie van Economische Zaken. Recent zijn door dit Platform ook achtergrondrapporten uitgebracht (Udo de Haes et al., 2012; Voortman, 2012). In die rapporten wordt een beeld geschetst van mondiale voorraden aan, en gebreksverschijnselen van vooral selenium en zink. In dit rapport wordt op een aantal punten meer de nadruk gelegd op de situatie in Nederland, en wordt ook aandacht besteed aan de elementen borium, kobalt, koper en molybdeen.

Nadelige gevolgen van een schaarste aan micronutriënten zijn vooral mogelijk bij elementen die in de landbouw (hieronder wordt in dit rapport verstaan: akkerbouw, tuinbouw en veehouderij) worden gebruikt, en ook een industriële toepassing hebben, en waarvoor verwacht wordt dat de vraag in de toekomst sterk kan stijgen. De stijging van de vraag kan het gevolg zijn van: (1) te verwachten groei van de wereldbevolking, (2) stijging van de welvaart, zoals bijvoorbeeld in China, en (3) technologische ontwikkelingen. Door mondiale schaarste zouden deze mineralen dan niet meer, of alleen tegen (veel) hogere kosten, beschikbaar zijn voor de ondernemer, en dit zou daarmee een bedreiging kunnen gaan vormen voor de voedselzekerheid.

In het projectplan zijn de doelstellingen van dit project als volgt geformuleerd:

1. Verkenning van de mogelijke mondiale of regionale uitputting van andere minerale nutriënten dan fosfaat in ons voedselsysteem door import van voedsel, veevoer en andere biomassa (*food, feed en fiber*).
2. Verkenning van de mogelijkheden om eventueel niet-duurzame verliezen van deze (micro-)nutriënten naar het milieu en/of niet-duurzame accumulatie in, dan wel uitputting van, de bodem te voorkomen.
3. Verkenning van de potentiële gevolgen van een niet-duurzame uitputting van deze (micro)nutriënten en van de mogelijkheden om de oorzaken (bronnen van uitputting en verlies) aan te pakken of de gevolgen te beperken.

In dit rapport wordt nagegaan welke elementen als micronutriënt worden gezien voor de landbouw en of er bemesting/additie wordt toegepast voor die elementen (hoofdstuk 2). Voor sommige elementen geldt dat deze in zulke grote hoeveelheden via depositie het bodemoppervlak bereiken dat aparte bemesting niet noodzakelijk is. In het verleden was dit het geval voor zwavel in grote delen van Nederland, maar door afname van de emissie van SO<sub>2</sub> naar de lucht is de depositie sterk afgenomen en is bemesting met zwavel nu lokaal wel weer noodzakelijk. Het beperken van de uitstoot van vlieggas bij verbrandingsinstallaties, met 50% sinds 1990, is zeer waarschijnlijk verantwoordelijk voor een vermindering van de aanvoer van micronutriënten door depositie. In de veehouderij kan het voorkomen dat van bepaalde elementen al zoveel wordt aangevoerd via ruwvoeder en grondstoffen voor mengvoeder dat aanvulling via het dieet niet noodzakelijk is. De veehouderij wordt in dit rapport slechts summier behandeld, maar uitgebreid in het rapport van Van Krimpen et al., 2012.

---

1 Voor micronutriënten en planten wordt een grens aangehouden voor het vereiste gehalte in de droge stof (d.s.) van <0.005%, overeenkomend met 50 mg kg<sup>-1</sup> d.s. (Jones, 1991, p. 478). Voor dieren wordt veelal als criterium gebruikt dat het vereiste gehalte in het voer ≤100 mg kg<sup>-1</sup> d.s. bedraagt (Miller et al., 1991).

Aangenomen mag worden dat voor micronutriënten die niet via bemesting of als supplement worden toegepast een marktverstoring door prijsstijging minder waarschijnlijk is.

Behalve schaarste kunnen prijsstijgingen verschillende andere oorzaken hebben:

- Nieuwe ertsvoorraden die worden geëxploiteerd hebben vaak een lager gehalte aan het gewenste element, en dat vraagt meer energie voor het winnen van het element.
- Milieueisen worden strenger en dat werkt kostenverhogend, daarnaast stijgen de kosten van arbeid en logistiek (Russel, persoonlijke mededeling.; zie samenvatting vraaggesprek in bijlage 2).
- Speculatie door grondstoffenhandelaren.
- Geopolitieke aspecten, zoals het sluiten van de grenzen voor export om de eigen industrie te beschermen; zo heeft China exportrestricties ingesteld voor onder meer Al, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni en P (CEC, 2008; annex 4, tabel 1).
- Trage reactie van de mijnbouwindustrie op een toename van de vraag; het zoeken naar nieuwe voorraden is kostbaar, het opstarten van winning is tijdrovend. Dit kan leiden tot een tijdelijke schaarste en hogere prijzen. Echter, tussen 1974 en 2004 leidde overcapaciteit juist tot prijsverlagingen (CEC, 2008; annex 4, figuur 1).

Sommige micronutriënten komen in zulke grote hoeveelheden voor in de aardkorst dat niet gevreesd hoeft te worden voor prijsstijgingen als gevolg van een mondiaal tekort; deze stoffen worden in dit rapport dan ook slechts summier behandeld. Dit geldt bijvoorbeeld voor aluminium, chloride, ijzer, jodium, mangaan, natrium en silicium. Voor de resterende micronutriënten wordt nagegaan of er een risico bestaat van schaarste en daardoor van prijsstijgingen, en of er eventueel oplossingen mogelijk zijn zoals efficiënter gebruik binnen de landbouw of het stimuleren van recyclen ervan.

## 2 Te behandelen micronutriënten

Op basis van gehalten in plant en dier wordt in de literatuur onderscheid gemaakt tussen zogenaamde macronutriënten (N, P, K, Ca, Mg, en S) en micronutriënten (zie voetnoot Inleiding). Beneden een bepaald gehalte in plant of dier(voeding) wordt gesproken over micronutriënten, met als bekendste stoffen B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo en Zn. Daarnaast zijn er een aantal stoffen die door sommige bronnen (nog) niet algemeen worden genoemd als micronutriënt voor plantenvoeding, maar door andere bronnen wel; dit zijn bijvoorbeeld: Al, As, Co, Cr, F, I, Na, Ni, Pb, Se, Si, Sn en V. Voor veel stoffen uit de laatste groep geldt dat ze alleen voor bepaalde groepen planten van belang zijn, of wel in diervoeding maar niet voor alle planten. In de verdere tekst zal dit per element worden behandeld.

In tabel 1 zijn alle stoffen opgenomen die het handboek *Micronutrients in Agriculture* (ed. Mortvedt et al., 1991) worden genoemd als mogelijk van belang als micronutriënt. In de tabel wordt aangegeven of de stof in andere handboeken wordt genoemd; een (x) geeft aan dat het element niet voor alle planten essentieel is of dit nog niet is aangetoond. Aangegeven is of een stof essentieel is voor de voeding van plant en/of dier, en per element is opgenomen wat het mediane gehalte is in een gemiddelde bodem.

Op basis van dat mediane gehalte wordt in kolom 7 met \*\* aangegeven als er geen mondiale schaarste verwacht wordt; bij \*\*\* is dit om andere redenen het geval, zie daarvoor 2.1 'Selectie van elementen'.

**Tabel 1**

Elementen die in verschillende literatuurbronnen als micronutriënt worden genoemd voor plant of dier, met mediaan gehalte in 'wereldbodem' en verwachte schaarste.

	Bron	Bron	Bron	Bron	Bron	Wereld-	Geen
	SSSA	Mengel	Wild	Underwood	Miller	bodem	Schaarste
Element	Handboek	Plant	Plant	Dier	Diervoeding	mg kg <sup>-1</sup>	
Noot	1	2	3	4	5	6	7
Al	x	(x)				71000	**
As	x				0	6	***
B	x	x	x		0	10	
Cl	x	x	x	x	macronutr.	100	**
Co	x	(x)	(x)		x	8	
Cr	x	-		x	0	100	***
Cu	x	x	x	x	x	20	
F	x			x		200	***
Fe	x	x	x	x	x	38000	**
I	x	(x)		x	x	5	***
Mn	x	x	x	x	x	850	**
Mo	x	x	x	x	0	2	
Na	x	x	(x)		macronutr.	6300	**
Ni	x	(x)	(x)	x	0	40	***
Pb	x				0	10	***
Se	x	(x)		x	x	0.2	
Si	x	x	(x)	x	0	333000	**
Sn	x			x	0	10	***
V	x		(x)	x	0	100	***
Zn	x	x	x	x	x	50	

Noot 1. Genoemd in Mortvedt et al. (ed., 1991).

Noot 2. Mengel en Kirkby (1987).

Noot 3. Wild (ed., 1988).

Noot 4. Underwood (1977).

Noot 5. Miller (1991), een '0' in deze kolom geeft aan dat de aanvoer via voeders zo groot is dat een tekort bij dieren niet wordt verwacht.

Noot 6. Tabel 1.2 in: Helmke (2000), mediane gehalten voor 'World soils'.

Noot 7. \*\* en \*\*\* geven aan dat voor het element geen schaarste wordt verwacht.

## 2.1 Selectie van elementen die in dit rapport worden behandeld

Op basis van het mediane gehalte van het element in de bodem (tabel 1, noot 6), of elders in het milieu, wordt aangenomen dat voor de elementen Al, Cl, Fe, I, Mn, Na en Si geen schaarste of prijsstijgingen verwacht worden die van wezenlijke invloed zijn op de landbouw. In de tabel is dit aangegeven met \*\*. Van jodium (I) wordt de wereldwijde voorraad in de bodem als hoog ingeschat, en daarnaast bevat zeewater ook grote, via zeevier winbare, hoeveelheden (USGS, 2012). Voor de macronutriënten zijn de mediane bodemgehalten (in mg kg<sup>-1</sup>): N=1000; P=650; K=14000; Ca=13700; Mg=5000; S=700 (Helmke, 2000).

Voor een aantal elementen geldt dat zij wel als essentieel worden gezien in diervoeding, maar dat op basis van de aanvoer via voedermiddelen niet wordt verwacht dat er een tekort ontstaat. In dit verband worden door Miller (1991) genoemd: As, B, Cr, Ni, Pb, Si, Sn, V. Voor planten is B echter wel essentieel, en Si werd hierboven al genoemd vanwege het hoge gehalte in de bodem. De stoffen As, Cr, Ni, Pb, Sn, V worden daarom verder niet behandeld, en zijn in tabel 1 aangeduid met \*\*\*.

Op basis van deze (negatieve) selectie is in tabel 2 aangegeven welke elementen wel zijn geselecteerd en uitvoerig aan bod komen. In de tabel is een gehalte aangegeven van de stof in plantenmateriaal, ontleend aan Voortman (2012); de gehalten nemen toe in de volgorde Se < Co < Mo << Cu < B < Zn. Ook is aangegeven als het element door de EU als 'Critical Raw Material' wordt aangemerkt (CRM) of wanneer er bij bepaalde landen exportrestricties bestaan voor het element (ER, beide gevallen China).

**Tabel 2**

*Geselecteerde stoffen die in dit rapport verder worden behandeld.*

	Bron	Bron	Bron	Bron	Bron	Wereld-	Gehalte	
	SSSA	Mengel	Wild	Underwood	Miller	bodem	in plant	Crit. RM /
Element	Handboek	Plant	Plant	Dier	Diervoeding	mg/kg	mg/kg	Exp.Restr.
Noot	1	2	3	4	5	6	7	8
B	x	x	x		0	10	40	
Co	x	(x)	(x)	x	x	8	0.2	CRM
Cu	x	x	x	x	x	20	10	ER
Mo	x	x	x	x	0	2	0.5	ER
Se	x	(x)		x	x	0.2	0.02	
Zn	x	x	x	x	x	50	50	

Noot 1: 6, zie tabel 1.

Noot 7: Gebaseerd op compilatie gemaakt in Voortman (2012).

Noot 8: Critical Raw Material of bestaande Export Restrictions; bron: European Commission (2010).



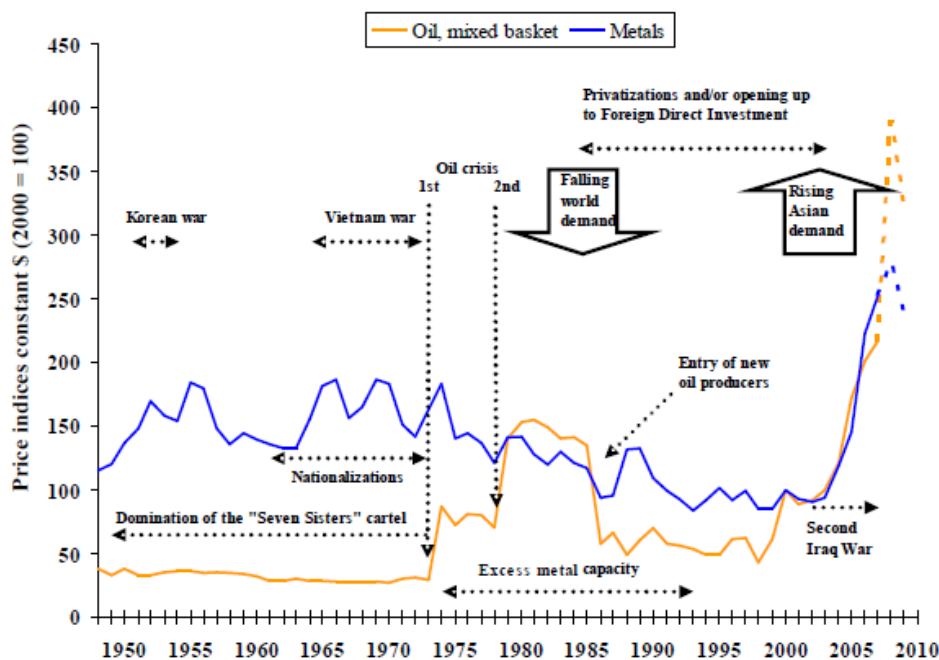


# 3 Prijsontwikkeling en reserves van micronutriënten

## 3.1 Prijsontwikkeling

In onderstaande figuur is de prijsontwikkeling van ruwe olie en metalen weergegeven, gecorrigeerd voor inflatie, over de periode 1948-2007, met een globale schatting door de Europese Commissie voor 2008 en 2009 (bron: CEC, 2008). Voor metalen is de prijsindex gebaseerd op die van Al (36.3 %); Cu (26.6%); Fe (12.5%); Ni (10.4%); Zn (5.9%); U (4.8%); Pb (2.1%) en Sn (1.4%); (noot: van deze metalen worden alleen Cu en Zn in dit rapport behandeld). In de figuur is te zien dat de prijs van olie zeer stabiel was tot de eerste oliecrisis in 1973, en dat de prijs van de onderzochte groep metalen vrij stabiel was gedurende die periode. Tussen 1974 en 1993 vertoonden de prijzen van metalen een dalende tendens, dit wordt toegeschreven aan overcapaciteit bij de producenten, om daarna vrij stabiel te blijven tot 2003. De olieprijs steeg sterk in 1973 en 1978 door oliecrises, daalde sterk na 1985 door de opkomst van nieuwe olieproducenten, en bleef vrij stabiel tussen 1991 en 1999.

Real price indices of metallic minerals and crude oil - 1948-2007



Figuur 1

Prijsontwikkeling van olie en mineralen in de jaren 1948 – 2009, uitgedrukt in prijzen van 2000.

Bron: CEC (2008).

Tussen 1999 en 2008 steeg de olieprijs met meer dan 500%, en die van metalen met bijna 200%, waarna beide weer enigszins daalden in 2008 en 2009. Uit figuur 1 blijkt dat een stijging van de olieprijs vaak gepaard gaat met een (lichtere) stijging van die van metalen, na 2003 is het prijsverloop sterk gekoppeld. Doordat het winnen van metalen veel energie kost is een zeker verband tussen de prijzen verklaarbaar, maar na 2003 valt onzekerheid van olieleveranties door de tweede oorlog in Irak samen met een toegenomen vraag naar metalen vanuit Azië. Dit wordt nog eens versterkt doordat China exportrestricties heeft ingevoerd voor de belangrijkste metalen waarop de prijsindex is gebaseerd (Al, Cu, Fe en Ni).

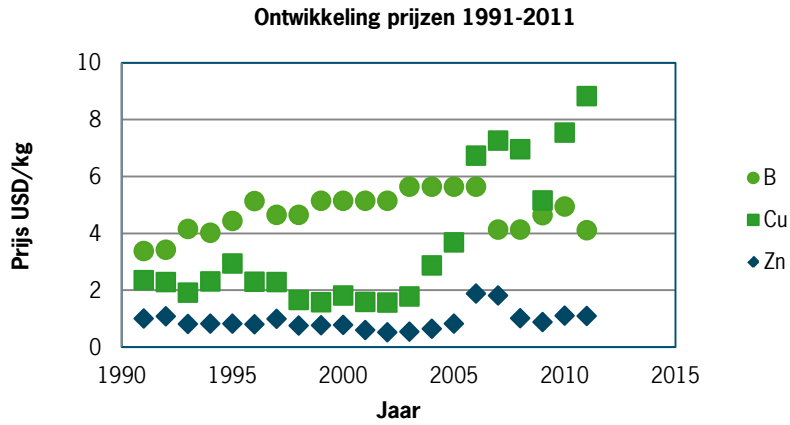
Voor de in dit rapport besproken micronutriënten zijn de prijzen voor de periode 2007-2011 opgenomen in tabel 3. Van de zes elementen is de prijs van Zn het laagst, gevolgd door die van B en Cu; de prijzen van Mo en Co zijn een stuk hoger en Se is veruit het duurste micronutriënt. Voor de periode 1991-2011 zijn de prijzen weergegeven in de figuren 2a en 2b. In figuur 3 zijn de prijzen genormaliseerd op die van 1991, waarbij een inflatiecorrectie is toegepast van 3% per jaar. Uit figuur 3 blijkt dat voor B, Co en Zn de prijzen vrij stabiel zijn vergeleken met 1991, dat de prijs van Cu verdubbeld is, en die van Mo en Se sterk zijn gestegen vergeleken met 1991.

**Tabel 3**

*Ontwikkeling prijzen van element 2007-2011 (USD/kg).*

Element	2007	2008	2009	2010	2011	Gemiddeld
B	4.1	4.1	4.6	4.9	4.1	4.4
Co	67	86	39	46	40	56
Cu	7.1	7.0	5.2	7.5	8.8	7.1
Mo	67	63	26	35	35	45
Se	73	71	51	83	143	84
Zn	3.2	1.9	1.7	2.2	2.2	2.2

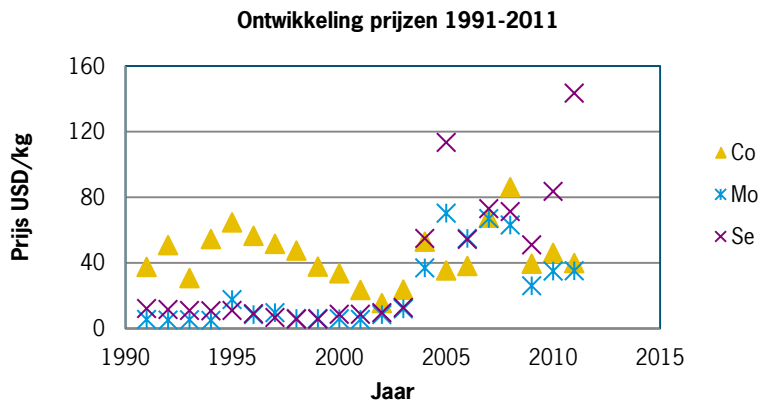
Bron: USGS, Minerals Yearbook: Volume I. – Metals and Minerals, rapportages 2012. De prijs van borium is geschat uit die van borax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), [<http://www.alibaba.com/showroom/borax.html>], na correctie voor het B-gehalte hiervan (11.3 %).



**Figuur 2a**

Prijzontwikkeling van de micronutriënten B, Cu en Zn gedurende 1991-2011.

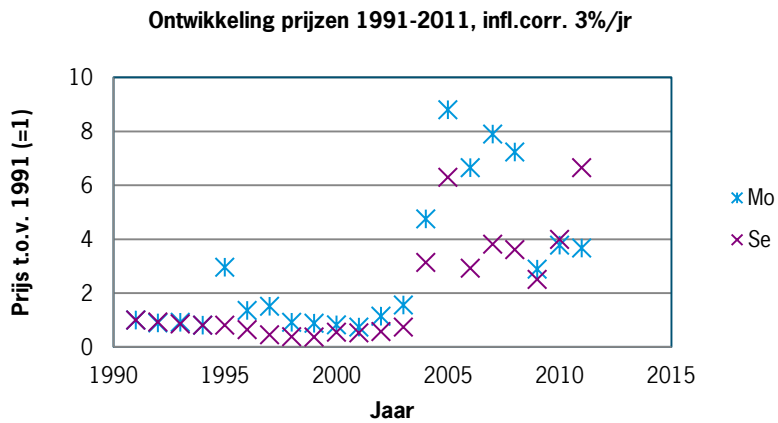
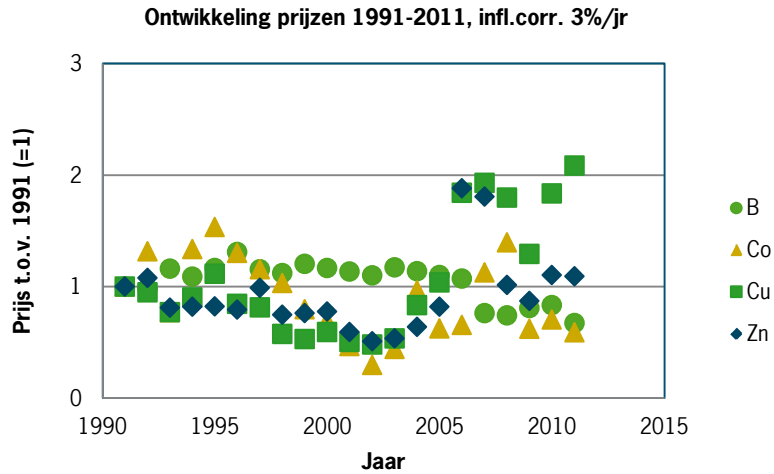
Bron: USGS MCS, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mcs> rapportages 2012



**Figuur 2b**

Prijzontwikkeling van micronutriënten Co, Mo en Se gedurende 1991-2011. Let op verschil in y-as tussen de figuren 2a en 2b.

Bron: USGS MCS, rapportages 2012 op <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/mcs>

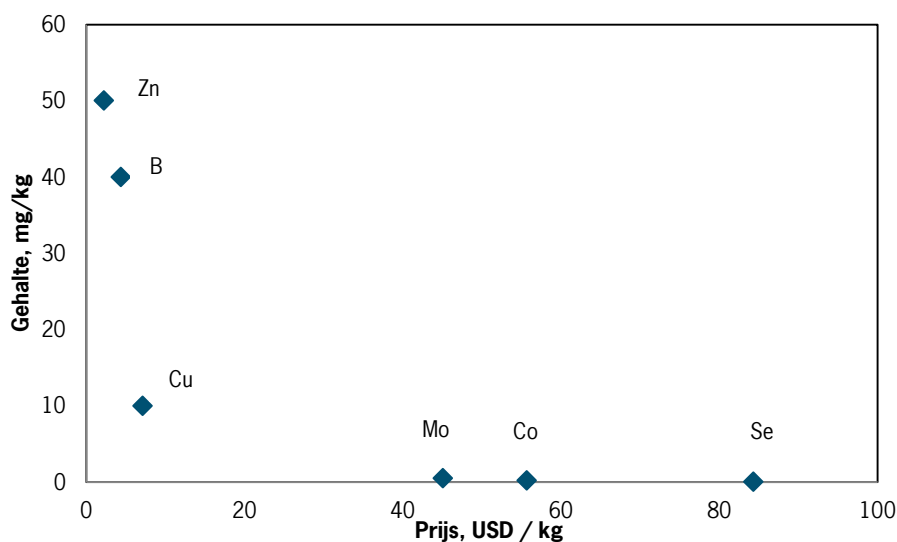


**Figuur 3**

*Prijzontwikkeling van micronutriënten gedurende 1991-2011, genormaliseerd op 1991 (= 1), met inflatiecorrectie. Boven: B, Co, Cu en Zn, onder: Mo en Se; let op het verschil in y-as tussen beide figuren.*

Bron: USGS MCS, rapportages 2012.

In figuur 4 is het verband weergegeven tussen de gemiddelde prijs van de micronutriënten in de periode 2007-2011 (tabel 3) en het gemiddelde gehalte in planten (compilatie Voortman, 2012; zie tabel 2). De drie micronutriënten met een relatief lage prijs (Zn, B en Cu) hebben veel hogere gehalten in de plant dan de veel duurdere micronutriënten Mo, Co en Se. Dit is gunstig, omdat er daardoor minder hoeft te worden toegediend, en de kosten voor de akkerbouwer worden verlaagd. Bij gebruik van gewassen in de veehouderij is de keerzijde dat deze, door de lage gehalten, minder bijdragen aan de opnamebehoefte van het dier.



**Figuur 4**

*Relatie tussen prijs van micronutriënten en gemiddeld gehalte in de plant.*

Tabel 4 geeft de geschatte wereldwijde reserves (R) en productie (P) van metaal uit erts, en de daaruit berekende verhouding R/P die wel wordt gehanteerd als maat voor de relatieve schaarste van een element. Deze verhouding is sterk variabel, dit blijkt uit de waarden van R/P in de tabel die afkomstig zijn uit andere recente bronnen met gegevens van de USGS uit verschillende jaren. Het openen van een nieuwe mijn of een terugval in de vraag leiden tot een verhoging van R/P, een stijgende vraag leidt tot een verlaging.

**Tabel 4**

*Geschatte reserves en productie wereldwijd van elementen in 2011 (Kton), het aandeel landbouw (incl. veehouderij) in het totale verbruik, en het % van geproduceerd element dat uit recycling afkomstig is.*

Element	Reserves	Productie	R/P USGS	R/P Platform *	R/P Cohen **	% Landbouw	% Recycling
Jaar	2011	2011	2011	2010	2006		
B	65 220	1 340	49	60		12	0
Co	7 500	98	77			<1	24
Cu	690 000	16 100	43	39	61	<1	32
Mo	10 000	250	40	42		<1	30
Se	93	2	47	39		10	0
Zn	250 000	12 400	20	21	46	<1	27

R/P: Reserves/Productie, jaarlijks; \* Bron: Udo de Haes et al., 2012; \*\* Cohen, 2007.

Bron: R/P: USGS, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>, rapportages 2012, data 2011.

Recycling Cu en Zn: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/recycle/myb1-2010-recyc.pdf>

Recycling overig: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rapportages> 2012

De gegevens over reserves geven slechts een indicatie van de werkelijke voorraden. De reserves zijn gedefinieerd als de hoeveelheid die met de huidige techniek en bij de huidige kostprijs winbaar is. Als de verhouding tussen reserves en productie voor een onderneming te laag wordt, dan worden nieuwe exploraties gestart; deze zijn echter (zeer) kostbaar en veelal pas op termijn rendabel. Dit zal vooral gelden bij een lage prijs van het eindproduct (tabel 3). Het is mogelijk niet toevallig dat Zn, het goedkoopste element, de laagste R/P-verhouding heeft.

In tabel 4 is het % aangegeven van het totale verbruik dat binnen de landbouw (akkerbouw, tuinbouw en veehouderij) plaatsvindt, waarbij '<1' betekent dat dit verwaarloosbaar is. Alleen voor B en Se geldt dat de landbouw een significant deel van het totale verbruik voor zijn rekening neemt. De waarde van 10% voor Se komt goed overeen met de 11% van het totaal die voor het verbruik door de veehouderij werd berekend door Van Krimpen et al. (2012). Omdat Se niet essentieel is voor de plant (zie tabel 2 en 4.5.1) is het begrijpelijk dat het gebruik binnen de landbouw geheel voor rekening komt van de veehouderij. Daarentegen is B niet essentieel voor dieren (zie tabel 2 en 4.1.1), en is het verbruik in de veehouderij dan ook nihil (Van Krimpen et al., 2012). Het verbruik in de landbouw, overeenkomend met 12% van het totale verbruik van B, komt dus voor rekening van de akker- en tuinbouw.

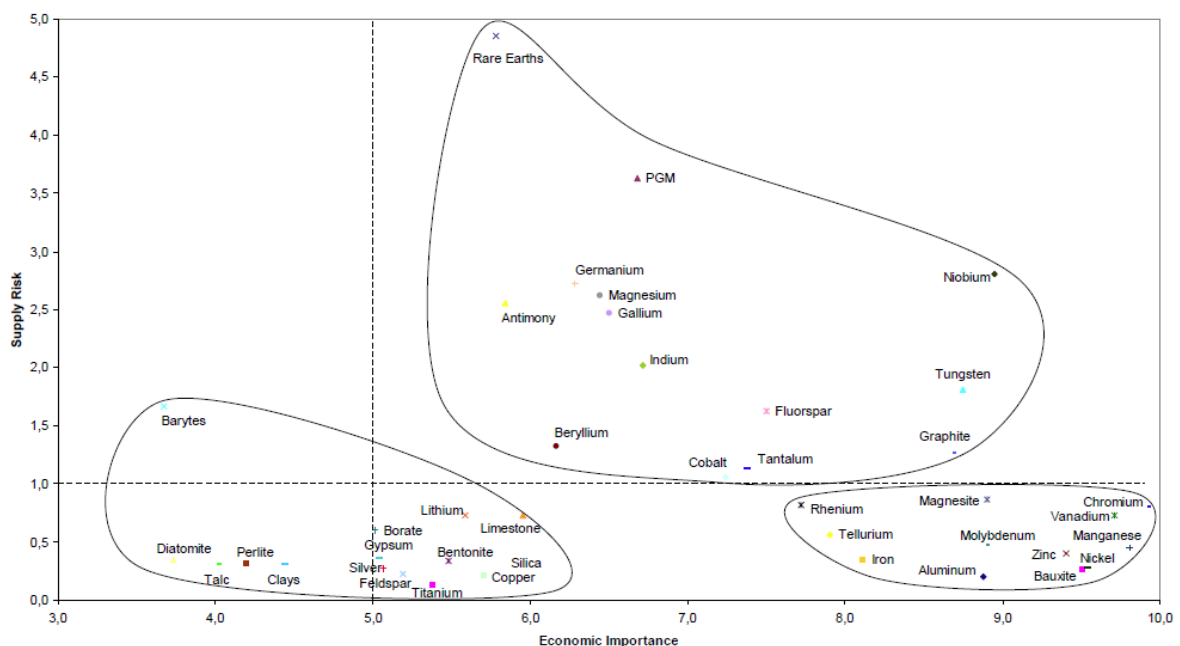
In tabel 4 is verder het percentage aangegeven van de gebruikte grondstof dat afkomstig is van recycling. Dit percentage is het hoogst voor Cu dat bij de productie voor ca. 32% van hergebruik afkomstig was. Voor zowel B als Se (beide voor landbouw van belang) geldt ook dat er vrijwel geen recycling plaatsvindt. Voor B komt dit doordat het als oplosbare stof (borax) wordt gebruikt, en voor Se doordat het in zeer kleine hoeveelheden per eenheid product wordt toegepast; beide aspecten maken recycling moeilijk.

### 3.2 Risico van verstoring van aanvoer

Door een ad-hoc werkgroep van de Europese Commissie is voor 41 (groepen van) stoffen een inschatting gemaakt van enerzijds het economisch belang (schaal 1-10), en anderzijds van het eventuele risico dat de aanvoer naar de EU-landen verstoord kan worden; dit wordt 'Supply Risk' genoemd. Een waarde van 1 betekent een gemiddeld risico, >1 een hoog risico en <1 een laag risico. Een verstoring zou bijvoorbeeld kunnen worden veroorzaakt door politieke instabiliteit in de producerende landen waardoor de productie stil komt te

liggen, of doordat een producerend land de grenzen sluit voor export om de aanvoer voor de eigen industrie te beschermen. Het risico wordt groter wanneer substitutie door een ander materiaal minder goed mogelijk is, en wanneer recycling weinig plaatsvindt. In figuur 5 is het Supply Risk uitgezet tegen het economisch belang.

In de figuur zijn door de Europese Commissie vier kwadranten onderscheiden (laag/hog economisch belang en laag/hog Supply Risk) en drie groepen stoffen. Groep 1 (rechtsboven in de figuur) heeft een verhoogd Supply Risk en een hoog economisch belang, groep 2 (rechtsonder) een laag Supply Risk en een hoog economisch belang, en groep 3 (linksonder) een laag Supply Risk en een laag economisch belang. In tabel 5 zijn de voor de in dit rapport behandelde micronutriënten het economisch belang en het Supply Risk opgenomen, ontleend aan figuur 4; voor selenium zijn geen gegevens bekend. Uit de tabel blijkt dat alleen voor kobalt geldt dat het volgens de Europese Commissie in groep 1 voorkomt, dus een licht verhoogd aanvoer-risico heeft (1.07), bij een vrij groot economisch belang (7.2 uit 10). Het risico voor kobalt is dat de productie vooral plaatsvindt in Congo, waar de politieke situatie instabiel is.



**Figuur 5**

*Economisch belang en risico op verstoring van aanvoer naar de EU (Supply Risk) van micronutriënten.*

Bron: European Commission (2010), p. 34. [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf)

**Tabel 5**

*Economisch belang en risico op verstoring van aanvoer naar de EU ('Supply Risk') van micronutriënten.*

Micronutriënt	B	Co	Cu	Mo	Se	Zn
Economisch belang	5.0	7.2	5.7	8.9	—	9.4
Supply Risk	0.57	<b>1.07</b>	0.23	0.48	—	0.38





## 4 Analyse per micronutriënt

In dit hoofdstuk wordt per element besproken wat het belang is voor plant en dier, wat het voornaamste gebruik is buiten de landbouw, wat de verwachte ontwikkelingen zijn in het verbruik en of er aanwijzingen zijn voor een aanrijking van de toplaag van de bodem in Nederland op basis van de Geochemische Atlas van Nederland. Onder aanrijking wordt verstaan een toename van het gehalte van het element, vaak door menselijk toedoen.

### 4.1 B - borium

#### 4.1.1 Belang voor plant/dier

Borium is essentieel voor zowel plant als dier. Voor planten geldt dat borium niet in enzymen wordt gevonden of de activiteit van enzymen direct beïnvloedt, maar een belangrijke rol vervult in celwanden, bij celgroei en celdifferentiatie (Römheld en Marschner, 1991). Een tekort aan borium leidt al op korte termijn tot verdikken van de celwand wat het transport van stoffen door de celwand beïnvloedt, veranderingen in de fenolhuishouding, verstoring van de lignine-aanmaak en uiteindelijk in een verandering van de distributie van suikers en het metabolisme van DNA/RNA en hormonen (Römheld en Marschner, 1991; p. 316). De behoefte aan borium verschilt sterk tussen planten, dit hangt vooral samen met de samenstelling van de celwand. Het verschil tussen deficiëntie en toxiciteit is echter vrij nauw, dus het gebruik van kunstmest, borium-houdend irrigatiewater of zuiveringsslib moet zorgvuldig gebeuren. Door het gebruik van borium in kunstmest is dit, naast seleen, het enige element (van de zes in dit rapport besproken elementen) waarbij toepassing in de landbouw een significant deel vertegenwoordigt van het totale gebruik.

Een tekort van borium in een gebruikelijk dieet van landbouwhuisdieren is niet te verwachten (Miller et al., 1991), zodat er geen sprake is van toediening als voedingssupplement.

#### 4.1.2 Gebruik buiten landbouw

In 2009 was het gebruik van borium verdeeld over de productie van glas, 57%; glazuur of email voor keramiek, 12%; meststoffen, 12%; bleekmiddel of waterontharder in zeep, 5%; en overige zoals glaswol 14% (USGS, 2009). De toevoeging van borium aan glas gebeurt om een aantal eigenschappen te verbeteren: verminderde uitzetting bij verwarmen, verhoogde chemische resistentie, duurzaamheid, resistentie tegen trillingen, verhitten en sterke temperatuurwisselingen.

#### 4.1.3 Verwachte ontwikkeling in gebruik/risico van tekort

De vraag naar borium fluctueert de laatste jaren; de recente economische recessie veroorzaakte een verminderde vraag naar borium-houdend glaswol. Vanuit China en Zuid-Amerika neemt de vraag voor de glas- en keramische industrie toe, en ook de vraag vanuit de landbouw (USGS, 2009). De verhouding R/P is relatief hoog (49, tabel 4).

#### **4.1.4 Aanwijzing voor aanrijking toplaag in Nederland**

Hierover zijn geen gegevens beschikbaar in de Geochemische Atlas.

## **4.2 Co - kobalt**

### **4.2.1 Belang voor plant/dier**

Kobalt is essentieel voor planten die stikstof binden uit de lucht, zoals soja, alfalfa en ondergrondse klaver (*Trifolium subterraneum*). Voor niet-stikstofbindende gewassen is niet aangetoond dat het essentieel is. Aanwijzingen voor een positief effect van kobalt op de groei van een aantal gewassen zijn wel gesignaleerd maar tot op heden niet verklaard (Asher, 1991).

Voor herkauwers is kobalt essentieel, omdat dit nodig is voor de aanmaak van vitamine B12 door de microflora in de pens (Underwood, 1977; Asher, 1991). Een te lage dosis kobalt in het dieet kan leiden tot slopende ziekten die gepaard gaan met bloedarmoede en verminderde eetlust. Bij schapen kan het leiden tot verlaagd geboortegewicht en hogere sterfte van lammeren (Asher, 1991). Kobalt wordt door gewassen opgenomen via het normale metabolisme, en kobaltgebrek bij vee kan dus worden tegengegaan via bemesting van voeder- gewassen, maar het oraal toedienen van kobalt aan het jongvee kan efficiënter zijn (Asher, 1991).

### **4.2.2 Gebruik buiten landbouw**

Kobalt kent een groot aantal toepassingen, die om industriële en militaire redenen vaak strategisch en essentieel zijn. Voorbeelden zijn: elektroden van herlaadbare batterijen, superlegeringen in vliegtuigmotoren, katalysatoren, bindmiddel van carbiden in hardmetaal, corrosie en slijtagebestendige legeringen, droog- middelen, kleurstoffen en magneten (USGS, MY 2010)

### **4.2.3 Verwachte ontwikkeling in gebruik/risico van tekort**

Het verbruik van kobalt volgt sterk de trends van de wereldwijde industriële productie, vooral van de luchtvaart en elektronica. Verwacht wordt dat in de nabije toekomst de productie sterker zal stijgen dan de vraag naar kobalt en dit heeft een negatieve invloed op de prijs. Door de Europese Commissie (2010) is kobalt aangegeven als een element met een (licht) verhoogd risico op verstoring van de aanvoer, vanwege het feit dat de productie vooral plaatsvindt in Congo (zie 3.2). Het Amerikaanse ministerie van Defensie houdt al gedurende lange tijd een noodvoorraad aan als strategisch materiaal. Hoewel deze voorraad geleidelijk aangesproken wordt, geeft het wel aan dat in het verleden de levering al mogelijk onzeker werd gezien.

### **4.2.4 Aanwijzing voor aanrijking toplaag in Nederland**

Hierover zijn geen gegevens beschikbaar in de Geochemische Atlas.

## 4.3 Cu - koper

### 4.3.1 Belang voor plant/dier

Koper is essentieel voor zowel plant als dier. Evenals ijzer kan het sterk binden in chelaten en kan het van valentie wisselen ( $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{Cu}^+$ ), en speelt daardoor een belangrijke rol in fysiologische redoxprocessen en transport van elektronen. In planten spelen koperhoudende eiwitten spelen een rol bij de fotosynthese, ademhaling, het neutraliseren van  $\text{O}_2$  radicalen en lignificatie. Bij kopergebrek neemt de activiteit van deze eiwitten af (Römheld en Marschner, 1991; p. 306). Kopergebrek leidt onder meer tot verminderde  $\text{CO}_2$ -vastlegging en drogestof-productie, en bij leguminosen tot afname van de N-fixatie.

In het dier spelen koperhoudende eiwitten eveneens een belangrijke rol bij transport van elektronen en redoxprocessen, bij de opname en mobilisatie van ijzer, het lipide-metabolisme en de pigment- en keratinevorming in haren en wol (Miller et al., 1991; p. 612). Bij kopergebrek wordt vooral de voortplanting ernstig verstoord; dit is waargenomen bij ratten, cavia's, pluimvee, koeien en schapen. Daarnaast wordt de afweer tegen infecties verstoord bij kopergebrek. Om de afweer en groei te stimuleren wordt extra koper toegevoegd aan het voer en drinkwater van biggen, bij koeien wordt het toegediend gedurende de weideperiode en wordt het (in reguliere landbouw) toegepast in baden waarmee de poten van koeien worden ontsmet (Jongbloed en Römken, 2009; Sukkel et al., 2011). Hoewel niet toegestaan, bestaat de mogelijkheid dat na gebruik het resterende koper uit de baden in de mestkelder verdwijnt. In tabel 6 is een globale balans berekend voor drie mestsoorten, toegediend volgens de maximaal toegestane hoeveelheid N uit dierlijke mest aan resp. mais en gras.

**Tabel 6**

*Gift en onttrekking door mais en gras van koper toegediend via dierlijke mest (gegevens uit Groenenberg et al., 2006).*

Mestsoort	----- mais -----			----- gras -----			
	Cu/N	N-gift 170 <sup>1</sup>	Afvoer <sup>2</sup>	Balans	N-gift 250 <sup>1</sup>	Afvoer <sup>3</sup>	Balans
	g/kg	----- g Cu/ha/jaar -----					
Koe	0.41	70	53	16	103	132	<b>- 30</b>
Varken	2.91	495	53	441	728	132	596
Pluimvee	0.77	131	53	78	193	132	61

<sup>1</sup> Toegestane gift van N in akkerbouw 170, gras 250 kg N/ha/jaar uit dierlijke mest.

<sup>2</sup> Bij opbrengst 13 ton ds/jaar en Cu-gehalte 4.1 mg/kg.

<sup>3</sup> Bij opbrengst 11 ton ds/jaar en Cu-gehalte 12 mg/kg.

Behalve via dierlijke mest vindt er op landbouwgronden ook aanvoer van koper plaats via N,P,K-meststoffen, depositie en compost; gemiddeld wordt dit geschat op ca. 40 g Cu/ha/jaar (Groenenberg et al., 2006). Als in Nederland volgens de huidige normen dierlijke mest wordt toegediend aan een perceel, dan is de kopervoorziening in de meeste gevallen voldoende, en lijkt aparte bemesting met koper niet noodzakelijk. Als daarentegen uitsluitend kunstmest wordt toegepast, dan verdient de kopervoorziening aandacht.

### **4.3.2 Gebruik buiten landbouw**

In 2009 was het gebruik van koper verdeeld over de bouw, 45%; elektriciteitsvoorziening en elektronica, 23%; transport, 13%; consumentenproducten, 12% en industriële toepassingen 8% (bron: USGS MY 2010).

### **4.3.3 Verwachte ontwikkeling in gebruik/risico van tekort**

De vraag naar koper fluctueert de laatste jaren. De economische recessie veroorzaakte een verminderde vraag in 2009, waarna de vraag weer is gestegen. Op dit moment is de vraag groter aanbod en dit leidt tot prijsstijgingen. Een innovatief idee is om in de Sahara op grote schaal zonne-energie te produceren. Het transport van elektriciteit naar bijvoorbeeld Europa zou daardoor een grote vraag naar koper voor transportleidingen kunnen veroorzaken, tenzij substitutie plaats vindt door bijvoorbeeld aluminium.

De verhouding R/P (43) is voor koper relatief hoog (tabel 4).

### **4.3.4 Aanwijzing voor aanrijking toplaag in Nederland**

Uit de gegevens van de Geochemische Atlas blijkt dat de gehalten aan reactief (extraheerbaar met  $\text{HNO}_3$ ) en voor de plant beschikbaar (extraheerbaar met  $\text{CaCl}_2$ ) koper in de bovengrond sterk verhoogd zijn vergeleken met die in de ondergrond. Dit wijst op een aanrijking vanuit depositie of de landbouw, dit komt overeen met de in 4.3.1 genoemde positieve balans voor koper bij toedienen van dierlijke mest, vooral varkensmest.

## **4.4 Mo - molybdeen**

### **4.4.1 Belang voor plant/dier**

Molybdeen is essentieel voor zowel plant als dier, in planten speelt het vooral een rol bij overdracht van elektronen. Een molybdeen-houdend enzym is  $\text{NO}_3$ -reductase dat elektronen overdraagt op  $\text{NO}_3$ . Een tekort aan molybdeen heeft een negatieve invloed op de groei bij N-voeding via nitraat; bij voeding via  $\text{NH}_4$  is de behoefte aan Mo kleiner (Römheld en Marschner, 1991). Behalve bij de omzetting van  $\text{NO}_3$  speelt Mo een rol bij de synthese van eiwitten, en een gebrek aan Mo leidt tot een lager gehalte aan chlorofyl en een verminderde groei. Het Mo-houdende enzym nitrogenase katalyseert biologische stikstofbinding, waardoor de Mo-behoefte van leguminosen hoog is. Bij Mo-gebrek neemt het aantal wortelknolletjes sterk toe, maar het totale gewicht aan drogestof neemt af (Römheld en Marschner, 1991). Molybdeen speelt ook een rol bij de omzetting van zwavelhoudende aminozuren, en op de vorming van pollen en vruchten.

Evenals bij borium is een tekort van molybdeen in een gebruikelijk dieet van landbouwhuisdieren niet te verwachten, zodat er geen sprake is van toediening als voedingssupplement. Een teveel aan Mo treedt eerder op dan een tekort eraan, en kan onder andere verschijnselen van kopergebrek veroorzaken, vooral bij herkauwers (Miller et al., 1991).

#### **4.4.2 Gebruik buiten landbouw**

Molybdeen vormt met tungsten (W), niobium (Nb), tantalum (Ta) en rhenium (Re) de groep van 'refractaire metalen', die zeer goed bestand zijn tegen verhitting en slijtage. Het wordt dan ook vooral gebruikt in legeringen in gietijzer, staal en superlegeringen om de hardheid, sterkte, stijfheid en duurzaamheid te verhogen, vaak in combinatie met onder meer Cr, Mn en Ni. Deze toepassingen zijn verantwoordelijk voor 81% van het verbruik van molybdeen.

#### **4.4.3 Verwachte ontwikkeling in gebruik/risico van tekort**

Hoewel de waarde van R/P (40) na zink het laagste is van de zes hier behandelde elementen, wordt door de USGS gesteld dat de reserves van molybdeen voldoende zijn voor het verbruik in de nabije toekomst (USGS MCS, 2012).

#### **4.4.4 Aanwijzing voor aanrijking toplaag in Nederland**

Uit de gegevens van de Geochemische Atlas blijkt dat er geen aanwijzingen zijn voor significante aanrijking met molybdeen van de toplaag van de bodem in Nederland.

### **4.5 Se - seleen**

#### **4.5.1 Belang voor plant/dier**

Selenium is niet essentieel voor de plant, maar wel voor mens en dier. De concentratie van seleen in spierweefsel en bloed hangt samen met het seleengehalte in het dieet; als dit laag is wordt het als  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  of  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  aan het voer toegevoegd. Seleen wordt echter beter opgenomen als het in organische vorm wordt toegediend (Miller et al., 1991). In gebieden waar het seleengehalte van de bodem laag is, zoals in Australië en China, wordt bemesting met Se toegepast. Bij dieren kan seleengebrek leiden tot degeneratie van de spieren ('white muscle disease') en problemen met de voortplanting. In gebieden met veel seleen in de bodem kunnen planten hoge gehalten bevatten en dat kan na consumptie leiden tot vergiftiging bij dieren.

#### **4.5.2 Gebruik buiten landbouw**

In 2010 was het gebruik van seleen verdeeld over metallurgie 30%; glas, 30%; landbouw, 10%; chemicaliën en pigmenten, 10%; elektronica, 10%; overige 10% (USGS MY, 2010). De belangrijkste metallurgische toepassing is het verhogen van de efficiëntie van de elektrolytische productie van mangaan, maar omdat het seleen dan als - ongewenste - verontreiniging in het mangaan terecht komt, staat deze toepassing onder druk.

### **4.5.3 Verwachte ontwikkeling in gebruik/risico van tekort**

De beschikbaarheid van seleen wordt sterk beïnvloed door de productie van koper, omdat het vooral als bijproduct van de koperfabricage wordt gewonnen (en in mindere mate bij die van goud, lood, nikkel of zink). Als de winning van koper toeneemt, stijgt daardoor het aanbod van seleen en kan de prijs dalen. De recente voortgaande stijging van de prijs kan wijzen op schaarste (zie figuur 2b). Een relatief nieuwe toepassing van seleen is in dunne-film zonnecellen. De stijgende vraag hiernaar vergroot de vraag naar seleen. Er worden echter recycling-installaties gebouwd voor zonnecellen om het seleen terug te winnen.

### **4.5.4 Aanwijzing voor aanrijking toplaag in Nederland**

Uit de gegevens van de Geochemische Atlas blijkt dat er geen aanwijzingen zijn voor significante aanrijking met seleen van de toplaag van de bodem in Nederland.

## **4.6 Zn - zink**

### **4.6.1 Belang voor plant/dier**

Zink is essentieel voor de plant en heeft als voornaamste functies het koppelen van enzymen aan een substraat en de vorming van chelaten met verschillende organische verbindingen zoals polypeptiden (Römheld en Marschner, 1991). Een tekort aan zink leidt tot uiteenlopende veranderingen van het metabolisme van onder meer koolhydraten, eiwitten en auxinen, en het slechter functioneren van membranen doordat het ontgiften van superoxide radicalen wordt verstoord (Römheld en Marschner, 1991). Een (te) hoge beschikbaarheid van fosfaat kan oorzaak zijn van een tekort aan zink. Dit kan enerzijds komen door een 'verduunningseffect': door P-bemesting kan plantengroei zodanig worden gestimuleerd dat er aan andere nutriënten, zoals zink, gebrek kan ontstaan. Anderzijds kan P de binding van Zn in hydroxide-rijke bodems bevorderen waardoor de beschikbaarheid wordt verlaagd, en kan P de opname van Zn door de wortel of het transport van de wortel naar de spruit verstoren. Daarnaast zijn er studies die aangeven dat fosfaattoediening het wortelvolumen of de groei van mycorrhiza kan verstoren, wat zowel tot een toe- als afname van de zink-opname kan leiden (Moraghan en Mascagni (1991). Het is duidelijk dat een verband tussen de beschikbaarheid/opname van Zn en P, en de mechanismen waarmee een interactie verloopt, niet eenduidig zijn.

Bij dieren is zink een essentieel onderdeel van meer dan 200 enzymen of andere eiwitten, en speelt een rol in vele processen. Een tekort aan zink leidt tot verstoring van groei, reproductie, lactatie, en wondheling (Miller et al., 1991).

Voor de diergezondheid wordt zink toegevoegd aan het voer. Vooral wanneer het voer veel calcium bevat kan zinkgebrek optreden door de vorming van een onoplosbaar Ca-Zn-phytaat-complex dat niet goed opneembaar is. Een groot deel van het toegevoegde zink komt terecht in dierlijke mest en daardoor op landbouwgrond. In tabel 7 is een globale balans berekend voor drie mestsoorten, toegediend volgens de maximaal toegestane hoeveelheid stikstof uit dierlijke mest aan resp. mais en gras.

**Tabel 7**

Gift en onttrekking door mais en gras van zink, toegediend via dierlijke mest (gegevens uit De Vries et al., 2004).

Bron mest	----- mais -----			----- gras -----			
	Zn/N	N-gift 170 <sup>1</sup>	Afvoer <sup>2</sup>	Balans	N-gift 250 <sup>1</sup>	Afvoer <sup>3</sup>	Balans
	g/kg	----- g Zn/ha/jaar -----					
Koe	2.1	357	442	<b>- 85</b>	525	638	<b>- 113</b>
Varken	6.6	1122	442	680	1650	638	1012
Pluimvee	4.4	748	442	306	1100	638	462

<sup>1</sup> Toegestane gift van stikstof in akkerbouw 170, gras 250 kg stikstof/ha/jaar uit dierlijke mest.

<sup>2</sup> Bij opbrengst 13 ton ds/jaar en zink-gehalte 34 mg/kg.

<sup>3</sup> Bij opbrengst 11 ton ds/jaar en zink-gehalte 58 mg/kg.

Behalve via dierlijke mest vindt er op landbouwgronden ook aanvoer van zink plaats via N,P,K-meststoffen, depositie en compost; gemiddeld wordt dit geschat op ca. 180 g Zn/ha/jaar (De Vries et al., 2004). Als volgens de huidige normen dierlijke mest wordt toegediend aan een perceel, dan is in Nederland de zinkvoorziening in de meeste gevallen voldoende, en lijkt aparte bemesting met zink niet noodzakelijk. Als daarentegen uitsluitend kunstmest wordt toegepast, dan verdient de zinkvoorziening van de gewassen aandacht.

#### 4.6.2 Gebruik buiten landbouw

In 2011 was het gebruik van zink in de USA verdeeld over galvaniseren, 55%; zink-legeringen, 21%; messing en brons, 16%; overige, 8% (USGS MCS, 2012).

#### 4.6.3 Verwachte ontwikkeling in gebruik/risico van tekort

Zowel de wereldwijde vraag naar, als de productie van zink, zal naar verwachting licht stijgen de komende jaren (USGS, 2010). De verhouding R/P is het laagste van de zes behandelde elementen (20, tabel 4). Deze lage waarde is de belangrijkste reden dat door sommigen gevreesd wordt voor mondiale tekorten (Udo de Haes et al., 2012). Het bemesten van landbouwgronden waar de beschikbaarheid van zink sub-optimaal tot slecht is zou een groot beslag leggen op de huidige zinkproductie, en tot tekorten kunnen leiden (Voortman, 2012). Niet duidelijk is hoe de situatie is m.b.t. zinkgebrek in landbouwgrond in China. Door Voorman (2012) wordt een studie uit 2008 geciteerd waarin hiervoor 51,1% wordt genoemd. Yang et al. (2007) noemen hiervoor 40%, maar recent was het niet mogelijk om voor een experiment in China een landbouwgrond te vinden met zinkgebrek (Oenema, persoonlijke mededeling 2012).

#### 4.6.4 Aanwijzing voor aanrijking top laag in Nederland

Uit de gegevens van de Geochemische Atlas blijkt dat de gehalten aan reactief (extraheerbaar met HNO<sub>3</sub>) en voor de plant beschikbaar (extraheerbaar met CaCl<sub>2</sub>) zink in de bovengrond sterk verhoogd zijn vergeleken met die in de ondergrond. Dit wijst op een aanrijking vanuit depositie of via de landbouw en dit komt overeen met de in 4.6.1 genoemde positieve balans voor zink bij toedienen van dierlijke mest.





## 5 Oplossingen voor mogelijk tekort

### Inleiding

Als er mondiale tekorten van elementen dreigen te ontstaan dan zijn er verschillende oplossingsrichtingen mogelijk: (1) efficiencyverhoging, (2) stimuleren van recyclen van het element, (3) exploratie van nieuwe bronnen en (4) vervangingen van het element door ander materiaal bij specifieke toepassingen in de industrie.

### 5.1 Verhogen van efficiency bij gebruik

Binnen de landbouw worden koper en zink toegevoegd aan mengvoerders voor landbouwhuisdieren, en wordt koper toegepast in baden waarmee de poten van koeien worden ontsmet. Via toepassing van dierlijke mest op de bodem leidt dit tot ophoping van koper en zink in de bodem (zie 4.3.1 en 4.6.1). Omdat dit als een ongewenste milieubelasting wordt gezien zijn medio 2000 de normen voor het toevoegen van koper en zink aan mengvoerders verscherpt. Verder worden voor de productie van kunstmest schonere grondstoffen gebruikt, waardoor ook de belasting via kunstmest is verlaagd (CBS et al., 2011). Tabel 8 geeft de belasting met koper en zink van Nederlandse landbouwgronden via dierlijke mest, kunstmest en depositie sinds 1980. Ten opzichte van 1980 is de aanvoer van zowel koper als zink sterk afgenomen via alle bronnen; de grootste afname vond plaats tussen 1980 en 2005.

Het verlagen van de toevoegingen is een voorbeeld van efficiënter gebruik van de grondstoffen koper en zink. Door Dirk-Jan den Boer (NMI, persoonlijke mededeling) wordt gesteld dat het zinkgehalte in dierlijke mest nog steeds hoog is doordat: (1) adviezen dat het gehalte in voer verder verlaagd zou kunnen worden niet worden opgevolgd door de voederfabrikanten en (2) zink een relatief goedkoop mineraal is (zie tabel 3), het is dus verleidelijk om er maar veel van in het voer te stoppen. Geschat wordt dat van het toegediende koper slechts 3% in het dier achterblijft, voor zink is dit 6%. Hier zou een verdere verbetering van de efficiency mogelijk moeten zijn (Jongbloed en Römken, 2009).

**Tabel 8**

*Belasting van Nederlandse landbouwgronden (1000 kg jaar<sup>-1</sup>) via dierlijke mest, kunstmest en natte + droge depositie.*

		1980	1990	2000	2005	2007	2008	2009	% *
koper	dierlijke mest	1050	750	700	435	420	420	405	61
	kunstmest	150	120	50	40	30	25	25	83
	depositie	80	50	20	20	20	20	20	75
zink	dierlijke mest	1800	1750	1900	1245	1200	1220	1190	34
	kunstmest	150	140	60	45	35	30	25	83
	depositie	260	180	70	65	50	80	65	75

\* % waarmee aanvoer is afgenomen tussen 1980 en 2009.

Bron: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0097-Zware-metalen-op-andbouwgrond.html?i=5-71>

Uit tabel 8 blijkt ook dat de aanvoer van koper en zink via depositie sterk is afgenomen sinds 1980, dit hangt mogelijk samen met de afname van de emissie van fijn stof. Uit bijlage 1 blijkt dat sinds 1990 deze emissie met 50% is afgenomen, en uit tabel 8 kan worden afgeleid dat sindsdien de geschatte depositie van koper is afgenomen met 60%, en die van zink met 64%.

## 5.2 Recyclen

Als grondstof voor micronutriënten wordt zowel erts gebruikt als 'secundaire grondstoffen' zoals afval. Volgens Russell (persoonlijke mededeling) zijn een aantal factoren bepalend voor de route die wordt gekozen: (1) de prijs van erts: een fabriek voor het recyclen van molybdeen uit katalysatorafval, ontwikkeld toen de prijs van Mo hoog was, ligt nu stil omdat de prijs van erts weer is gedaald; (2) regelgeving: niet overal is hergebruik toegestaan of bestaat er weerzin tegen 'het hergebruik van batterijen voor voedselproductie' en (3) de beschikbaarheid van de (secundaire) grondstof. Russel gelooft niet in het ontstaan van schaarste van micronutriënten, omdat er vele, nu nog niet toegepaste, mogelijkheden voor recycling zijn die niet worden meegenomen in de voorraadschattingen door de USGS.

De Europese Commissie (European Commission, 2010) geeft aan recyclen de voorkeur boven de derde optie, vervanging, omdat dit soms gebeurt door elementen die ook schaars zijn. Voordelen van recyclen zijn:

- het gebeurt vaak vanuit afvalstoffen die anders zouden worden gestort, waardoor een mogelijk milieurisico wordt vermeden;
- het vermindert de vraag naar nieuw materiaal en verkleint het risico op tekorten;
- in veel gevallen bespaart het energie en vermindert daardoor het vrijkomen van broeikasgassen;
- het vermindert de afhankelijkheid van import, vooral als vervanging en efficiencyverhoging niet mogelijk is.

Voor gebruik in voedsel voor mens of dier is het noodzakelijk dat een hoge mate van zuiverheid wordt bereikt, voor technische toepassingen is dit vaak in mindere mate het geval. Recycling is echter vaak niet mogelijk, doordat het element intrinsiek deel uitmaakt van een materiaal, zoals bij glas, papier en keramiek. Recyclen kan worden bevorderd door gescheiden inzamelen van afval.

## 5.3 Nieuwe bronnen

Het vóórkomen van mangaanknollen op de oceaانبodem is al lang bekend, ze zijn ontstaan door ondergronds vulkanisme waarna op kernen mangaan- en ijzerhydroxiden zijn afgezet gedurende miljoenen jaren. Daarbij zijn een groot aantal metalen gecoprecipiteerd, van de in dit rapport behandelde elementen zijn dit kobalt en koper. Commerciële exploitatie van mangaanknollen wordt, bij de huidige prijzen van winning van metalen op land, de komende decennia nog niet verwacht.

Behalve deze nieuwe bron die vooralsnog toekomstmuziek lijkt worden er uiteraard voortdurend nieuwe ertsvoorkomens geëxploiteerd. Volgens Russell (persoonlijke mededeling) is de kostprijs bij nieuwe exploitaties vrijwel altijd hoger dan die van oudere mijnen, doordat: (1) de makkelijk inbare reserves op zijn, (2) in de meeste gevallen het metaalgehalte in het erts lager is dan bij eerdere winningen, (3) er steeds strengere milieumaatregelen genomen moeten worden, en (4) door de stijging van de kosten van arbeid, logistiek, belastingen en door geopolitiek.

## **5.4 Vervangingen van het element door ander materiaal**

Voor industrieel gebruik zijn in de zgn. 'Mineral Commodity Summaries' van de USGS voorbeelden gegeven van mogelijkheden van vervanging van een element door andere stoffen. Voor plant, dier of mens is vervanging van een micronutriënt door een ander element niet mogelijk. In de veehouderij zou het gebruik van een beter opneembare vorm van Se of Zn echter wel tot een besparing kunnen leiden. Hieronder worden per element voorbeelden van vervanging gegeven die afkomstig zijn uit de documenten (USGS MCS) voor 2012 voor de verschillende elementen.

### **5.4.1 B - borium**

In detergentia kan natriumpercarbonaat borium vervangen, en in sommige soorten email kan dit door fosfaten. Boriumhoudend glaswol kan worden vervangen door cellulose, schuim en steenwol. In zepen kunnen natrium- en kaliumzouten van vetzuren voor reiniging en emulgeren zorgen.

### **5.4.2 Co - kobalt**

Bij sommige toepassingen wordt gevreesd voor verslechterde eigenschappen als kobalt wordt vervangen. Voor veel toepassingen is vervangen mogelijk, maar het gaat meestal om elementen die zelf ook schaars kunnen worden. Voorbeelden van vervangende elementen met de bijbehorende toepassing zijn: B, Ba, Nd (neodymium), Ni en Sr in magneten; Ce (cerium), Fe, Pb, Mn en V in verf; Co, Cu en Fe in apparatuur om diamant te bewerken; Cu, Fe en Mn voor harsen; Co, Fe en Ni in duurzame materialen; Al, Co, Fe, Mn, Ni en P in lithium-ion batterijen; Ni in vliegtuigmotoren; Ni en Rh (rhodium) in katalysatoren.

### **5.4.3 Cu - koper**

Aluminium kan koper vervangen in elektrische bedrading en apparatuur, autoradiatoren en koelbuizen; titaan en staal in warmtewisselaars; glasvezels bij telecommunicatie; kunststof in waterleiding- en drainbuizen en in sanitair.

### **5.4.4 Mo - molybdeen**

Er zijn nauwelijks alternatieven voor molybdeen in zijn belangrijkste toepassing: legeringen in staal en gietijzer. Door de goede beschikbaarheid en veelzijdigheid van molybdeen worden juist nieuwe toepassingen van die legeringen gezocht. Mogelijke vervangers zijn: B, Cr, Ni en V in staallegeringen; W (tungsten) in gereedschapsstaal; grafiet, W en Ta (tantaal) voor hittebestendige materialen in ovens; Cr en Cd in oranje pigmenten.

### **5.4.5 Se - seleen**

Zuiver silicium kan seleen vervangen in gelijkrichters en foto-elektrische cellen; organische pigmenten in Cd/S/Se-pigmenten; Ce in glas; Te (tellurium) in pigmenten en rubber; Bi (bismut), Pb en Te in legeringen; Bi en Te in Pb-vrij messing; SO<sub>2</sub> bij elektrolytische productie van Mn; amorf Si en Cd/Te zijn de voornaamste concurrenten voor Cu/In/Ga-Se in dunne-film fotovoltaïsche cellen.

## 5.4.6 Zn - zink

Aluminium, plastic en staal kunnen gegalvaniseerde (verzinkte) platen vervangen en Al, Mg en plastics kunnen Zn vervangen bij spuitgieten. Al-legeringen, Cd, verf en plastic coatings zijn alternatieven voor Zn bij bescherming tegen corrosie; Al-legeringen zijn alternatief voor messing; veel elementen kunnen Zn vervangen in chemicaliën, elektronica en pigmenten.

### R/P - Verhouding element en zijn vervanger

In onderstaande tabel is (op basis van 5.4.1 - 5.4.6) voor de zes elementen samengevat door welke andere elementen ze zouden kunnen worden vervangen. Voor alle elementen is de R/P-verhouding berekend, ontleend aan USGS MCS voor 2012. Door deze op elkaar te delen kan worden nagegaan of de vrees dat vervanging plaatsvindt door een nog schaarser element, inderdaad van toepassing is op de micronutriënten.

Uit de tabel blijkt dat de micronutriënten borium, koper en zink in industrieel gebruik (gedeeltelijk) zouden kunnen worden vervangen door stoffen die minder schaars zijn dan het micronutriënt zelf. Dit geldt niet voor kobalt en seleen, en bij molybdeen kan dit alleen voor een beperkt aantal toepassingen.

**Tabel 9**

Waarden van R/P (USGS MCS voor 2012) van micronutriënten (MN, kolom 1) en van elementen die deze zouden kunnen vervangen bij industriële toepassingen (Verv.). De waarde van het quotiënt van de R/P-waarden (regel 2/kolom 2) geeft aan of het vervangende element schaarser is dan het micronutriënt (<1), of minder schaars (>1).

	Verv.	P	Na	K	B	Ba	Nd	Ni	Sr	Ce	Fe	Pb	Mn
<b>MN</b>	<b>R/P</b>	<b>372</b>	<b>550</b>	<b>257</b>	<b>49</b>	<b>31</b>	<b>?</b>	<b>44</b>	<b>18</b>	<b>?</b>	<b>29</b>	<b>19</b>	<b>45</b>
<b>B</b>	<b>49</b>	7.6	11.3	5.3									
<b>Co</b>	<b>77</b>	4.9			0.6	0.4	?	0.6	0.2	?	0.4	0.2	0.6
<b>Cu</b>	<b>43</b>												
<b>Mo</b>	<b>40</b>				1.2			1.1					
<b>Se</b>	<b>47</b>									?	0.4		
<b>Zn</b>	<b>20</b>												
	Verv.	V	Al	Rh	TL	Cr	W	Ta	Cd	Bi	Te	Mg	
	<b>R/P</b>	<b>233</b>	<b>hoog</b>	<b>?</b>	<b>103</b>	<b>500</b>	<b>43</b>	<b>48</b>	<b>30</b>	<b>38</b>	<b>47</b>	<b>424</b>	
<b>B</b>	<b>49</b>												
<b>Co</b>	<b>77</b>	3.0	>>1	?									
<b>Cu</b>	<b>43</b>		>>1		2.4								
<b>Mo</b>	<b>40</b>	5.8				12.5	1.1	1.2	0.7				
<b>Se</b>	<b>47</b>								0.6	0.8	1		
<b>Zn</b>	<b>20</b>		>>1						1.5			21	

# 6 Synthese

## 6.1 Per element

Per element worden de resultaten van eerdere hoofdstukken samengevat en een conclusie getrokken over het risico op mondiale schaarste van het element of op sterke prijsstijgingen. Door het (nog) ontbreken van gegevens hierover kan niet worden beoordeeld of een prijsverhoging een significante invloed zal hebben op het inkomen van een ondernemer.

### 6.1.1 B - borium

Borium is zowel essentieel voor planten als voor dieren, maar in een gebruikelijk dieet van landbouwhuisdieren is een tekort niet te verwachten, zodat er geen sprake is van toediening als voedingssupplement. Het wereldwijde gebruik als supplement of meststof wordt geschat op 12% van het totale gebruik (het hoogste van de zes elementen). De prijs is sinds 1991 zeer stabiel en dit wijst niet op enig tekort of speculatie hierop. Voor het huidige gebruik buiten de landbouw is vervanging door andere, niet schaarse stoffen mogelijk. Recycling is niet mogelijk doordat de stof in lage hoeveelheden per eenheid product wordt toegepast.

### 6.1.2 Co - kobalt

Kobalt is alleen essentieel voor planten die stikstof binden uit de lucht, en bij herkauwers. Kobaltgebrek bij vee kan worden tegengegaan via bemesting van voedergewassen, maar het oraal toedienen van kobalt aan het jongvee kan efficiënter zijn. De prijs is sinds 1991 vrij stabiel en is niet gestegen, dit wijst niet op enig tekort of speculatie hierop. De verhouding reserves/productie is relatief hoog (77 jaar). Voor het huidige gebruik buiten de landbouw is vervanging door andere, niet schaarse stoffen echter niet mogelijk, en de EU ziet een klein risico op verstoring van de aanvoer.

### 6.1.3 Cu - koper

Koper is zowel essentieel voor planten als voor dieren, er is sprake van een ruime toediening in krachtvoer of als voedingssupplement. De prijs was sinds 1991 licht gedaald tot 2005, en is daarna verdubbeld ten opzichte van 1991; dit wijst op een stijging van de productiekosten of op enig tekort dan wel speculatie hierop. Door de ruime toediening aan dieren bevat dierlijke mest zoveel koper dat met het gebruik ervan (veel) meer wordt gegeven dan de onttrekking door gewassen. Voor het huidige gebruik buiten de landbouw is vervanging door andere, niet schaarse stoffen goed mogelijk. Toekomstige prijsstijgingen zullen in Nederland waarschijnlijk alleen de veehouderij treffen, maar een verder terugbrengen van het (inefficiënte) gebruik kan dit mogelijk deels compenseren.

### 6.1.4 Mo - molybdeen

Molybdeen is zowel essentieel voor planten als voor dieren. In een gebruikelijk dieet van landbouwhuisdieren is een tekort niet te verwachten, zodat er geen sprake is van toediening als voedingssupplement; een teveel aan

Mo treedt eerder op dan een tekort eraan. De prijs was sinds 1991 vrij stabiel tot 2003 en heeft daarna sterk gefluctueerd, dit wijst op een tekort of speculatie hierop. De voor inflatie gecorrigeerde prijs in 2011 was het viervoudige van die in 1991. Voor het huidige gebruik buiten de landbouw is voor een aantal toepassingen vervanging door andere, niet schaarse stoffen mogelijk.

### 6.1.5 Se - seleen

Seleen is niet essentieel voor planten, maar wel voor dieren (en mensen). In een gebruikelijk dieet van landbouwhuisdieren (of mensen) kan een tekort optreden en dan kan het als voedingssupplement worden toegevoegd of kan de bodem extra met Se worden bemest. Het wereldwijde gebruik als supplement of meststof wordt door de USGS geschat op 10% van het totale gebruik, en door Van Krimpen et al. (2012) op 11%. De Nederlandse bodem bevat echter voldoende Se, zodat bemesting niet noodzakelijk is. De prijs van seleen daalde licht tussen 1991 en 2003 en heeft daarna sterk gefluctueerd, dit wijst mogelijk op een tekort of speculatie hierop; de voor inflatie gecorrigeerde prijs in 2011 was het zesvoudige van die in 1991. Voor het huidige gebruik buiten de landbouw is vervanging door andere, niet schaarse stoffen niet goed mogelijk. Recycling is niet mogelijk omdat de stof in lage hoeveelheden per eenheid product wordt toegepast.

### 6.1.6 Zn - zink

Zink is zowel essentieel voor planten als voor dieren, er is sprake van een ruime toediening in krachtvoer of als voedingssupplement. De prijs was sinds 1991 licht gedaald tot 2005, en is daarna weer gestegen tot het peil van 1991. Door de ruime toediening aan dieren bevat dierlijke mest zoveel zink dat het gebruik ervan (veel) meer wordt gegeven dan de onttrekking door gewassen. Voor het huidige gebruik buiten de landbouw is vervanging door andere, niet schaarse stoffen goed mogelijk. Toekomstige prijsstijgingen zullen in Nederland waarschijnlijk alleen de veehouderij treffen, maar een verder terugbrengen van het (inefficiënte) gebruik kan dit mogelijk deels compenseren.

## 6.2 Algemeen, doelstellingen project

Ten aanzien van de doelstellingen van dit project kan het volgende worden opgemerkt:

1. *Mogelijke mondiale of regionale uitputting van andere minerale nutriënten dan fosfaat in ons voedselsysteem door import van voedsel, veevoer en andere biomassa (food, feed en fiber)*

De landbouw in het algemeen is slechts voor de elementen borium en seleen verantwoordelijk voor een significant deel (resp. 12 en 11%) van het wereldgebruik. Borium heeft een stabiele, lage kostprijs en is voor een aantal huidige toepassingen goed vervangbaar door andere stoffen. Er is geen aanwijzing voor schaarste, dus geen indicatie voor een bijdrage van het voedselsysteem aan mondiale uitputting van borium. Daarentegen fluctueert de prijs van seleen sterk en vertoont een stijgende lijn, duidend op mogelijke schaarste of op speculatie op schaarste. Vervanging van seleen is niet goed mogelijk, en rekening moet worden gehouden met een stijging van de kostprijs voor de veehouderij, waarin seleen wordt toegediend. Optimalisatie van dat verbruik van seleen wordt aanbevolen.

Buiten Nederland is regionale uitputting van de bodem met micronutriënten mogelijk als gewassen (*food, feed or fiber*) worden geëxporteerd zonder dat bemesting met dierlijke mest of met sporenelementen plaats vindt. Ook met macronutriënten zoals fosfor of kalium is dit het geval. Lokale recycling van gewasresten en dierlijke mest, of van de as hiervan wanneer dierlijke mest als brandstof is gebruikt, moet worden bevorderd.

2. *Mogelijkheden om eventueel niet-duurzame verliezen van deze (micro)nutriënten naar het milieu en/of niet-duurzame accumulatie in, dan wel uitputting van, de bodem te voorkomen*

Zowel voor koper als zink wordt een accumulatie gevonden in de bodem van Nederlandse landbouwgronden door hoge gehalten in dierlijke mest. Zowel uit milieuoogpunt - risico op uitspoeling naar oppervlaktewater - als door mogelijke toekomstige schaarste moeten de mogelijkheden worden onderzocht om de aan de voeding toegediende hoeveelheden te verlagen eventueel in combinatie met het vergroten van de werkzaamheid ervan.

3. *Potentiële gevolgen van een niet duurzame uitputting van deze (micro)nutriënten en van de mogelijkheden om de oorzaken (bronnen van uitputting en verlies) aan te pakken of de gevolgen te beperken*

Schaarste aan seleen kan in de toekomst mogelijk leiden tot een verhoging van de kosten voor de veehouderij. Op dit moment lijkt geen sprake van uitputting van micronutriënten. Wel is het aan te bevelen om een beleid in te zetten gericht op het vervangen van micronutriënten in de industrie daar waar mogelijk, en op het hergebruik van micronutriënten in de industrie, daar waar mogelijk.

### 6.3 Conclusies

- Van de ca. 20 mogelijke micronutriënten voor planten en dieren hebben zes een potentieel aspect van schaarste, namelijk: borium, kobalt, koper, molybdeen, selenium en zink (B, Co, Cu, Mo, Se en Zn).
- Het mondiale gebruik van deze elementen in het voedselsysteem varieert van <1% tot 11% (Se en B) van het totale gebruik.
- Binnen het voedselsysteem vindt recycling plaats van micronutriënten via dierlijke mest, gewasresten, compost en slib.
- In bodems vindt niet-duurzame ophoping plaats van Cu en Zn via mest, vooral in gebieden met hoge veedichtheid.
- Gebruik van micronutriënten in diervoeding is veelal hoger dan gepubliceerde voedernormen. Verlaging vereist nader onderzoek en beleid in internationaal verband.
- Prijsfluctuaties van seleen en borium zijn groot en wijzen op schaarste; recycling van beide elementen vindt echter nauwelijks plaats.
- De verhouding 'reserves/jaarlijkse productie' (R/P) van B, Co, Cu, Mo, Se en Zn varieert van 20 tot 84.
- De gerapporteerde relatief lage R/P van Zn (20-46) stemt niet overeen met de relatief lage en stabiele prijzen van Zn.
- Voor alle micronutriënten gebruikt door de industrie zijn er alternatieven, behalve voor Co.
- Door het lage gehalte in mengvoer hebben prijsfluctuaties van micronutriënten een beperkt effect op de voerprijs.

### 6.4 Suggesties voor beleid

- Stimuleer het hergebruik van B, Co, Cu, Mo, Se en Zn, waar mogelijk.
- Stimuleer binnen de industrie de vervanging van primair B, Cu, Mo, Se en Zn door andere materialen, waar mogelijk.
- Stimuleer in internationaal verband het gebruik in diervoeder op basis van 'officieel' vastgestelde voedernormen.
- Stimuleer onderzoek naar behoefte en benutting van micronutriënten in diervoeding ter onderbouwing van mogelijke verlaging van de gehalten aan Cu en Zn.





## 7 Referenties

- Asher, C.J., 1991. Beneficial elements, functional nutrients, and possible new essential elements. In: J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch (ed.) *Micronutrients in Agriculture*. 2nd ed., 1991. Soil Sci. Soc. Am., Madison Wi. USA. pp. 703-723.
- CBS, PBL, Wageningen UR, 2011. Belasting van landbouwgrond met zware metalen, 1980-2009 (indicator 0097, versie 16, 16 augustus 2011). [www.compendiumvoordeleefomgeving.nl](http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl). CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.
- Commission of the European Communities, 2008. The Raw Materials Initiative - Meeting our Critical Needs for Growth and Jobs in Europe. Commission Staff Working Document accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. SEC(2008) 2741.
- European Commission, 2010. Critical raw materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, EC Enterprise and Industry, June 2010.
- Groenenberg, J.E., P.F.A.M. Römkens en W. de Vries, 2006. Prediction of the long term accumulation and leaching of copper in Dutch agricultural soils: a risk assessment study. Rapport 1278, Alterra Wageningen.
- Helmke, P.A., 2000. The chemical composition of soils. In: M.E. Sumner (ed.) *Handbook of soil science*. CRC Press, p. B3-B24.
- Jones, J.B., 1991. Plant tissue analysis in micronutrients. In: J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch (ed.) *Micronutrients in Agriculture*. 2nd ed., 1991. Soil Sci. Soc. Am., Madison Wi. USA. pp. 477-521.
- Jongbloed, A. en P.F.A.M. Römkens, 2011. Vele koper en zink in veevoeders zorgelijk. V-focus februari 2009, p. 42-43.
- Krimpen, M.M. van, A.M. van Vuuren en P. Bikker, 2012. Behoeftte en verbruik van micronutriënten in de diervoeding. Rapport Livestock Research Wageningen UR, Lelystad
- Mengel, K. en E.A. Kirkby, 1987. Principles of plant nutrition. Intern. Potash Institute, Bern, 1987.
- Miller, E.R., X. Lei en D.E. Ullrey, 1991. Trace elements in animal nutrition. In: J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch (ed.) *Micronutrients in Agriculture*. 2nd ed., 1991. Soil Sci. Soc. Am., Madison Wi. USA. pp. 593-662.
- Moraghan, J.T. en H.J. Mascagni Jr., 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch (ed.) *Micronutrients in Agriculture*. 2nd ed., 1991. Soil Sci. Soc. Am., Madison Wi. USA. pp. 371-425.
- Mortvedt, J.J., F.R. Cox, L.M. Shuman en R.M. Welch (ed.), 1991. *Micronutrients in Agriculture*. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am., Madison Wi. USA.

Römheld, V. en H. Marschner, 1991. Function of micronutrients in plants. In: J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch (ed.) *Micronutrients in Agriculture*. 2nd ed., 1991. Soil Sci. Soc. Am., Madison Wi. USA. pp. 297-328.

Udo de Haes, H.A., R.L. Voortman, T. Bastein, D.W. Bussink, C.W. Rougoor en W.J. van der Weijden, 2012. Schaarste van micronutriënten in bodem, voedsel en minerale voorraden. Urgentie en opties voor beleid. Advies aan Minister EL&I, Platform Landbouw, Innovatie & Samenleving, juni 2012.

Underwood, E.J., 1977. Trace elements in human and animal nutrition. Acad. Press New York.

USGS MCS, United States Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, voor verschillende elementen en jaren beschikbaar via <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>

Voortman, R.L., 2012. *Micronutrients in agriculture and the world food system*. Centre for World Food Studies (SOW-VU), VU University, Amsterdam.

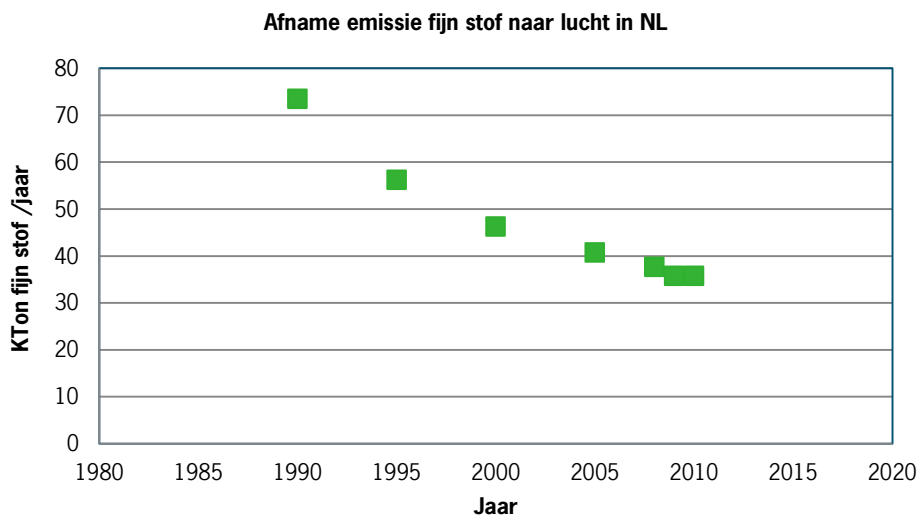
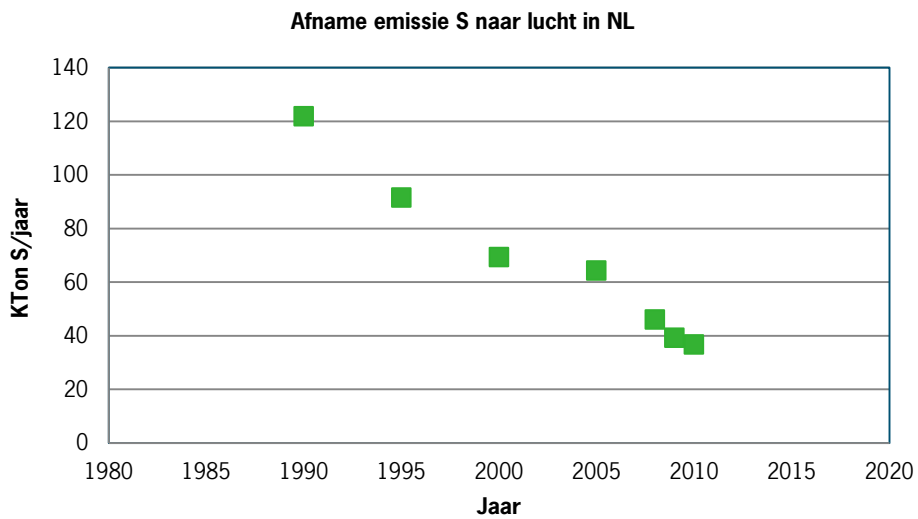
Vries, W. de, P.F.A.M. Römkens en J.C.H. Voogd, 2004. Prediction of the long term accumulation and leaching of zinc in Dutch agricultural soils: a risk assessment study. Rapport 1030, Alterra Wageningen.

Wild, A. (ed.), 1988. *Russell's Soil Conditions and Plant Growth*. Longman Scientific & Technical, New York, 11th edition.

Yang, X.E., W.R. Chen en Y. Feng, 2007. Improving human micronutrient nutrition through biofortification in the soil-plant system: China as a case study. *Environ. Geochem. Health* 29:413-428.

# Bijlage 1

In onderstaande figuren blijkt dat door technische maatregelen, en door het gebruik van zwavelarme olie, de emissie naar de lucht sterk is afgenomen (67% sinds 1990). De emissie van fijn stof is iets minder sterk afgenomen (50% sinds 1990), wat waarschijnlijk oorzaak is van de sterke afname van depositie van koper en zink op landbouwgronden (tabel 8), vermoedelijk geldt dit ook voor de andere vier elementen B, Cu, Mo en Se.





## Bijlage 2

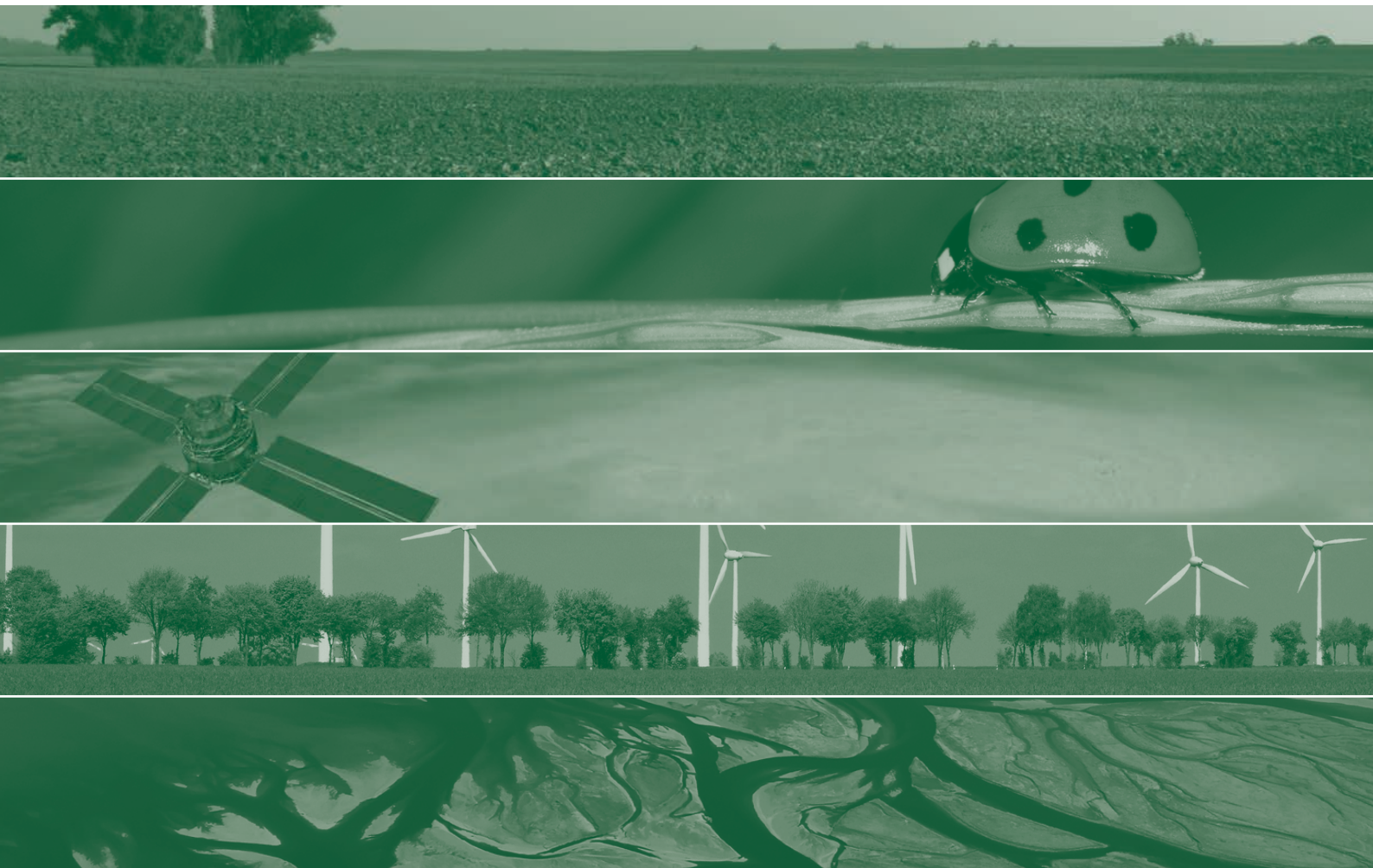
### **Vraaggesprek met E.T. Russel** (Artesia, Brazilië)

Artesia is een producent van onder meer micronutriënten (MN) en langzaam werkende meststoffen, vooral voor de Braziliaanse markt. Circa tweederde van de omzet komt uit de landbouw en eenderde uit waterbehandeling. Als grondstof voor MN worden zowel erts gebruikt als 'secundaire grondstoffen' zoals afval.

Bepalend voor de route die wordt gekozen zijn: (1) de prijs van het erts: een fabriek voor het recyclen van molybdeen uit katalysatorafval, ontwikkeld toen de prijs in 2002 hoog was, ligt nu stil omdat de prijs van erts weer is gedaald; (2) regelgeving: niet overal is hergebruik toegestaan, of bestaat er weerzin tegen 'het hergebruik van batterijen voor voedselproductie' en (3) de beschikbaarheid van de (secundaire) grondstof. De prijs van MN is echter nauwelijks van invloed op de prijs van landbouwproducten, dat is vooral energie, en in Brazilië, de afstand tot een haven door hoge transportkosten.

De prijzen van MN stijgen doordat: (1) makkelijk inbare reserves op raken; (2) strengere milieumaatregelen; (3) stijging kosten arbeid, logistiek en belastingen en (4) geopolitiek, waarbij exportrestricties worden ingevoerd. Door een betere kennis kan de dosering van MN in de landbouw omlaag, maar dit compenseert niet de stijging van de kostprijs van MN.

Russel geeft aan niet in schaarste van micronutriënten te geloven, omdat er vele nu nog niet gebruikte mogelijkheden voor recycling zijn, die niet worden meegenomen in de voorraadschattingen door de USGS.



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: [www.wageningenUR.nl/alterra](http://www.wageningenUR.nl/alterra)