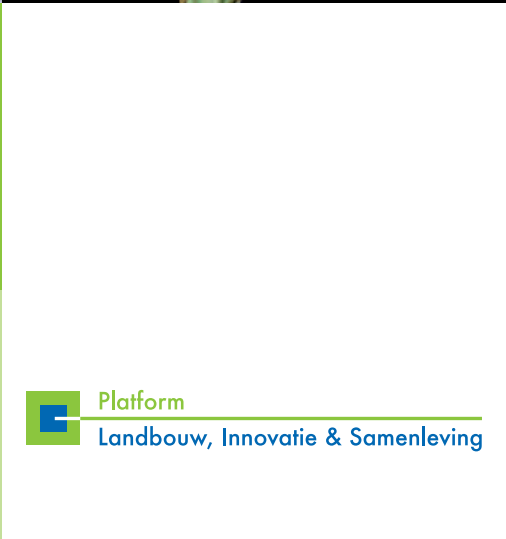
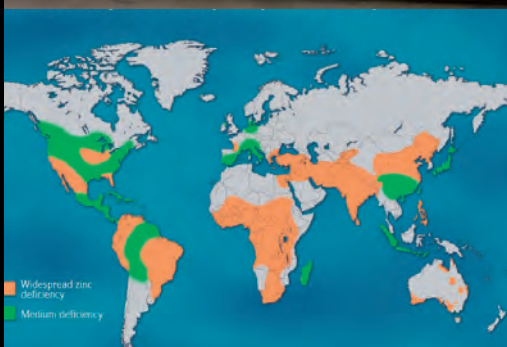


Schaarste van micronutriënten in bodem, voedsel en minerale voorraden

– Urgentie en opties voor beleid

Platform Landbouw, Innovatie & Samenleving



Toelichting bij de foto's op de omslag

Op de voorkant van linksboven met de klok mee:

- Bietenblad met zinktekort
- Rammelsbergmijn nabij Goslar in de Harz, Duitsland. Belangrijke producten waren zilver-erts, koper en lood. De mijn is gesloten in 1988.
- Runderen met koperdeficiëntie
- Kopermijn in Arizona
- Bijvoeding van schapen met mineralen inclusief micronutriënten
- Gebieden in de wereld waar zinkdeficiënties in belangrijke gewassen voorkomen.

Op de achterkant:

- Baby met zinkdeficiëntie

Schaarste van micronutriënten in bodem, voedsel en minerale voorraden

Urgentie en opties voor beleid

prof.dr. Helias A. Udo de Haes

dr. Roelf L. Voortman

dr. Ton Bastein

dr.ir. D.W. (Wim) Bussink

dr.ir. Carin W. Rougoor

drs. Wouter J. van der Weijden

Rapport en advies aan de minister en staatssecretaris van
Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

Platform Landbouw, Innovatie & Samenleving

Deze notitie is in hoofdzaak gebaseerd op de volgende achtergrondrapporten:

- Roelf L. Voortman, 2012: *Micronutrients in agriculture and the world food system – future scarcity and implications*. Centre for World Food Studies (SOW-VU), VU University, Amsterdam.
- Ton Bastein en T. van Bree, 2012: *Suppletie van micronutriënten vanuit de mijnbouw*. TNO, Delft.
- D.W. (Wim) Bussink, 2012: *Micronutriënten in de landbouw en beschikbaarheid in de bodem: focus op koper en zink*. Nutriënten Management Instituut NMI, Wageningen.

Deze achtergrondrapporten zijn opgesteld in opdracht van het Platform Landbouw, Innovatie en Samenleving en zijn gezamenlijk als aparte publicatie door het Platform uitgebracht. Voor de literatuuropgaven wordt in hoofdzaak naar deze achtergrondstudies verwezen, tenzij hier volledig opgenomen. Alle publicaties zijn op te vragen bij het Platform en/of te downloaden via www.platformlis.nl.

Platform Landbouw, Innovatie & Samenleving, Utrecht, juni 2012

Inhoud

Samenvatting	5
1. Inleiding	11
2. Overzicht nutriënten	13
3. Tekorten in de bodem en in de voeding	15
3.1 Natuurlijke voorraden in de bodem	15
3.2 Deficiënties van micronutriënten voor gewassen	17
3.3 Deficiënties van micronutriënten voor vee en mens	19
4. Oplossingen voor tekorten	23
4.1 Verkleinen van de kloof tussen aanwezigheid en beschikbaarheid	23
4.2 Verbreding van huidig NPK regiem	24
4.3 Voedingssuppletie voor vee en mens	28
5. Suppletie vanuit de mijnbouw	29
5.1 Algemeen	29
5.2 Schaarste van micronutriënten – statisch beschouwd	29
5.3 Schaarste van micronutriënten – dynamisch beschouwd	31
5.4 Onzekerheden in de gegevens van de USGS	32
5.5 Neveneffecten – <i>linkages of sustainability</i>	32
5.6 Zink	34
5.7 Seleen	35
5.8 Naar een geringere afhankelijkheid van de wereldmarkt	35
6. Aanbevelingen voor beleid, landbouwpraktijk en onderzoek	39
6.1 Huidig beleid	39
6.2 Aanbevelingen voor het beleid van de Nederlandse overheid	39
6.3 Aanbevelingen voor de landbouwpraktijk	40
6.4 Aanbevelingen voor bedrijven in minerale micronutriëntenketens	41
6.5 Aanbevelingen voor het onderzoek	41
Bijlage 1: Taak en samenstelling Platform Landbouw, Innovatie & Samenleving	43
Bijlage 2: Voorraden en geografische concentratie van de belangrijkste minerale nutriënten	45

Samenvatting

Wereldwijde schaarste van voedingsstoffen is dichterbij dan algemeen gedacht. Dergelijke schaarsten zullen gevolgen hebben voor gewasopbrengsten en volksgezondheid. Voor Nederland en Europa zullen dergelijke tekorten ook geopolitieke risico's met zich mee brengen, in de vorm van een te sterke afhankelijkheid van grondstofrijke landen.

Voedingsstoffen

Voedingsstoffen (of nutriënten) zijn in te delen in: water, koolhydraten, eiwitten, vetten, vitaminen, mineralen en bioactieve stoffen zoals anti-oxidantia. Mineralen kunnen binnen de landbouw als meststoffen aan de bodem worden toegevoegd. Daarbij kunnen twee groepen worden onderscheiden macronutriënten - zoals met name stikstof, kalium, calcium, zwavel, magnesium en fosfor - en micronutriënten. Van vele van deze minerale nutriënten¹ zijn de voorraden eindig.

Deze studie gaat over de mogelijke wereldwijde schaarste van micronutriënten in de landbouw. Centraal staan de voor landbouwgewassen essentiële micronutriënten, te weten boor, ijzer, koper, mangaan, molybdeen en zink. Deze zijn in veel kleinere hoeveelheden nodig dan de macronutriënten, maar zijn voor de plantengroei niet minder essentieel. De meeste nadruk in deze studie krijgt zink, dat als representatief voor deze groep wordt beschouwd. Daarnaast besteden we aandacht aan seleen, dat we als representatief beschouwen voor micronutriënten die niet essentieel zijn voor gewassen, maar wel voor vee en voor de mens.

Deze studie heeft tot doel vast te stellen hoe urgent een mogelijke wereldwijde schaarste van micronutriënten is, in de nabije en de verdere toekomst. Voorts wordt onderzocht wat de gevolgen zijn van deficiënties van micronutriënten voor gewassen, voor vee en voor de mens. Tenslotte worden voorstellen gedaan voor beleid, voor de landbouwpraktijk en voor het onderzoek in Nederland en Europa.

Schaarste

In het milieubeleid wordt naast de risico's van verontreiniging steeds meer aandacht besteed aan schaarste, ofwel een verschuiving van "teveel" naar "te kort". We bespreken drie mogelijke vormen van schaarste:

- schaarste in de *bodem* als voedingsstof voor gewassen;
- schaarste in het *voedsel* voor vee en mens; en
- schaarste in de *minerale voorraden* die via mijnbouw (kunnen) worden gebruikt voor de productie van kunstmest als suppletie voor de natuurlijke nutriëntenvoorziening.

¹ Eind negentiende eeuw werden deze aangeduid met de term "delfstoffelijke meststoffen".

Schaarste in de bodem

Tekorten in de bodem van voor planten essentiële micronutriënten leiden tot lagere gewasopbrengsten. Dergelijke tekorten zijn de laatste decennia vooral aangetoond voor zink, en in mindere mate voor boor en molybdeen. Zinktekorten komen op grote schaal voor in Azië, van Turkije, via India en China tot Indonesië, in Sub-Sahara Afrika en in noordwestelijk Zuid-Amerika. Naast natuurlijke oorzaken kunnen tekorten aan micronutriënten in de bodem ook het gevolg zijn van overbesteding met fosfaat.

Fosfaat kan de beschikbaarheid van ijzer, zink en koper voor het gewas remmen. Vermoed wordt dat in China een *vermindering* van de fosfaatbemesting in combinatie met toediening van zink tot een sterke opbrengststijging zal leiden. In ieder geval is duidelijk dat in dat land bij een sterke vermindering van de kunstmestgift de opbrengsten niet omlaag hoeven te gaan. Molybdeen is bovendien essentieel voor stikstofbinding door planten; een tekort aan dit nutriënt kan daarmee, als er vlinderbloemigen in de gewasrotatie aanwezig zijn, leiden tot een stikstoftekort en dus op twee manieren de gewasopbrengst beperken.

Voor seleen bestaan op grote schaal tekorten in de bodem, die op zich geen gevolgen hebben voor gewassen. Maar consumptie van gewassen uit streken met lage bodemwaarden voor seleen kunnen leiden tot een tekort aan dit mineraal bij vee en bij de mens.

Schaarste in veevoer en voedsel

Schaarste in de menselijke voeding is vooral bekend van zink. In grote delen van Azië, Afrika en Zuid-Amerika leiden zinktekorten tot deficiëntieziekten, zoals het risico van groeivertraging bij kinderen en een veelheid aan stofwisselingsstoornissen. Naar schatting heeft een derde van de wereldbevolking een risico voor zinktekort; dit tekort is de vijfde belangrijke risicofactor voor ziekten in ontwikkelingslanden. Wereldwijd sterven naar schatting jaarlijks maar liefst 800.000 mensen aan zinkgebrek, een aantal dat vergelijkbaar is met de sterfte aan malaria. Toch staat zinkgebrek laag op publieke agenda's.

Voor seleen geldt, evenals voor zink, dat gebreksziekten bij mensen alleen voorkomen in ontwikkelingslanden. In industrielanden komen ze nauwelijks voor als gevolg van het gevarieerde dieet en voedingssupplementen. Wat het vee betreft komen in veel regio's, incidenteel ook in Nederland, vruchtbaarheidsproblemen voor bij runderen als gevolg van seleentekorten in veevoer; zinktekorten spelen alleen in de industrielanden in Oost-Europa.

Schaarste van minerale voorraden

Bij een tekort in landbouwbodems kan suppletie plaatsvinden van mineralen vanuit de mijnbouw. Deze mineralen worden op dit moment vrijwel alleen voor industriële toepassingen gebruikt. Toch zijn deze mineralen voor de industrie niet essentieel, terwijl ze dat voor landbouw en volksgezondheid wel zijn. De minerale voorraden zijn, in verhouding tot de vraag, het krapst voor zink. Bij het huidige productieniveau en de nu bekende voorraden is zelfs nog maar voor 21 jaar zink aanwezig (R / P is 21²). De productie zal waarschijnlijk verder stijgen. Tegen 2020 zal naar verwachting de vraag het aanbod

² R [=reserve] / P = productie in de mijn per jaar]

overtreffen en zal *Peak Zinc* worden bereikt. Seleen is wat minder schaars met een R / P – waarde van 39.

Hier zijn kanttekeningen bij te plaatsen. Bij toenemende schaarste zullen voorraadcijfers worden bijgesteld of zullen nieuwe ertsvoorraden worden ontdekt of rendabel worden. Een voorbeeld van het eerste vormde de recente sterke opwaardering van de fosfaatvoorraden van Marokko. Dat is een hoge uitzondering. Meestal zal het gaan om nieuw ontdekte voorraden van ertsen met een afnemende rijkdom en met een toenemende verontreiniging waarvan de winning gepaard zal gaan met een hoger gebruik van energie en water. Daardoor zullen de winningskosten toenemen. Ook zullen steeds grotere prijsschommelingen optreden. Suppletie via kunstmest en veevoer kan een aanzienlijk beslag leggen op de aanwezige minerale voorraden en daarmee leiden tot een verscherping van deze problemen. Behalve voor zink blijkt dat met name ook voor seleen aan de orde te zijn. Een globale schatting geeft aan dat de huidige seleenproductie uit de mijnen bij lange na niet voldoende zal zijn om te voldoen aan een vraag die voldoet aan de geschatte tekorten in de voedselketen.

Geopolitiek

De risico's van schaarste van deze mineralen kunnen worden versterkt door geopolitiek. Zo is de winning van zink en mangaan voor meer dan 50% geconcentreerd in slechts drie niet-Europese landen en die van molybdeen en boor zelfs voor meer dan 75%. Van de in de United States Geological Survey (USGS) gespecificeerde voorraden is voor de voor planten essentiële micronutriënten slechts maximaal 4% in landen van de EU aanwezig. Extra risico voor Europa is dat voor de handel minder stabiele landen met een *World Governance Index* tussen 50 en 70 (op een schaal met een maximum van 100), zoals China, Turkije, Argentinië en Peru een belangrijke rol als leverancier spelen.

Aanbevelingen

Aanbevelingen voor het beleid van de Nederlandse overheid

- Hoogste prioriteit heeft dat de huidige en toekomstige schaarsten van micronutriënten op nationale, Europese en mondiale agenda's komen. Op nationaal niveau moet de schaarste aan minerale grondstoffen – naast energie – in het topsectorenbeleid worden opgenomen. Op Europees niveau zijn er twee strategische lacunes. 1) In het landbouwbeleid (GLB), inclusief de huidige hervormingsvoorstellen, is de bodemvruchtbaarheid wel een kerndoel, maar wordt geen aandacht besteed aan een komende schaarste van micronutriënten. 2) Het Europese grondstoffenbeleid besteedt geen aandacht aan de landbouw. Bij de identificatie van kritieke grondstoffen wordt de vraag vanuit de landbouw zelfs expliciet buitengesloten. Deze lacunes moeten met voorrang worden opgevuld.

- Verder bepleiten we lange-termijn leveringsovereenkomsten van de EU met landen die grote reserves aan minerale micronutriënten hebben. China is over de hele linie een land met grote voorraden, maar ook de VS en enkele Zuid-Amerikaanse landen zijn van belang. Het meest effectief zijn overeenkomsten op basis van wederzijdse afhankelijkheden. Aan China kan de EU bijvoorbeeld landbouwproducten bieden.
- Maar gezien de geopolitieke onzekerheden is het zaak om de afhankelijkheid van import meer fundamenteel te verminderen door een reductie van de vraag naar minerale micronutriënten. Speerpunten daarbij zijn: efficiënter gebruik, substitutie en recycling.
- Het meest urgent is een dergelijk beleid voor zink, omdat zich bij dit element wereldwijd nu al de grootste tekorten in de voedselketen voordoen, en in de mijnbouw de krapste verhouding bestaat tussen productie en bekende reserves. Ook seleen verdient prioriteit gezien de regionale tekorten in de voedselketen en de onmogelijkheid om die door suppletie uit de mijnbouw weg te nemen.

Aanbevelingen voor de landbouwpraktijk

- De landbouwsector zal moeten zorgen voor voldoende bodemvruchtbaarheid, i.c. beschikbaarheid van micronutriënten in de bodem. Kernpunten zijn:
 - tegengaan van overbemesting met fosfaat om antagonisme met ijzer, zink en koper te voorkomen. De overheid kan dat stimuleren. Zo zou in een land als China de subsidie op fosfaatkunstmest moeten worden heroverwogen;
 - teeltmaatregelen nemen om erosie en uitspoeling tegen te gaan, zoals het jaarrond groen houden van de bodem en het werken met mengteelten;
 - aanwenden van dierlijke mest waarin de meeste micronutriënten aanwezig zijn;
 - additionele bemesting met micronutriënten die “in het minimum zijn”.
- Ook andere bedrijven in de voedselketen, zoals met name voedselindustrie en retail, hebben hier een verantwoordelijkheid.

Aanbeveling voor bedrijven in minerale micronutriëntenketens

- Ketens van minerale micronutriënten, lopend van winning in de mijnen, toepassing in industriële producten naar recycling, zullen efficiënter en beter gesloten moeten worden. Het gaat dan bij voorbeeld om de toepassing van zink in dakgoten en seleen in glas. Het is belangrijk dat de betrokken ketenpartijen zelf hun verantwoordelijkheid nemen. Bij fosfaat is dat proces – althans in Nederland - al begonnen.

Aanbevelingen voor het onderzoek

- Een eerste prioriteit is een wereldwijde inventarisatie van de beschikbaarheid van micronutriënten in landbouwbodems, gecoördineerd door de FAO. Dat is met name

urgent in ontwikkelingslanden; het huidige onderzoek in China kan hier als voorbeeld dienen.

- Een andere belangrijke vraag is in hoeverre de behoefte vanuit de landbouw gedekt zal kunnen worden door suppletie vanuit de mijnbouw. Dat vergt gevoeligheidsanalyses naar de invloed van verschillende scenario's voor de vraag naar micronutriënten, waarbij ook de teelt van biobrandstoffen moet worden meegenomen. Voor seleen is deze vraag in feite beantwoord (zie hierboven). Voor zink is een specifieke vraag in hoeverre we op weg zijn naar *Peak Zinc*, vergelijkbaar met *Peak Oil*.
- Er is grote behoefte aan technologische innovaties gericht op een efficiëntere benutting van micronutriënten door gewas, vee en mens. Hetzelfde geldt voor innovaties gericht op het efficiënter maken van productketens van minerale micronutriënten. Een analyse van de *sources* en *sinks* van micronutriënten in mondiale bulkhandelsstromen kan belangrijke stromen in kaart brengen, waaruit ze kunnen worden teruggewonnen.

Conclusie

Het is opmerkelijk dat de problematiek van de micronutriënten nog nauwelijks aandacht krijgt in het onderzoek, het landbouwbeleid en het grondstoffenbeleid van Nederland en de EU, en evenmin in landbouw en voedselindustrie. In al deze kaders blijkt aandacht voor deze problematiek urgent.

1. Inleiding

Grondstoffen zijn een centraal onderdeel geworden van de duurzaamheidsagenda. Zo is er naast aandacht voor fossiele brandstoffen steeds meer aandacht gekomen voor zeldzame aardmetalen ten behoeve van de elektronica-industrie, voor land beschikbaar voor voedselvoorziening, biomassa en natuur, en voor zoet water. Sinds kort is er ook aandacht voor mineralen als essentiële voedingsstoffen voor gewassen, en voor mensen en vee. Essentieel in die zin dat ze niet door andere stoffen of technologieën kunnen worden vervangen, zoals dat het geval is bij zeldzame aardmetalen en bij de fossiele brandstoffen.

In 2009 heeft het Platform Landbouw, Innovatie en Samenleving een beleidsnotitie over fosfaat uitgebracht.³ In die notitie werd de overgang “van te veel naar te kort” aan de orde gesteld. Bij voortzetting van het huidige gebruiksniveau en bij de huidige reserves zou deze grondstof al in 125 jaar zijn uitgeput (zie hierover ook paragraaf 5.4). Die studie heeft er mede toe bijgedragen dat fosfaat als toekomstig schaarse grondstof is opgenomen in het Nederlandse grondstoffenbeleid (gepubliceerd als ‘Grondstoffennotitie’, juli 2011) en dat een overeenkomst is getekend tussen de regering en het Nutriënten Platform en meer dan 20 belangrijke stakeholders in de productketens van nutriënten.⁴ Op Europees niveau is fosfaat op de onderzoeksagenda gekomen. De mondiale schaarste was daarbij minder doorslaggevend dan de geopolitieke dimensie. Dat wil zeggen de toenemende afhankelijkheid van Marokko (plus de Westelijke Sahara) en China, de twee landen die tezamen twee derde van alle bekende fosfaatvoorraden in de wereld bezitten.

Gezien deze ontwikkelingen rond fosfaat is het belangrijk om te weten hoe het staat met andere essentiële minerale nutriënten. Daarbij gaat het niet alleen om nutriënten die in relatief grote hoeveelheden nodig zijn, de zgn. macronutriënten zoals stikstof, fosfaat en kalium, maar ook om de zgn. minerale micronutriënten of sporenelementen. Die zijn in veel kleinere hoeveelheden nodig, maar even essentieel voor gewassen en voor mensen en vee. De centrale vraag van deze studie is in hoeverre er bij deze voedingsstoffen ook sprake van schaarste zal zijn in de nabije of verdere toekomst.

Schaarste kan in drie verschillende vormen optreden:

- schaarste in de bodem als voedingsstof voor gewassen;
- schaarste in het (plantaardig en dierlijk) voedsel voor dier en mens;
- schaarste aan minerale voorraden die kunnen worden gebruikt voor de productie van kunstmest als suppletie voor de natuurlijke nutriëntenvoorziening.

³ H.A. Udo de Haes, J.L.A. Jansen, W.J. van der Weijden en A.L. Smit (2009) Fosfaat – van te veel naar tekort. Beleidsnotitie van de Stuurgroep Technology Assessment van het ministerie van LNV. Utrecht, September 2009.

⁴ Ketenakkoord Fosfaatkringloop, 4 oktober 2011: <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2011/10/04/ketenakkoord-fosfaatkringloop.html>.

In deze notitie staan de voor de gewassen essentiële micronutriënten centraal, en in het bijzonder zink. Daarnaast wordt aandacht besteed aan seleen, dat niet voor gewassen essentieel is maar wel voor vee en mens.

In hoofdstuk 2 volgt eerst een overzicht van de verschillende soorten nutriënten voor gewassen, en voor mensen en vee. In hoofdstuk 3 volgt een beschrijving van de nu bekende deficiënties in de voedselketen, dat wil zeggen het gebrek aan nutriënten in de bodem, in het gewas en in de mens. Hoofdstuk 4 gaat in op de rol van bemesting, zowel van de nu dominante bemesting met stikstof, fosfor en kalium (NPK) als van een breder bemestingsregiem. Hoofdstuk 5 gaat in op mogelijke suppletie van micronutriënten uit de mijnbouw. Hoofdstuk 6 sluit het rapport af met aanbevelingen voor het Nederlandse beleid, voor de landbouwpraktijk, voor bedrijven in minerale micronutriëntenketens en voor het onderzoek.

2. Overzicht nutriënten

Er zijn in totaal 21 voor gewassen of voor mensen en vee essentiële minerale nutriënten.⁵ Tabel 1 geeft een overzicht, Tabel 2 geeft de gemiddelde gehalten van deze nutriënten in gewassen en in mensen en vee.

Tabel 1. Essentiële nutriënten voor gewas, en voor mens en vee (Bron: Nubé en Voortman, 2006, gebaseerd op Marschner, 1995, Garrow et al., 2000 en Wiseman, 2002)⁶.

(In linker kolom de voor planten essentiële nutriënten, in rechterkolom alleen voor mens/vee essentiële nutriënten. Binnen de kolommen gerangschikt naar gehalten in gewassen).

Nutriënt	Gewas ¹⁾	Mens/ vee ²⁾	Nutriënt	Gewas ¹⁾	Mens/ vee ²⁾
Stikstof	+	+	Chloor	±	+
Kalium	+	+	Silicium	±	+
Calcium	+	+	Natrium	±	+
Zwavel	+	+	Jodium	-	+
Magnesium	+	+	Nikkel	±	(+)
Fosfor	+	+	Chroom	-	+
Mangaan	+	+	Kobalt	±	+
IJzer	+	+	Selenium	±	+
Zink	+	+			
Borium	+	-			
Koper	+	+			
Molybdeen	+	+			

¹⁾ + : essentieel; - : niet nodig; ± : noodzaak niet aangetoond, maar nut verondersteld

²⁾ +: essentieel; - : niet nodig; (+) : noodzaak niet aangetoond, maar niet uitgesloten

Tabel 2. Nutriëntgehalten in het gewas en in mens en vee als percentage van de droge stof. (Bronnen: voor planten: Markert (1992); voor de mens (behalve molybdeen): Iyengar (1998); overig: compilatie van internetbronnen.

Nutriënt	Plant	Mens/vee	Nutriënt	Plant	Mens/vee
Stikstof	2,5	9	Chloor	0,2	0,45
Kalium	1,9	0,75	Silicium	0,1	0,0036
Calcium	1,0	4,2	Natrium	0,015	0,45
Zwavel	0,3	0,75	Jodium	0,0003	0,00002
Magnesium	0,2	0,15	Nikkel	0,00015	0,000007
Fosfor	0,2	3,3	Chroom	0,00015	0,000001
Mangaan	0,02	0,000016	Kobalt	0,00002	0,000002
IJzer	0,015	0,007	Selenium	0,000002	0,00002
Zink	0,005	0,003			
Borium	0,004	0,00002			
Koper	0,001	0,0002			
Molybdeen	0,00005	0,000039			

⁵ In dit rapport worden met de term “micronutriënten” uitsluitend minerale nutriënten aangeduid en niet organische nutriënten zoals vitamines.

⁶ Onvolledige literatuurverwijzingen bij tabellen en figuren zijn in hun volledige vorm opgenomen in de literatuuropgaven van de achtergrondrapporten.

Tabel 3 geeft een indeling van de voor de gewassen belangrijke nutriënten. Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen voor de plantengroei essentiële macro-, meso- en micronutriënten en de voor de plantengroei bijkomende gunstige nutriënten. N.B. In dit rapport worden de beide eerste groepen, de macro- en mesonutriënten, samengenomen als “macronutriënten”.

Tabel 3. Minerale nutriënten voor gewassen onderscheiden op basis van de voor het gewas benodigde hoeveelheden, de toename van de opbrengst per kg in geval van een sterk tekort en de duur van het residu-effect (d.w.z. de duur van de nalevering in opvolgende jaren).

Nutriëntengroep	Elementen	Toename opbrengst / kg	Residu-effect
Macronutriënten	N, K	Laag	Kort-gemiddeld
Mesonutriënten	Ca, Mg, P, S	Gemiddeld	Gemiddeld (-lang)
Micronutriënten	B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn	Hoog	Lang
Aanvullend	Al, Cl, Co, Na, Ni, Se, Si	??	??

Zoals in de inleiding aangegeven vormen de voor het gewas essentiële micronutriënten het primaire onderwerp van deze notitie; dat zijn: boor, koper, ijzer, mangaan, molybdeen en zink. De meeste aandacht gaat daarbij uit naar zink, als representatief voor deze groep. Daarnaast wordt aandacht besteed aan seleen, dat wij als representatief voor die micronutriënten beschouwen die niet essentieel zijn voor het gewas maar wel voor vee en mens.

3. Tekorten in de bodem en in de voeding

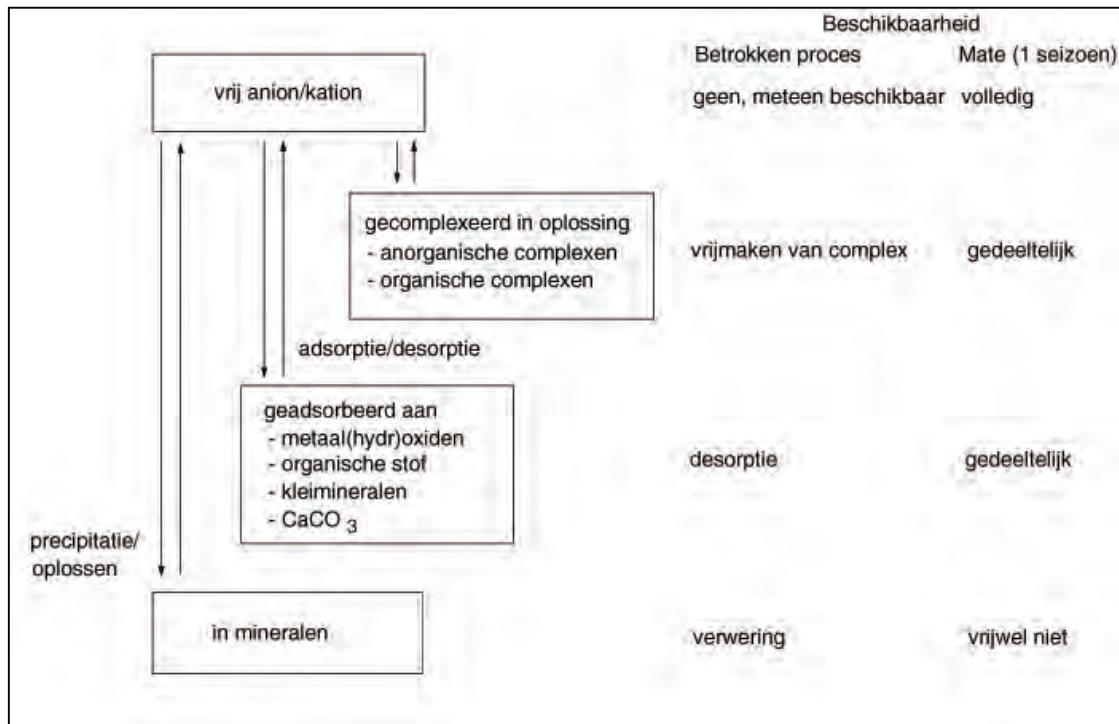
3.1 Natuurlijke voorraden in de bodem

De primaire bron van nutriënten vormt de verwerking van moedermateriaal in de aardkorst. Tabel 4 laat de aanwezigheid van de belangrijkste elementen in de aardkorst zien. Bij de voor de plantengroei essentiële nutriënten zijn naast stikstof kalium, calcium, magnesium en ijzer algemeen; fosfor en mangaan komen minder voor; en met name boor, koper, molybdeen en zink zijn relatief schaars.

Tabel 4. Gemiddelde gehalten van micronutriënt-elementen in de aardkorst, gerangschikt naar mate van voorkomen (Bron: Rudnick en Gao, 2003) (ppm = parts per million).

Nutriënt	ppm	Nutriënt	ppm
Silicium	311.000	Chloor	370
IJzer	39.200	Chroom	92
Calcium	25.600	Zink	67
Natrium	24.300	Nikkel	47
Kalium	23.200	Koper	28
Magnesium	15.000	Kobalt	17
Aluminium	8.150	Boor	17
Mangaan	775	Jodium	1,4
Fosfor	655	Molybdeen	1,1
Zwavel	621	Seleen	0,09

In Figuur 1 zijn de verschillende vormen weergegeven waarin de nutriënten in de bodem voor kunnen komen. De gehalten van metalen in de bodem worden in eerste instantie bepaald door de samenstelling van het moedermateriaal, en verschillen daarmee sterk van plaats tot plaats. In het bodemvocht komen de nutriënten voor een deel voor als opgeloste, vrije ionen, en voor een deel als complexen. En ze kunnen zijn gebonden aan organische stof en aan kleideeltjes (het bodemadsorptiecomplex).



Figuur 1. Schema van de belangrijkste bodemfracties waarin de nutriënten aanwezig zijn. De processen die van invloed zijn op het beschikbaar komen van een bepaalde fractie en de mate waarin de verschillende fracties kunnen vrijkomen voor opname binnen een groeiseizoen zijn aangegeven (Bron: Bussink & Temminghoff, 2004).

Hoeveel is er totaal in de mondiale landbouwbodems aanwezig? Hiervoor nemen we zink als voorbeeld. Gesteld dat alle zink in de bovenste 20 cm van de bodem voor de gewassen beschikbaar zou zijn, dan valt te berekenen dat de huidige totaal aanwezige hoeveelheid voldoende zou zijn voor ca. 1000 jaar landbouwproductie op het huidige niveau. Dat lijkt een geruststellend getal, te meer omdat de voorraad, met uitzondering van sterk verweerde bodems, vooral steeds ook vanuit het moedermateriaal wordt aangevuld. Maar dit cijfer zegt niet zo veel. Het gaat niet om de totale aanwezige hoeveelheid, maar om de hoeveelheid die beschikbaar is voor het gewas. Voor zink (en voor koper) is bijvoorbeeld slechts 0,1 % (oplopend tot 1%) van de totaal in de bodem aanwezige hoeveelheid in de vrij beschikbare ion-vorm in het bodemvocht beschikbaar, en daarmee voor de planten opneembaar (zie Tabel 5). Veelal is dit ontoereikend voor optimale gewasgroei; de hoeveelheid koper en zink die de bodem na kan leveren bepaalt dan of er voldoende van deze nutriënten voor de planten beschikbaar is. Via grondonderzoek wordt getracht deze hoeveelheid te kwantificeren (zie paragraaf 3.2). Op de mogelijkheden om de beschikbaarheid te verhogen wordt nader ingegaan in paragraaf 3.4.

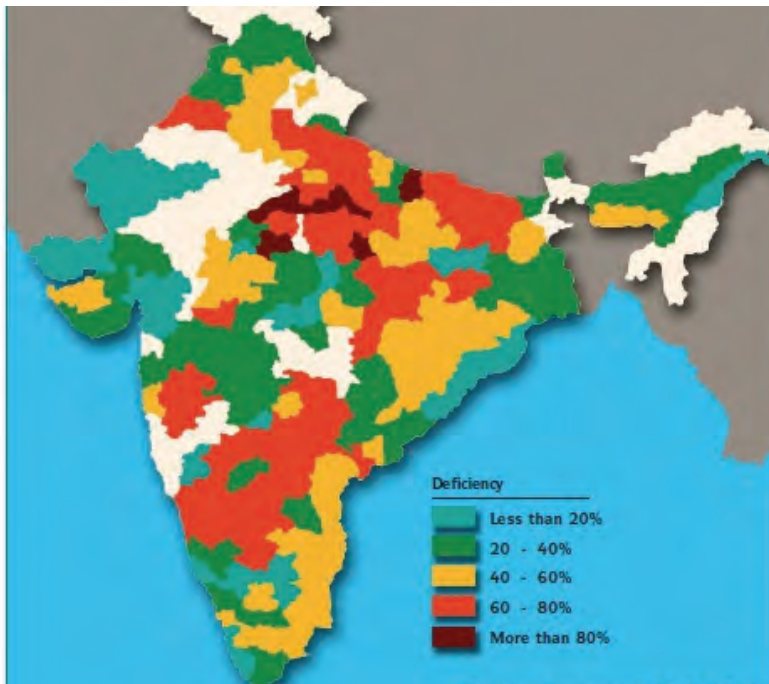
Tabel 5. Totaalgehalten aan Cu en Zn die wereldwijd in de bodem worden aangetroffen en de concentratie ervan in het bodemvocht (Bronnen: Mengel en Kirkby [1987] en Kabata-Pendias en Pendias [2001]).

Element	Totaalgehalte mg/kg	Concentratie in bodemvocht mg/kg
Koper	1 – 140	0,0018 – 0,135
Zink	3,5 – 770	0,021 – 0,570

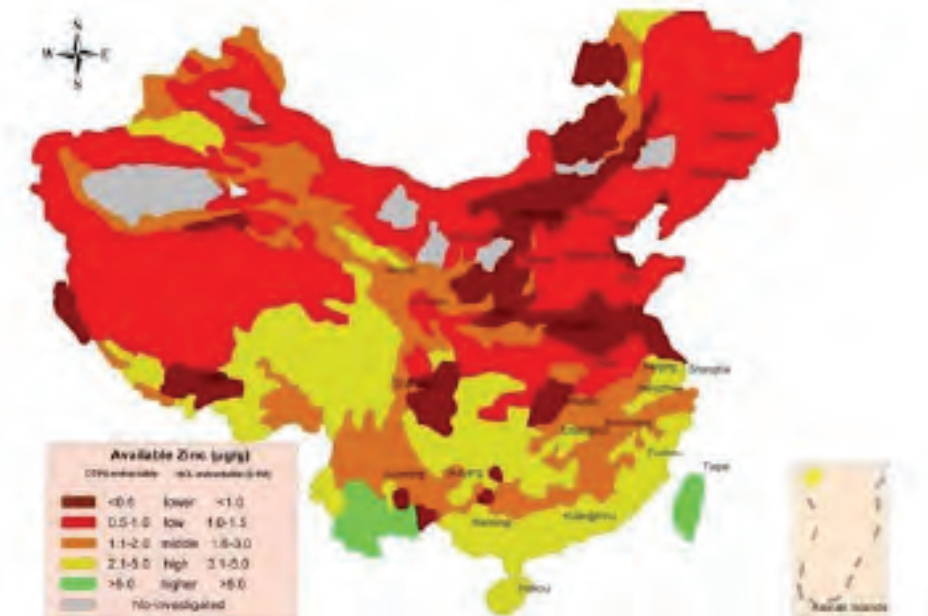
3.2 Deficiënties van micronutriënten voor gewassen

Deficiënties van metalen treden op bij te weinig nalevering in de bodem vanuit het moedermateriaal en vanuit de geadsorbeerde en gecomplexeerde fracties. Deficiënties in de bodem voor gewassen kunnen ontstaan door natuurlijke factoren (arme bodems, bij voorbeeld hele zure of sterk basische bodems), en door menselijk gebruik, bijvoorbeeld uitputting door oogsten zonder bemesting. Belangrijke voorbeelden van landen met deficiënties in de bodem zijn India en China, waar veel systematisch onderzoek wordt gedaan naar de oorzaken van het huidige stagneren van de landbouwopbrengsten (zie Figuur 2 en 3). In deze beide landen bestaat een tekort aan boor in ruim 30% en een zinktekort zelfs in ca. 50% van de landbouwgrond. Een molybdeentekort is er in 13% van de landbouwgrond in India en maar liefst 47% in China. Elders zijn er aanzienlijke zinktekorten in de bodems in Turkije, Iran en Pakistan en in Sub-Sahara Afrika. Figuur 4 toont het zinkgebrek in de bodem wereldwijd.

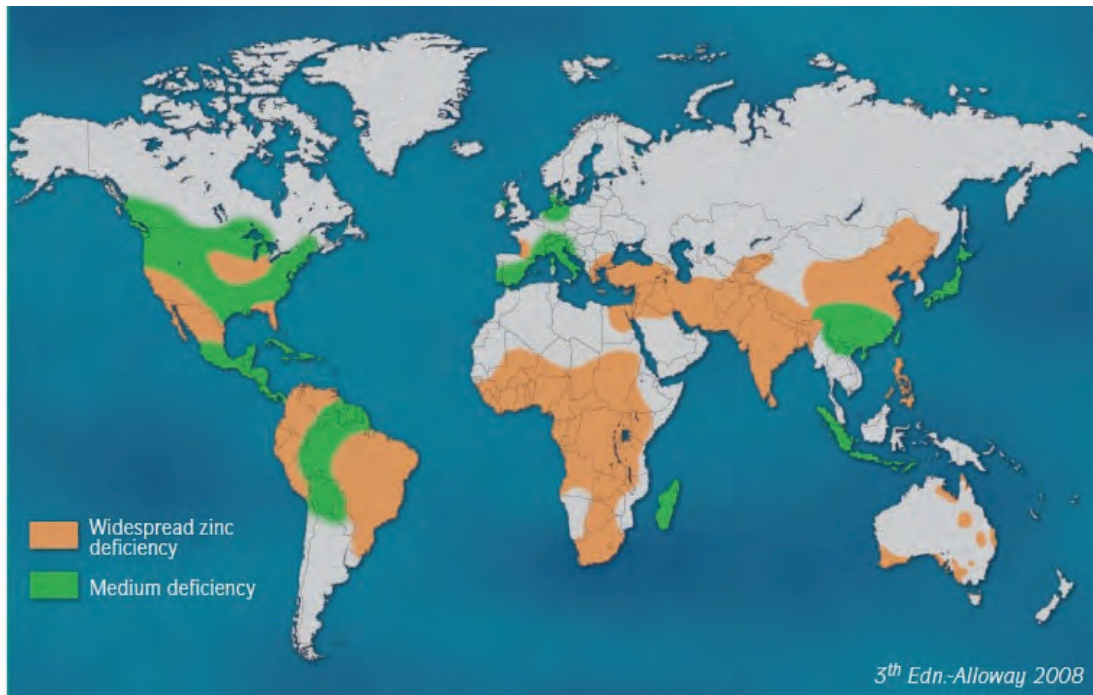
Zink is in lage concentraties essentieel voor de plantengroei, in hoge concentraties is het toxisch. Het is onder andere betrokken bij veel enzymatische reacties, zoals bij het koolhydraatmetabolisme en de synthese van eiwitten. Bij een tekort aan zink treden verkleuring van het blad en groeistoornissen op, zoals een drastische vermindering van de bladgrootte en het afsterven van de plantentop. Dit alles leidt tot opbrengstverminderingen, en in ernstige gevallen tot het afsterven van de plant. Seleen is, zoals eerder aangegeven, niet essentieel voor de plantengroei, maar toevoeging van seleen kan de groei wel bevorderen.



Figuur 2. Percentages landbouwgrond met zinktekort in India (Bron: Alloway, 2008).



Figuur 3. Percentages landbouwgrond met zinktekort in China (Bron: Yang et al., 2007, gebaseerd op Liu, 1994).



Figuur 4. Gebieden met zinktekort op wereldschaal (Bron: Alloway, 2008).

3.3 Deficiënties van micronutriënten voor vee en mens

Er bestaat nog maar weinig aandacht voor de doorwerking van tekorten aan micronutriënten in bodem en gewas naar humane en veterinaire gebreksziekten. We gaan eerst nader in op zink.

Zink element speelt met name een belangrijke rol bij de eiwitsynthese. Zinktekort veroorzaakt o.a. groeistoornissen, achterblijven van de geslachtelijke ontwikkeling, verhoogde gevoeligheid voor infecties, aantasting immuunsysteem, huiduitslag en chronische diarree. Een matig zinktekort komt veel voor bij kinderen in ontwikkelingslanden en beïnvloedt hun fysieke en psychosociale ontwikkeling. Vergelijkbare verschijnselen treden voor een deel ook op bij vee, zoals huidafwijkingen, aantasting van het immuunsysteem en groeivertraging (zie Box 1).

Naar schatting heeft een derde van de wereldbevolking een risico voor zinktekort; dit tekort is de vijfde belangrijke risicofactor voor ziekten in ontwikkelingslanden. Wereldwijd sterven naar schatting jaarlijks maar liefst 800.000 mensen aan zinkgebrek, een aantal dat vergelijkbaar is met de sterfte aan malaria. Toch staat zinkgebrek laag op publieke agenda's.

Box 1. Belangrijkste humane gebreksziekten bij tekorten aan zink en aan seleen. (Bron: achtergrondrapport Voortman, 2012).

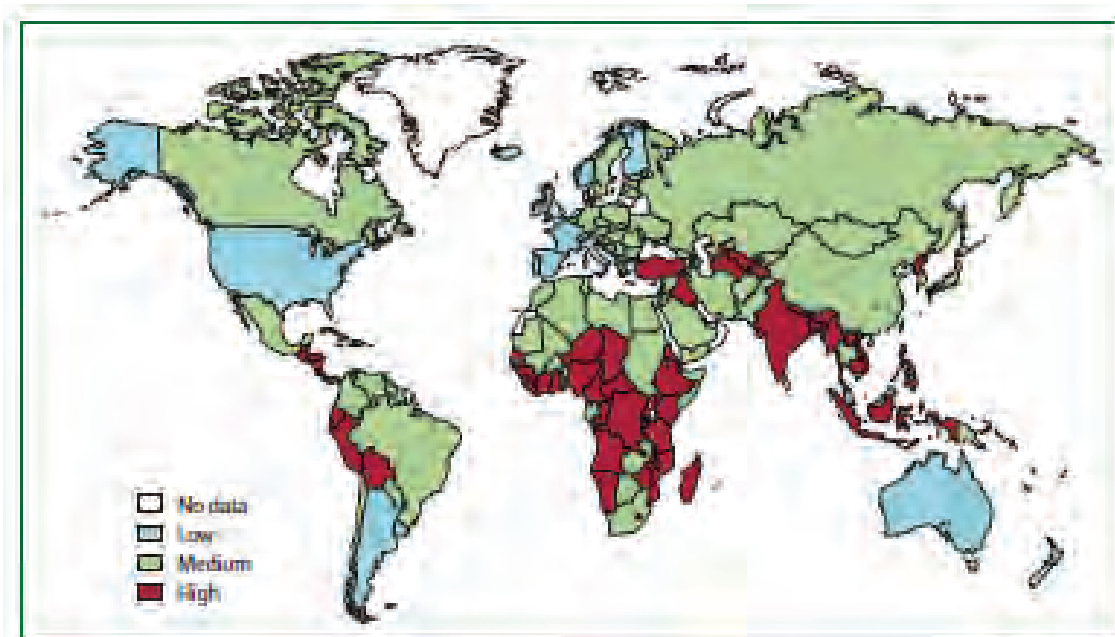
Zink

- groeistoornissen
- achterblijven geslachtelijke ontwikkeling
- verhoogde gevoeligheid voor infecties
- aantasting immuunsysteem
- huiduitslag
- chronische diarree

Seleen

- ziekte van Keshan (hartstoornissen)
- ziekte van Kaschin-Beck (aantasting van kraakbeen en gewrichten)

Verder zijn er aanwijzingen voor versterking van jodium-gebreksziekten, incidentie van kanker en hart- en vaatziekten, vruchtbaarheidsproblemen, virusziekten (incl. HIV), spierdystrofie en - bij 30% van de vrouwen - onvoldoende voorzien in de behoefte van zuigelingen bij borstvoeding.



Figuur 5. Nationaal risico van zink-tekorten bij kinderen jonger dan 5 jaar (Bron: Black et al., 2008). Opmerking: De matige risico's van zink-tekorten in China zijn niet in overeenstemming met Chinese wetenschappelijke publicaties, die wijdverbreide sterke zinkdeficiëntie constateren.

In Figuur 5 staat een wereldwijd overzicht van zinkgebrek bij kinderen, met groeivertraging als duidelijk symptoom. De geografische verspreiding van zinktekorten bij mensen laat dezelfde ruimtelijke patronen zien als zinktekorten in de bodem (zie Figuur 4). Humane zinktekorten komen met name voor in Sub-Sahara Afrika, Noord-Afrika, het Midden-Oosten en Zuid-Azië. Verder is het opvallend dat sterke deficiënties in kinderen alleen in ontwikkelingslanden voorkomen. In industrielanden speelt dit probleem niet, ook niet daar waar er gebrek aan zink is in de bodem. In deze landen worden tekorten gecompenseerd door een meer gevarieerd dieet, inclusief dierlijke producten, en door voedingssupplementen. Bij vee komen wel tekorten voor in Oost-Europese landen.

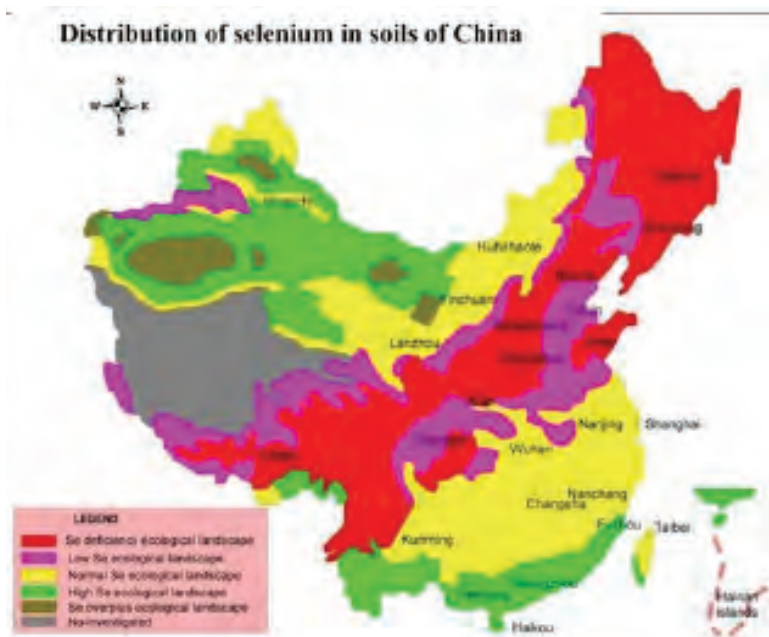
Een samenhang tussen tekorten in de bodem en humane gebreksziekten kan ook worden vastgesteld op een lager niveau. Opnieuw zijn de beste gegevens beschikbaar voor China. Daar blijkt bij niet minder dan 60% van rurale bevolking sprake te zijn van zinkgebrek, samenhangend met een tekort aan zink in de bodem (zie Figuur 3). Hetzelfde geldt voor de deelstaat Haryana in India. Elders tonen regionale studies in landen ten zuiden van de Sahara in Afrika (Burkina Faso, Zuid-Afrika, Rwanda, Uganda en Tanzania) zinktekorten aan bij kinderen en zwangere vrouwen.

Ook seleen vormt een duidelijk voorbeeld voor de doorwerking van het gehalte in de bodem naar tekorten in mensen en vee. Dit element is, zoals in Tabel 1 is aangegeven, niet essentieel voor planten, wel voor mensen en vee. Het is een belangrijk antioxidant dat ook zware metalen kan binden en komt voor in alle eiwithoudende voedingsmiddelen. Bij een seleentekort zijn de belangrijkste verschijnselen:

- de ziekte van Keshan (hartstoornissen); en
- de ziekte van Kaschin-Beck (aantasting kraakbeen en gewrichten).

Verder zijn er aanwijzingen voor versterking van jodium-gebreksziekten, verhoogde incidentie van kanker en van hart- en vaatziekten, vruchtbaarheidsproblemen, virusziekten (incl. HIV) en spierdystrofie. Ten slotte zijn er aanwijzingen dat ca. 30% van de vrouwen bij borstvoeding onvoldoende kan voorzien in de seleenbehoefte van hun baby's (zie Box 1). Een aantal van deze ziekten wordt ook bij vee vastgesteld, met name spierziekten en hart- en longziekten, die ook aan nakomelingen worden doorgegeven.

Seleentekorten komen in alle ontwikkelingslanden voor. Ook voor dit element is in China een duidelijke relatie vastgesteld tussen seleentekort in het menselijk lichaam en seleendeficiëntie in de bodem (zie Figuur 6 en 7). Gebieden met een seleen-tekort blijken dun bevolkt te zijn. Dat is geen toeval, want vroeger werden gebieden met seleentekorten in de bodem door de mens gemeden. In de industrielanden komen seleentekorten nauwelijks voor dankzij het gemengde dieet, maar uit onderzoek onder andere in Engeland is gebleken dat de menselijke opname daar sterk aan het dalen is.



Figuur 6. Mate van selen-tekort in landbouwgrond in China; rode kleuren wijzen op een groot tekort (Bron: Tan, 2004). Grijs = niet onderzocht.



Figuur 7. Het voorkomen van ziekten veroorzaakt door een selen-tekort (ziekte van Keshan en van Kaschin-Beck (en combinaties) in China (Bron: Tan, 2004).

4. Oplossingen voor tekorten

4.1 Verkleinen van de kloof tussen aanwezigheid en beschikbaarheid

Een eerste aangrijpingspunt om tekorten te bestrijden ligt in het verbeteren van de beschikbaarheid van de micronutriënten in de bodem. Maatregelen zijn het tegengaan van erosie en uitspoeling. Essentieel bij het voorkómen van uitspoeling zijn een goede waterhuishouding en een voldoende klei- en/of organische stofgehalte.

Meer in detail wordt de beschikbaarheid van metalen vooral bepaald door de evenwichten tussen de verschillende genoemde chemische vormen van de mineralen. Het bodemadsorptiecomplex vormt daarbij de belangrijkste buffer voor de beschikbare vrije, opgeloste ionen. Bepalende factoren voor het vrijkomen van ionen zijn vooral de zuurgraad, het vochtgehalte, de temperatuur en de interacties met andere nutriënten. De zuurgraad heeft een grote invloed: bij een pH toename van 1 eenheid, bijvoorbeeld van pH 5 naar pH 6, daalt de beschikbaarheid van zink en koper met een factor 100; alleen bij molybdeen gebeurt het omgekeerde. Daarnaast speelt ook het bodemleven een belangrijke rol, vooral de mycorrhiza's, die door hun enorm uitgebreide netwerk van schimmeldraden veel contact met de voorraden hebben en bovendien ook voor het gewas niet-beschikbare vormen kunnen opnemen en doorgeven (zie Box 2). Mycorrhiza's hebben overigens calcium en koper als nutriënten nodig; een kopergebrek kan daarmee het tekort aan andere micronutriënten versterken. Verder kan ook het gewas zelf door de opname van voedingsstoffen en uitscheiding door de wortels de zuurgraad en daarmee de beschikbaarheid van micronutriënten beïnvloeden. Het zijn de vrije ionen in het bodemvocht die bepalend zijn voor de deficiënties voor de plant en daarmee in belangrijke mate ook voor mensen en voor vee.

Box 2. Rol en voorkomen van mycorrhiza's (wortelschimmels) in de bodem

Mycorrhiza's zijn bodemschimmels die in verbinding staan met de wortels van hogere planten zoals landbouwgewassen. Deze schimmels kunnen voor planten niet-beschikbare, schaarse nutriënten en water aan de planten doorgeven in ruil voor suikers (mutualisme). Dat is mogelijk omdat de schimmeldraden in contact staan met veel meer bodem dan de plantenwortels zelf en omdat deze voor planten niet opneembare vormen van nutriënten wel kunnen opnemen. Ook zorgen mycorrhiza's voor verbetering van de bodemstructuur en van ziektevermindering. In de meeste landbouwgewassen kunnen mycorrhiza's bijdragen aan opbrengstverhoging, verhoging van de nutriëntenefficiëntie en vermindering van het gebruik van bestrijdingsmiddelen.

Mycorrhiza's hebben calcium en koper nodig om goed te kunnen functioneren. Te hoge bemestingniveaus remmen vaak de activiteit van de wortelschimmels.

Voor de praktijk zijn het organische stofgehalte van de akkerbodems en een juiste pH belangrijke aangrijpingspunten voor het verbeteren van de algehele bodemvruchtbaarheid, zoals die tot uitdrukking komt in de bodemstructuur, de doorwortelbaarheid, de vochtvoorziening en de beschikbaarheid van nutriënten.

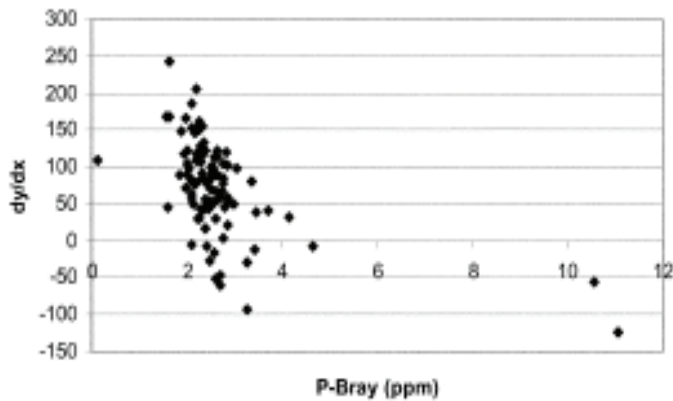
4.2 Verbreding van huidig NPK regiem

Naast de natuurlijke processen die de beschikbaarheid van nutriënten bepalen is de bemesting door de boer van doorslaggevend belang om de tekorten op te heffen. Bemesting is alleen nodig als de nalevering in de bodem vanuit het bodemadsorptie-complex en vanuit de opgeloste complexe verbindingen achterblijft bij de opname. Stikstof en fosfaat waren van oudsher bijna overal schaars, dus de natuurlijke nalevering was in feite altijd onvoldoende. Boeren leverden een voortdurende strijd om de bodemvruchtbaarheid op peil te houden: door gebruik van dierlijke mest, menselijke feces, visafval, as, roet, heideplaggen, enz., waarin zowel macro- als micronutriënten aanwezig waren. Vanaf het midden van de 19^e eeuw kwam hierin een omslag door het gebruik van kunstmest. Eerst kwamen fosfaat en nitraat via guano en chilisalpeter beschikbaar, later volgden fosfaat en kalium uit mijnen en stikstof uit de lucht, langs chemische weg vastgelegd in ammoniak.

Dat heeft geleid tot een spectaculaire toename van opbrengsten. Zo vormde de minerale fosfaatbemesting één van de voorwaarden waardoor de wereldbevolking kon toenemen van 1 mld tot de huidige 7 mld mensen. Deze eenzijdige aandacht voor NPK is, soms ook samen met kalk, de algemeen gangbare bemestingsstrategie volledig gaan beheersen. Maar een dergelijke standaardtoepassing van kunstmest heeft een aantal ernstige nadelen voor de landbouw en de wereldvoedselvoorziening.

In de eerste plaats heeft bemesting met kunstmest alleen zin als de betreffende nutriënten een beperkende factor zijn voor de gewasgroei. Als hiermee geen rekening wordt gehouden, leidt dit tot verspilling van de meststoffen.

In de tweede plaats is er - op mondiaal niveau - weinig aandacht voor het probleem van de “verminderende meeropbrengst”; d.w.z. dat er bij toenemende bemesting met een beperkend nutriënt sprake is een afnemende meeropbrengst van het gewas. Vanaf een bepaalde dosis kan de opbrengst zelfs teruglopen (zie Figuur 8 voor fosfaat). Dat is zowel een vorm van verspilling als van contraproductief gebruik.

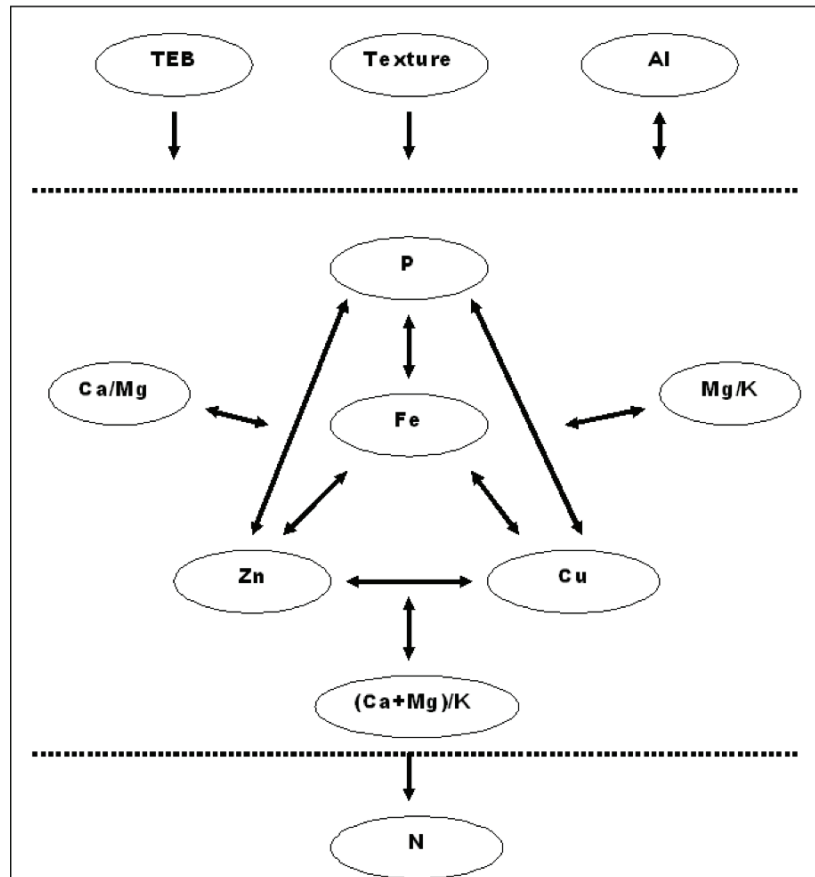


Figuur 8. Verandering in de gewasopbrengst als gevolg van een variabele fosfaatgift (deze laatste uitgedrukt als P-Bray, zie achtergrondrapport van Voortman) (Bron: Voortman en Brouwer, 2003).

In de derde plaats is er weinig aandacht voor interacties met andere nutriënten. Figuur 9 geeft een geschematiseerd beeld van de hoofdzakelijk negatieve effecten van het toedienen van fosfaat op de beschikbaarheid van een aantal micronutriënten. In woorden: toevoeging van teveel fosfaat remt de opname door het gewas van ijzer, zink en koper. En om de complexiteit van de bodemprocessen aan te geven: omgekeerd remt toevoeging van teveel zink de opname van fosfor, mangaan, ijzer en koper. De evenwichten zijn verder afhankelijk van de verhoudingen tussen verschillende kationen in de bodem, zoals met name calcium, magnesium en kalium. De kern hier is echter dat toevoeging van te veel fosfaat kan leiden tot een afname van de gewasproductie door een geïnduceerd gebrek aan micronutriënten. Dat is een sterke maar niettemin wijdverbreide vorm van contraproductief gebruik. Een kras voorbeeld vormt gewasonderzoek in Zimbabwe, waar de opbrengst van de fluweelboon, een stikstofbindend gewas, zonder kunstmest binnen één gebied kan variëren van 317 tot 5250 kg per ha; binnen hetzelfde gebied (met vergelijkbare opbrengsten zonder kunstmest) kan daarmee een toevoeging van fosfaat leiden tot een verandering in de opbrengsten van 90% positief tot maar liefst 50% negatief (zie Tabel 6).

Landen in Sub-Sahara Afrika kennen over de hele linie standaardadviezen voor NPK bemesting die zijn afgeleid uit de praktijk van de groene revolutie in Azië, maar die voor de lokale condities vaak (veel) te hoog zijn. Dit probleem doet zich in nog sterkere mate voor in de landbouwgebieden in Zuid en Oost-Azië. Zo vallen de landbouwgronden in China in de laagste efficiëntieklasse van fosfaatbemesting ter wereld. De constant hoge P-bemesting leidt als gevolg van de beschreven antagonismen tot een verminderde opname van vooral zink en daarmee zowel tot een afname van de landbouwproductie als de eerder genoemde zinkdeficiëntie in de bevolking.⁷

⁷ Dit wordt nog versterkt door de extra opslag in het voedsel van fosfor als phytaat, dat voor mensen niet verteerbaar is en waaraan micronutriënten zoals zink worden gebonden en uitgescheiden.



Figuur 9. Schema van interacties tussen nutriënten en chemische bodem eigenschappen in relatie tot planten voeding (Bron: Voortman en Spiers, 2010). TEB = totale basenverzadiging.

Tabel 6. Biomassaproductie (kg droge stof/ha) van fluweelboon (*Mucuna pruriens*) met en zonder fosfaat, op uitgeputte zandbodems in zes dorpsgemeenschappen in Noord-Zimbabwe in 1996/97 (Bron: Hikwa et al., 1998).

dorpsgebied	zonder P	met P	verschil %
Mangwende (1)	317	318	0,3
Zvimba (1)	1260	2410	91,3
Zvimba (2)	1620	850	-47,5
Chiduku (1)	1865	1757	-5,8
Gokwe South (1)	1916	2368	23,6
Gokwe South (2)	1964	1826	-7,0
Chiduku (2)	2703	4538	67,9
Chihota (2)	3405	4275	25,6
Mangwende (2)	5250	5351	1,9
Chihota (1)	5290	10665	101,6
Nyazura (2)	6610	6490	-1,8
Nyazura (1)	7240	8020	10,8

Hetzelfde probleem geldt voor de Indus-Gangesvlakte in Noord-India. Daar is aangetoond dat een hoge opbrengst van tarwe en rijst alleen kan worden gecontinueerd door naast NPK een additionele bemesting met zink te geven. Of, beter nog, door toevoeging van organische mest waarin naast zink ook ijzer, mangaan en koper aanwezig zijn, ook bij afwezigheid van toevoeging aan het veevoer. Een dergelijke bredere bemesting komt daar echter nog maar langzaam op gang en daarom wordt daar een verscherping van de problematiek verwacht. Bemesting met zink wordt al meer toegepast in Turkije, met opbrengststijgingen tot 600%!

In Nederland doet het probleem van een fosfaat-geïnduceerd zinktekort zich maar in beperkte mate voor als gevolg van het intensieve gebruik van organische mest, waarin voldoende zink aanwezig is. Daarbij moet worden aangetekend dat de hoge gehalten van koper en zink in organische mest vooral het gevolg zijn van de toevoeging van deze metalen aan het krachtvoer voor runderen en varkens. In Zuid-Europa en in delen van de Verenigde Staten is wel sprake van zink-deficiëntie in de bodem, maar dat leidt daar niet tot een zinkdeficiëntie bij de bevolking als gevolg van het breder samengestelde voedselpakket (zie paragraaf 3.2).

Opvallend bij dit alles is hoe beperkt de aandacht nog maar is voor een de bemesting met micronutriënten, en al helemaal voor de natuurlijke processen die de beschikbaarheid van deze nutriënten bepalen. Kernpunten voor een breder bemestingsregiem dat ook expliciet aandacht besteedt aan micronutriënten, zijn de volgende elkaar aanvullende en versterkende maatregelen:

- tegengaan van de overbemesting met fosfaat om antagonisme met ijzer, zink en koper te voorkomen;
- toevoegen van organische mest waarin de meeste micronutriënten aanwezig zijn; en
- additionele minerale bemesting met micronutriënten die “in het minimum zitten” (zie volgend hoofdstuk).

Voor toepassing van een dergelijk verbreed bemestingsregiem moet voldoende kennis aanwezig zijn. Voor een deel zijn de genoemde maatregelen generiek van aard: het tegengaan van erosie, en het in stand houden van een goede bodem met een voldoende hoog organisch stofgehalte. Voor een deel gaat het ook om specifieke factoren, zoals in het bijzonder tekorten aan bepaalde micronutriënten. Voor dat laatste is wereldwijd bodemonderzoek nodig.

Het onderzoek naar deficiënties in de bodem is in de jaren twintig van de vorige eeuw op gang gekomen en heeft zich na de Tweede Wereldoorlog sterk geïntensiveerd. In de beginperiode werd voor de bepaling van de gehalten alleen gewerkt met sterke extractiemiddelen (zoals salpeterzuur), waarbij totaalgehalten van micronutriënten konden worden vastgesteld. Later werden deze aangevuld met zwakke extractiemiddelen (zoals met name CaCl_2), die een veel betere maat vormen voor de beschikbaarheid van de micronutriënten voor het gewas. Recente ontwikkelingen richten zich op het ontwikkelen van goedkopere methoden, gebaseerd op meting van infraroodstraling op bodemmonsters. Zo worden nu in Australië op basis van *mid infrared spectroscopy* (MIR) en in Nederland op basis van *near infrared spectroscopy* (NIR) metingen gedaan aan gehalten van klei, silt en

zand, van totaal koolstof, van de kation-uitwisselingscapaciteit en van de verschillende kationen die daarbij een rol spelen. Deze nieuwe methoden hoeven niet duur te zijn en bieden daarmee ook perspectieven voor ontwikkelingslanden.

4.3 Voedingssuppletie voor vee en mens

Nutriënten kunnen ook direct aan voedingsmiddelen worden toegevoegd, zowel in het veevoer als in het menselijk voedsel. In paragraaf 4.2 kwam de toevoeging van zink en koper aan het veevoer voor runderen en varkens al aan de orde. Wat de menselijke voeding betreft kunnen in feite alle in Tabel 1 genoemde nutriënten aan het voedsel worden toegevoegd. Daar wordt ook ruim reclame voor gemaakt. Bij de voor planten niet essentiële micronutriënten is dat zowel voor mens en dier een voor de hand liggende handelwijze; daarnaast blijft ook bemesting een mogelijkheid. De toediening van seleen is hiervan een voorbeeld. Dit element kan worden toegediend via pillen, een liksteen, het drinkwater of droog voedsel, maar het kan ook via kunstmest aan de bodem worden toegevoegd.

De problematiek speelt ook in viskwekerijen. Vissen hebben met name behoefte aan zink, ijzer, mangaan, koper, seleen, jodium (in zoet water) en cobalt (in de vorm van vitamine B12). Via het water wordt te weinig opgenomen, daarom moeten de elementen via het voer worden toegediend. Nu vismeel steeds meer door plantaardige grondstoffen zoals soja, maïs en tarwe wordt vervangen, is er sprake van toenemende tekorten. Daarom worden de genoemde elementen aan het voer toegevoegd. Daarnaast wordt door toevoeging van enzymen de beschikbaarheid van de mineralen in het voer vergroot, en wordt gestreefd naar een kringloop door terugwinning uit het effluent van de vijvers en uit het afval.

5. Suppletie vanuit de mijnbouw

5.1 Algemeen

Suppletie van mineralen van buiten de landbouw is al oud. Uit hout-as werd van ouds “pot-as” gewonnen, waarin – naast vele andere mineralen - veel kaliumcarbonaat aanwezig was; sinds ongeveer 1870 kwam daar de winning uit de mijnbouw bij. Fosfaat kwam vanaf ca. 1850 voor de landbouw beschikbaar uit fosfaatrijke vogelmest uit Zuid-Amerika (guano), later gevolgd door “Thomasslakkenmeel” als afvalproduct uit de staalindustrie, op zijn beurt gevolgd door mineraal fosfaat uit de mijnbouw. Stikstof werd in 1909 voor het eerst als ammoniak vastgelegd in de vlamboog van Haber; in 1913 werd dit proces door Bosch voor industriële toepassing opgeschaald, waarna dit element als kunstmest beschikbaar kwam. Stikstof wordt zodoende uit de lucht gehaald en is daarmee in oneindige hoeveelheid aanwezig, althans zolang er energie is voor het oxidatieproces. Volgens de United States Geological Survey (USGS) zijn de nu bekende kaliumvoorraden bij voortzetting van het huidige verbruik voor ca. 300 jaar voldoende. Voor fosfaat gold tot voor kort ruim 100 jaar; onlangs is dit cijfer echter bijgesteld tot ca. 370 jaar (zie hiervoor verder paragraaf 5.4).

De vraag is nu in hoeverre de voor de planten essentiële micronutriënten in voldoende mate voor een dergelijke suppletie in de mijnen aanwezig zijn. Zal er nu of in de nabije toekomst sprake van schaarste zijn? Bij het beantwoorden van deze vraag kunnen we “schaarste” twee manieren opvatten: als statisch of als dynamisch begrip.

5.2 Schaarste van micronutriënten - statisch beschouwd

Een statische behandeling van schaarste gaat uit van de nu bekende voorraden of *reserves* (R) en van een constante vraag of productie (P). Hieruit volgt dan de verhouding tussen deze beide (R/P), als maat voor de te verwachten beschikbaarheid (zie Tabel 7). Dan vallen de lage R/P-waarden voor de micronutriënten op, met voor zink de laagste waarde van maar 21 jaar. Deze waarden hebben vooral een vergelijkende en geen absolute betekenis: de lage R/P-waarde houdt in dat binnen de groep van micronutriënten zink waarschijnlijk het eerst schaarsteproblemen zal laten zien. De R/P-waarde is daarmee een indicator voor de prioriteit van nader onderzoek en beleid.

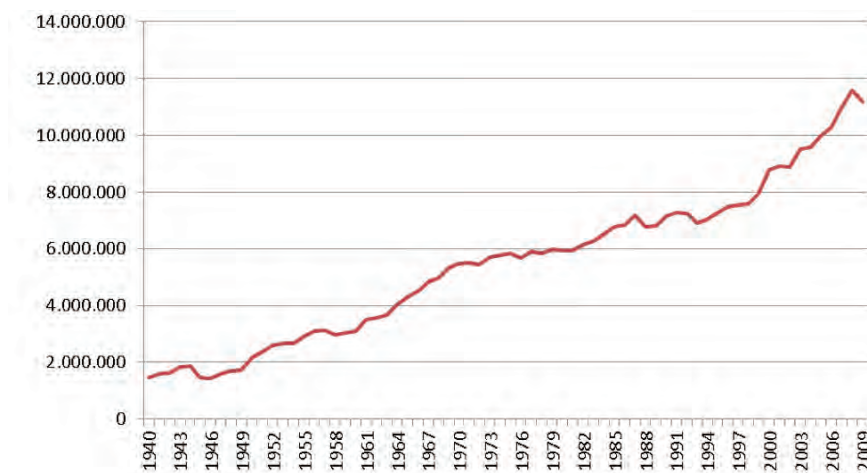
Tabel 7. Reserves, productiecijfers en toepassingen van de voor gewassen essentiële micronutriënten en van het voor mens en vee essentiële seleen in 2010 (Bron: USGS Minerals Information, 2011; <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>).

De nutriënten zijn gerangschikt naar de verhouding tussen reserve (R) en jaarlijkse productie (P), beide in 1000 ton-eenheden.

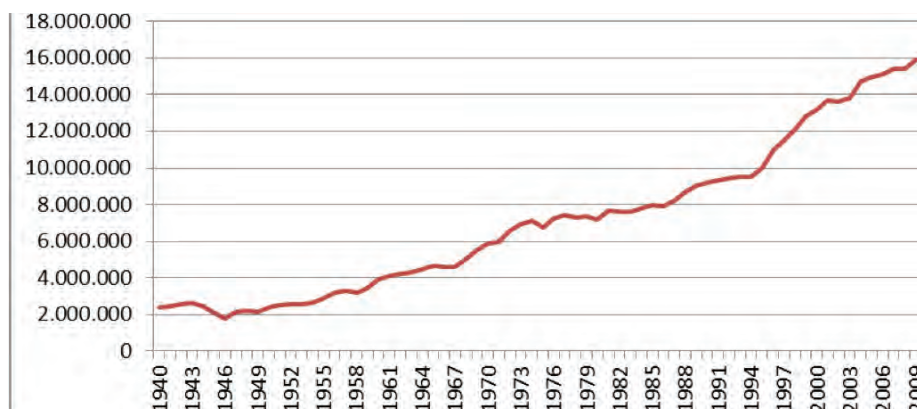
Nutriënt	R x 1000 ton	P x 1000 ton/jr	R/P jr	% R in EU	Aandelen in productie	Toepassingen	Opmerkingen
Zn zink	250.000	12.000	21	1%	>50% uit China, Peru en Australië	galvanisering, brons, legeringen	50% recycling
Cu koper	630.000	16.200	39	4%	>50% uit Chili Peru, China en VS	elektriciteit, constructie	30% recycling
Se seleen	88	2,26	39	0%	Bijproduct van koper-winning; >75% uit Duitsland, Japan, Canada en België	Glas, electronica, PV	Prijzen stijgen, substituten mogelijk
Mo molybdeen	9.800	234	42	0%	>75% uit VS, China, Chili	Legeringen	>25% recycling; substitutie mogelijk, met andere 'schaarse' metalen
Mn mangaan	630.000	13.000	48	0%	50% uit Z-Afrika, Chili, China	staal- en Al-legeringen	>50% recycling; diepzee mijnbouw? geen substituten bekend
B boor	210.000	3.500	60	0%	>75% Turkije, Chili, Argentinië	chemie (bleek), glas	Geen recycling, maar substituten mogelijk
Fe ijzer	180.000.000	2.400.000	75	2%	laag, zeer veel producerende landen	Staal, constructie e.v.a.	>50% recycling

5.3 Schaarste van micronutriënten – dynamisch beschouwd

In absolute zin zegt de R/P-waarde met name niet zo veel over de schaarste van de mineralen omdat zowel P als R aan veranderingen onderhevig zijn. In de eerste plaats is de productie als uitdrukking van de vraag niet constant maar neemt veelal toe. En hij zal naar verwachting verder blijven toenemen, als gevolg van de groei van bevolking en welvaart (zie Figuur 10 en 11 voor de wereldproductie van resp. zink en koper). Wel is voor deze beide stoffen in de huidige industrielanden als gevolg van voortgaande efficiency-maatregelen sprake van een zekere ont koppeling tussen het niveau van de welvaart en de omvang van de productie: al sinds honderden jaren blijkt er per hoofd van de bevolking sprake te zijn van een afnemende productie. Maar op mondiaal niveau is dat niet het geval. De toenemende welvaart zal dus zorgen voor een beduidend grotere vraag dan alleen op basis van bevolkingsgroei verwacht kan worden.



Figuur 10. Wereldwijde productie van zink 1940-2009 (Bron: USGS, 2011).



Figuur 11. Wereldwijde productie van koper 1940-2009 (Bron: USGS, 2011).

Maar ook R is geen statische grootheid. Als gevolg van de – toenemende – productie zullen de bekende, winbare reserves afnemen, hetgeen zal leiden tot hogere prijzen. Deze zullen op hun beurt leiden tot meer exploratie en tot betere winningstechnieken, en daarmee juist weer tot een toename van de winbare voorraden. In technische termen: de hypothetische en speculatieve voorraden worden stapsgewijs opgewaardeerd tot *demonstrated reserves*, de winbare voorraden.

In de praktijk wordt de waarde van R in hoge mate bepaald door de exploratieactiviteiten van mijnbouwbedrijven. Exploratie is vaak duur en er zullen doorgaans geen zoekacties worden ondernomen bij R/P-waarden boven de 30-40 jaar. De markt werkt daarmee stabiliserend op de beschikbaarheid van de grondstoffen. Omgekeerd is het feit dat bij zink de R/P-verhouding maar 21 jaar bedraagt een aanwijzing dat bij dit element wellicht al binnen één generatie schaarste kan optreden (zie verder paragraaf 5.5).

5.4 Onzekerheden in de gegevens van de USGS

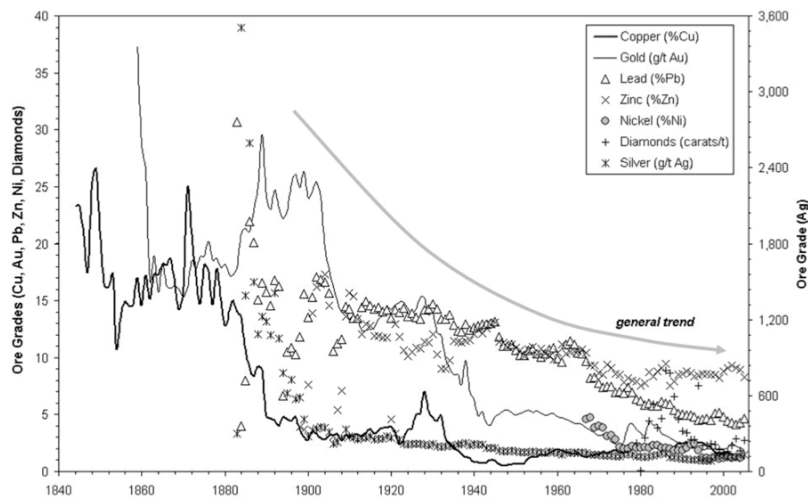
De hierboven genoemde exploratieactiviteiten van de mijnbouwbedrijven zijn bepalend voor de gegevens van de USGS. Maar er kan ook sprake zijn van andere soorten onnauwkeurigheden in de gegevens die de USGS van de mijnbouwbedrijven ontvangt. In paragraaf 5.1 noemden we de plotselinge toename van de fosfaatvoorraadcijfers van Marokko. Die bijstelling vond plaats naar aanleiding van een publicatie van het International Fertiliser Development Center (IFDC) in Alabama (VS) uit 2010, die plotseling de fosfaatvoorraad van Marokko van 5,7 miljoen metric ton (= 5,7 miljard ton) naar boven bijstelde tot 50 miljoen metric ton. Daarmee zou Marokko samen met de Westelijke Sahara plotseling 85% van de wereldvoorraad fosfaat bezitten!

Dit gegeven heeft de sector overvallen. Ook al is een dergelijke drastische aanpassing zeer uitzonderlijk, het betekent eens te meer dat we voorzichtig moeten zijn bij de interpretatie van de gegevens van de USGS. Tegelijk betekent het dat we juist meer aandacht moeten besteden aan de diverse soorten neveneffecten van de productie van mineralen, zoals die in de volgende paragrafen aan de orde zijn. En mogelijk ook aan de geopolitieke risico's.

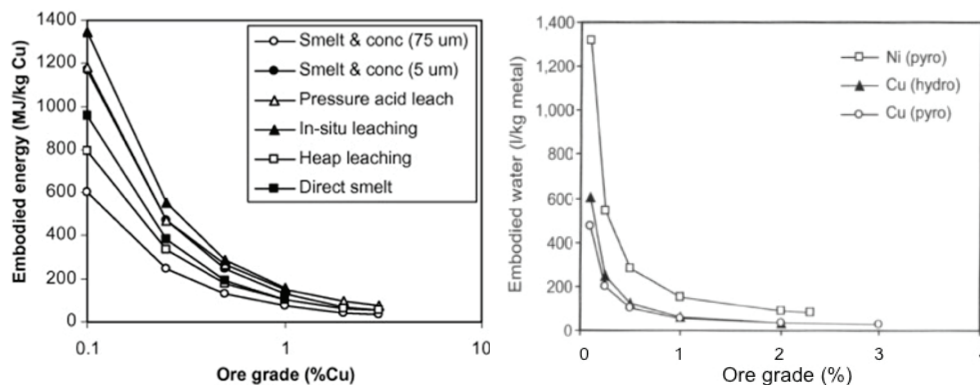
5.5 Neveneffecten – *linkages of sustainability*

Ook bij een constante verhouding tussen de winbare voorraden en de productie kan er sprake zijn van belangrijke onderliggende ontwikkelingen. Met name zal er vaak sprake zijn van een voortgaande daling van de rijkdom van de ertsen (zie Figuur 12, waarin ook gegevens voor zink en koper zijn weergegeven). Daardoor zullen toenemende hoeveelheden energie en zoet water voor winning en raffinage nodig zijn, wat ook weer in de prijs tot uitdrukking zal komen. Figuur 13 laat voor verschillende soorten ertsen zien dat bij een lagere ertsgraad (meer naar links in de figuren) de benodigde hoeveelheid energie en water een factor 10 – 20

hoger is dan bij de oorspronkelijke hogere gehalten. De ene schaarste brengt daarmee andere schaarsten met zich mee. Deze koppeling tussen schaarsteproblemen en milieuproblemen wordt wel aangeduid met de term *linkages of sustainability* (Graedel en Van der Voet, 2010⁸).



Figuur 12. Afname ertsgraad van enkele mineralen sinds 1840 (Bron: Mudd, 2009).



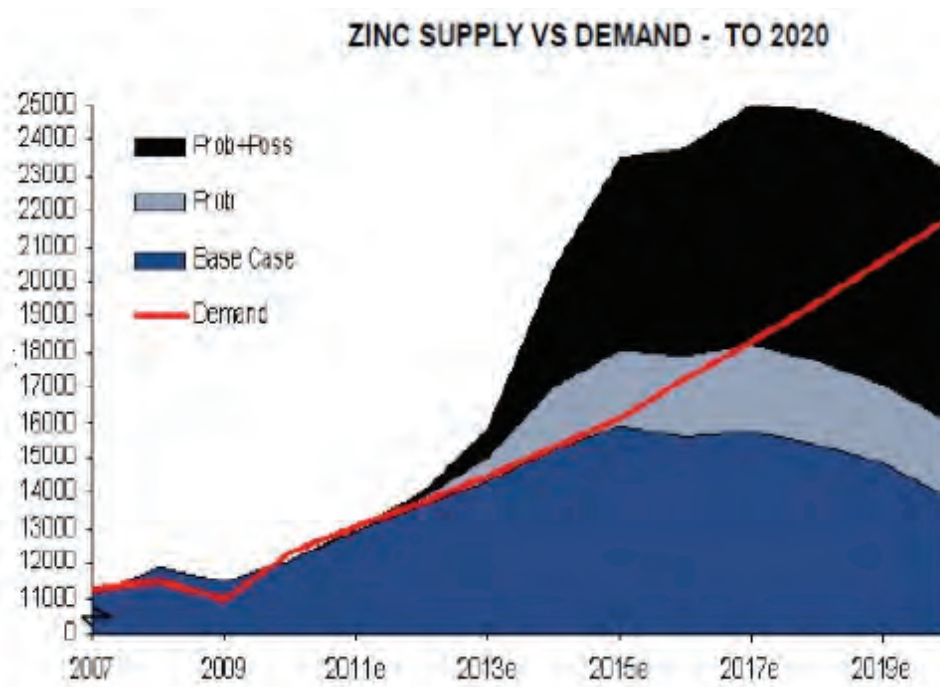
Figuur 13. Benodigde hoeveelheid water en energie voor de kopermijnbouw als functie van de ertsgraad (Bron: Norgate, 2010).

Op wereldschaal zullen de hier besproken micronutriënt-ertsen in absolute zin waarschijnlijk niet gauw schaars worden. Maar wel zal er sprake zijn van een afnemende rijkdom van de ertsen en daarmee samenhangend een toenemende milieubelasting. Ook zullen de prijzen stijgen, en kunnen ook steeds meer toenemende prijsschommelingen verwacht worden. Ontwikkelingslanden zullen op die markt dan niet veel kans maken, terwijl daar de tekorten juist vaak het grootst zullen zijn. Terzijde merken we op dat deze problematiek nog wordt versterkt door de teelt van biomassa voor energie. Als illustratie gaan we in de volgende paragrafen nader in op zink en seleen.

⁸ Graedel, T.E. and Van der Voet, E. (eds) 2010. *Linkages of sustainability*. Strüngman Forum Report. MIT Press, Cambridge.

5.6 Zink

De huidige verhouding tussen de reserves en de productie (R/P) is voor zink maar 21 jaar, wat op zich al een reden tot zorg is. Wel komt het aanbod uit een relatief breed spectrum van landen. Geopolitieke risico's, dat wil zeggen risico's ten gevolge van een bewuste beïnvloeding van handelsstromen, zijn daarmee niet heel groot. Wel wordt verwacht dat de toename van de vraag zich ook in de toekomst zal voortzetten. Figuur 14 geeft aan dat bij voortzetting van de huidige ontwikkelingen al over ongeveer 10 jaar de industriële vraag groter zal zijn dan het aanbod. Dit suggereert de komst van een *Peak Zinc*, vergelijkbaar met de veel besproken *Peak Oil* volgens King Hubbert (2004).⁹



Figuur 14. De mondiale vraag naar zink (rode lijn) tegenover verschillende scenario's (*base case, probable, en probable + possible*) voor het totale aanbod van zink; 2007-2010: feitelijk. 2011-2019: verwacht (Bron: Citi Group Global Markets, 2011). Y-as:jaarlijkse zinkproductie (x 1000 ton).

Naast de vraag uit de industrie moet er echter ook - of zelfs primair - ruimte zijn voor een vraag vanuit de landbouw. Is de omvang daarvan te schatten? Gesteld dat:

- er voor de helft van het huidige landbouwareaal sprake is van een tekort aan zink,
- een eenmalige gift van 10 kg zink per hectare nodig is, dan is er een eenmalige behoefte van in totaal 25 mln ton zink, of wel twee maal de huidige jaarlijkse wereldproductie. Daarnaast is voor onderhoud bij een gewasopbrengst van 5 ton/ha per jaar naar schatting een jaarlijkse gift van 0,15 kg zink per ha nodig, d.w.z. in totaal 750.000 ton per jaar, ofwel 6% van de huidige

⁹ Voor een discussie daarover zie: R.A. Kerr: *Even oil optimists expect energy demand to outstrip supply*. Science 317, p 437, 2007. En verder: <http://www.springerlink.com/content/vv58q21652jh185j/?MUD=MP>.

wereldproductie. Dat zijn substantiële hoeveelheden, zeker als de industriële vraag inderdaad op zichzelf al tot krapte op de markt zal leiden. Het risico is dan levensgroot dat de industriële vraag als gevolg van de grotere koopkracht voorrang zal krijgen boven de vraag vanuit de landbouw.

5.7 Seleen

Uit Tabel 7 blijkt dat de R/P-verhouding voor seleen 39 jaar bedraagt; de statisch bepaalde mate van schaarste is daarmee van dezelfde grootteorde als die van koper, molybdeen en mangaan. De belangrijkste toepassingen betreffen glasindustrie, elektronica en zonnecellen. Substitutie is bij deze toepassingen mogelijk, maar tegen hogere prijzen. De productie is voor meer dan 75% geconcentreerd in vier landen, te weten Duitsland, Japan, Canada en België; de belangrijkste mijnen liggen in Chili, Rusland, Peru en de VS (niet opgenomen in de tabel). In theorie zijn er daarmee wel geopolitieke risico's, maar bij de productie het gaat om voor de handel stabiele landen.

Vergelijkbaar met zink gaat het hier om de vraag in hoeverre voldaan zou kunnen worden aan een vraag naar seleen vanuit toepassing in de voedselketen. Er zijn geen gegevens beschikbaar over het mondiale areaal met seleentekort, wel zijn er aanwijzingen dat dit aanzienlijk is. Stel nu dat 50 procent van de landbouwgrond een tekort heeft aan seleen. Bij werkelijk vastgestelde tekorten (in vee) wordt in de praktijk van 2 tot 20 g/ha aan seleen gegeven. Indien eenmalig 2 gram per hectare wordt toegediend om het mondiale tekort te corrigeren, zou dit 2.5 maal de jaarproductie behelzen. Als daarna alle landbouwgrond een jaarlijkse onderhoudsgift zou ontvangen van 0.1 g per ha, dan zou dat, bij deze toch lage dosering, nog steeds 25 procent van de wereldjaarproductie inhouden. Voor suppletie in de voeding van vee is een dosis in de orde van 1 mg per 100 kg dier per dag nodig, resulterend in 1,5 maal de wereldjaarproductie aan seleen. Deze globale schattingen geven aan dat de huidige productie uit de mijnen bij lange na niet voldoende is om aan een eventuele vraag vanuit de voedselketen te voldoen. De productie is ook niet gemakkelijk te verhogen omdat seleen hoofdzakelijk als bijproduct van koper wordt gewonnen.

5.8 Naar een geringere afhankelijkheid van de wereldmarkt

Er zijn verschillende strategieën om het risico van afhankelijkheid van de wereldmarkt in te schatten. Een eerste betreft een geformaliseerde classificatie van zogenoemde kritieke mineralen. Een tweede benadering betreft de kwetsbaarheid voor geopolitiek.

Zowel binnen de EU als de VS bestaan er classificaties van zogenoemde kritieke mineralen; deze combineren het economisch belang met de leveringszekerheid. In de classificatie van de VS zijn geen nutriënten opgenomen. In de Europese classificatie (uit 2010) is dat wel het

geval; daarin zijn zink en koper opgenomen als mineralen met een laag risico. We moeten hierbij wel bedenken dat deze classificaties betrekking hebben op de zeer korte periode van de komende 10 jaar. Bovendien is bij het economisch belang alleen aandacht besteed aan het belang voor de industrie; het belang voor de landbouw en de wereldvoedselvoorziening is niet in beschouwing genomen. Deze benadering biedt daarmee onvoldoende aanknopingspunten voor risico's in de leveringszekerheid van micronutriënten.

De leveringszekerheid van mineralen is afhankelijk van geopolitiek. Het risico bestaat dat landen met relatief grote aandelen in de reserves en/of in de verwerkingscapaciteit de markt gaan beheersen en manipuleren. Dat risico is bij fosfaat aanwezig als gevolg van het hoge aandeel van ca. 65% van de wereldreserves in Marokko (incl. Westelijke Sahara) en China. Maar ook bij de micronutriënten kan dit een belangrijke rol gaan spelen. Tabel 7 laat zien dat voor zink en mangaan de wereldproductie voor meer dan 50% komt uit slechts drie landen; voor boor en molybdeen is dat zelfs voor meer dan 75% het geval. Daar onder zijn minder stabiele landen met een *World Governance Index*¹⁰ tussen 40 en 70 (op een schaal met 100 als maximum) als China, Turkije, Argentinië en Peru.

In ons land heeft de overheid gekozen voor een standaardoplossing met betrekking tot handelsrisico's, namelijk meer marktwerking, ofwel bevordering van de vrije handel. Tot voor kort leek dat voldoende, maar het is zeer de vraag of dat zo blijft. Om meer zekerheid te creëren zou de EU kunnen kiezen voor bilaterale handelsakkoorden. Voor fosfaat bijvoorbeeld ligt een overeenkomst met Marokko voor de hand. Maar het is de vraag hoe kansrijk dergelijke overeenkomsten zijn. Ze hebben vooral kans van slagen als sprake is van een *wederzijdse* afhankelijkheid.¹¹

Een meer fundamentele oplossing ligt in een beperking van de vraag naar nieuw gewonnen ertsen. Dat kan door:

- toename efficiëntie van het gebruik
- toename van recycling
- substitutie door minder schaarse mineralen.

Wat de toename van de efficiëntie van het gebruik betreft ligt er een – relatief gemakkelijk te realiseren - mogelijkheid binnen de Nederlandse landbouw: vermindering van de toevoeging van zink en koper aan veevoer. Die toevoeging is weliswaar al fors verminderd maar nog altijd zo groot dat het vee ongeveer het dubbele krijgt van wat uit voedertecnisch oogpunt nodig is.

Wat betreft recycling gaat het vooral bij ijzer, zink, mangaan, koper en molybdeen om aanzienlijke percentages, samenhangend met een omvangrijke industriële productie. Boor

¹⁰ De World Governance Index is in 2008 ontwikkeld door het *Forum for a new World Governance*, op basis van de Millenniumdoelen van de Verenigde Naties.

¹¹ Vgl. R. de Wijk: Honger is wegbereider van oorlog, de Volkskrant 5 maart 2012.

wordt niet gerecycled. Er is geen duidelijk beeld hoe voor de betreffende elementen met recycling kan worden begonnen dan wel hoe deze kan worden geïntensiveerd.

Wat betreft de mogelijkheid van substitutie geldt dat alle besproken elementen als nutriënten onvervangbaar zijn, maar in de industrie is substitutie zeker wel mogelijk. Voor zink is het bijvoorbeeld van groot belang te streven naar vervanging van de galvanisering van ijzer, de belangrijkste toepassing van dit metaal. Dit is een dissipatieve toepassing, dat wil zeggen een toepassing waarbij het metaal zodanig wordt verdund dat recycling onmogelijk is. Coating met kunststoffen is mogelijk, hoewel duurder. Voor koper is al vervanging gaande: in de elektriciteit door aluminium en in de telecom door glasvezels. Ook voor veel applicaties van boor (o.a. in wasmiddelen en in isolatoren) bestaan substituten. Maar voor de metallurgische toepassingen van mangaan, zoals bij de staalproductie, bestaan nog geen volwaardige alternatieven.

Tenslotte is er een afhankelijkheid van de wereldmarkt die wordt gevormd door de onbeoogde aanwezigheid van micronutriënt-elementen in mondiale handelsstromen van grondstoffen, halffabricaten en eindproducten. Er bestaat op dit moment geen zicht op de mogelijke omvang hiervan. Van macronutriënten is hier al het een en ander bekend. Zo accumuleert Nederland fosfor via de import van soja, en straks mogelijk van biobrandstoffen. Dat is uit bemestingsoogpunt voor ons land positief, en ook voor de EU als geheel, vanwege de afwezigheid van eigen fosfaaterts. Maar het scheidt tegelijk een afhankelijkheid die ook kwetsbaarheid met zich meebrengt. Als China de soja uit Brazilië en Argentinië opkoopt heeft Nederland een fosfaattekort. Het is belangrijk dat ook voor micronutriënten dergelijke onbeoogde stromen met hun risico's van uitputting en accumulatie in kaart worden gebracht. Door ons land (of Europa als geheel) kan daar waarschijnlijk het beste op worden ingespeeld door van de nood een deugd te maken en de betreffende micronutriënten uit de stromen terug te winnen en zelfstandig te vermarkten.

6. Aanbevelingen voor beleid, landbouwpraktijk en onderzoek

6.1 Huidig beleid

Zowel op Nederlands als op Europees niveau zijn er raakvlakken tussen de problematiek van de micronutriënten en andere beleidsterreinen, met name de mestwetgeving, de regelgeving inzake diervoeders en diergeneesmiddelen, en de wetgeving inzake de kwaliteit van water en bodem. Bij al deze regelgeving gaat het tot dusver om de problematiek van een “te veel”: maximale eisen voor het beschermen van een kwaliteitsniveau. Er is geen aandacht voor de problematiek van een mogelijk tekort. Ook in het nationale beleid betreffende de topsectoren is er geen sector opgenomen waarin schaarste aan minerale grondstoffen aan de orde is.

Op mondiaal niveau zien we hetzelfde beeld. In de Codex Alimentarius van FAO en WHO zijn wat betreft de micronutriënten alleen maximum-eisen t.a.v. gehalten opgenomen. Wel zitten er aanknopingspunten in het WHO/FAO rapport: *Vitamin and mineral requirements in human nutrition*.¹² In dat rapport is de behoefte van consumenten aan de verschillende voedingsstoffen aan de orde. Deze behoeften worden echter uitsluitend vertaald in eisen aan het menselijk dieet, ze worden niet in verband gebracht met eisen t.a.v. bemesting van landbouwgronden.

Er is dus nieuw beleid nodig op nationaal, Europees en mondiaal niveau. Hieronder spreken we primair de Nederlandse overheid aan, die in verschillende fora initiatieven kan nemen. Daarnaast worden aanbevelingen gedaan voor de huidige landbouwpraktijk, voor bedrijven in de voedselketen en in mineralen micronutriëntenketens en voor het onderzoek.

6.2 Aanbevelingen voor het beleid van de Nederlandse overheid

- Agendeer de huidige en toekomstige schaarste van micronutriënten in landbouwbodems, veevoer en voedsel, en in de minerale voorraden op nationaal niveau, en stimuleer agendering op Europees en mondiaal niveau.
- Maak de problematiek van minerale grondstoffenschaarste – naast energie - onderdeel van het topsectorenbeleid.

¹² World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2004.

- Neem initiatief dat bij de praktische uitwerking van de maatregelen ter verbetering van de bodemkwaliteit en bodemvruchtbaarheid in het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid van de EU nadrukkelijk aandacht wordt besteed aan micronutriënten.
- Neem initiatief dat in het Europese grondstoffenbeleid ook voor de landbouw essentiële mineralen als *critical resources* kunnen worden beschouwd. Kies bij de *rating* van de kritieke mineralen in de EU een aanzienlijk langere tijdshorizon dan de nu gehanteerde veel te korte periode van 10 – 20 jaar.
- Neem initiatief in Europese en mondiale gremia als FAO en Wereldbank om de wereldwijde dominantie van bemesting met NPK te doorbreken. Bevorder dat deze dominantie wordt vervangen door een breder regiem met aandacht voor de feitelijke en toekomstige schaarste van micronutriënten.
- Neem initiatief voor een vermindering van geopolitieke risico's op Europees niveau. Die zijn het grootst voor boor en molybdeen en minder groot maar eveneens reëel voor zink en mangaan. Een vermindering van de geopolitieke risico's kan worden bereikt door een afname van de vraag naar micronutriënten. Daartoe zal het beleid zich moeten gaan richten op stimulering van innovaties aangaande efficiënter gebruik, substitutie en recycling van micronutriënten. Aan de aanbodkant bieden overeenkomsten tussen de EU en de betrokken landen gericht op wederzijdse afhankelijkheden het beste perspectief.
- Geef bij deze agendering hoge prioriteit aan zink en seleen. Voor zink doen zich nu al de grootste tekorten in de voedselketen voor, en geldt in de mijnbouw de krapste verhouding tussen productie en bekende reserves. Speerpunten: meer recycling en een alternatief voor galvanisering van materialen. Voor seleen is het van belang dat begonnen wordt met recycling en dat naar substituten in de industrie wordt gezocht.
- Vraag in aansluiting daarbij aandacht van overheden, agroketens en particuliere fondsen, zoals de Bill and Melinda Gates Foundation, voor de jaarlijkse sterfte van ca. 800.000 mensen door zinkgebrek - een aantal dat vergelijkbaar is met de sterfte door malaria.

6.3 Aanbevelingen voor de landbouwpraktijk

- Ga overbemesting met fosfaat tegen, om antagonisme met ijzer, zink en koper te voorkomen. De overheid kan dat stimuleren. Zo zou in een land als China de subsidie op fosfaatkunstmest moeten worden heroverwogen;
- Neem teeltmaatregelen om erosie en uitspoeling tegen te gaan, zoals het jaarrond groen houden van de bodem en het werken met mengteelten;
- Wend dierlijke mest aan waarin de meeste micronutriënten aanwezig zijn;
- Bemest additioneel met micronutriënten die “in het minimum zijn”.
- Naast de landbouw zelf hebben ook andere bedrijven in de voedselketen, zoals met name voedselindustrie en retail, hier een verantwoordelijkheid.

6.4 Aanbeveling voor bedrijven in minerale micronutriëntenketens

- Maak de ketens van minerale micronutriënten, lopend van winning in de mijnen, toepassing in industriële producten naar recycling, efficiënter. Het gaat dan bij voorbeeld om de toepassing van zink in dakgoten en van seleen in glas. Het is belangrijk dat de ketenpartijen zelf, evenals bij fosfaat, hier ook een eigen verantwoordelijkheid bij nemen. Bij fosfaat is dat proces – althans in Nederland - al begonnen.

6.5 Aanbevelingen voor het onderzoek

- Met name in ontwikkelingslanden een betere en grootschaliger inventarisatie onder coördinatie van de FAO, van de beschikbaarheid van micronutriënten in bodems, mede in relatie tot andere nutriënten (vergelijkbaar met het bodemonderzoek in China). Dat maakt het mogelijk om kunstmest met micronutriënten doelmatiger in te zetten voor een hogere opbrengst en een betere voedselkwaliteit. Tevens onderzoek naar de methoden hiervoor.
- Onderzoek naar het gedrag van essentiële minerale nutriënten in de bodem en de opname ervan door het gewas, waaronder onderzoek naar maatregelen om de beschikbaarheid te verhogen.
- Breed onderzoek naar de continueerbaarheid van suppletie van de diverse micronutriënten vanuit de mijnen, als bijdrage aan een verschuiving van niet-essentiële naar essentiële toepassingen. Dat vergt gevoeligheidsanalyses betreffende de productie en de voorraden van de verschillende micronutriënten, in afhankelijkheid van verschillende scenario's voor de ontwikkeling van de vraag. Wat zijn bijvoorbeeld de effecten van een toename van het landbouwareaal, de veestapel, de productie van biobrandstoffen en de productie per hectare op de vraag naar minerale micronutriënten? In hoeverre is uitputting van bodems te verwachten en wat is het effect daarvan op de vraag?
- Onderzoek naar de kansen op een *Peak Zinc*, naar analogie van het onderzoek naar een *Peak Oil*. Daarbij kan helaas niet worden uitgegaan van de per land gemakkelijk beschikbare gegevens van de USGS, omdat die voor dit doel te weinig betrouwbaar zijn. Een alternatief is het vaststellen van een *cumulative availability curve* methodiek voor zink, waarbij de mondiale beschikbaarheid van zink tegen de prijs wordt afgezet.¹³
- Analyse van niet-beoogde mondiale stromen van micronutriënten in handelsstromen van grondstoffen, halfproducten en eindproducten, met hun diverse *sources* en *sinks*, als mogelijke basis voor terugwinning en vermarkting ervan.
- Innovaties gericht op een efficiëntere benutting van micronutriënten door gewas, vee en mens.
- Innovaties gericht op het beter sluiten van ketens betreffende winning, toepassing en recycling van minerale micronutriënten. Dit omvat een verhoogde recycling in de vorm van *urban mining*.

¹³ Zie bijvoorbeeld: A. Yaksic en J.E.Tilton: *Using the cumulative availability curve to assess the threat of mineral depletion: the case of lithium*. Resources Policy 34, pp 185-194, 2009.

Bijlage 1: Taak en samenstelling Platform Landbouw, Innovatie & Samenleving

Het werk van het Platform Landbouw, Innovatie & Samenleving draagt bij aan het kennisbeleid van het Ministerie van EL&I door:

1. Het verkennen van gevolgen van mogelijke technologische ontwikkelingen en afwegingen van alternatieven en/of;
2. Het verkennen van mogelijke technologische bijdragen aan de oplossing van maatschappelijke problemen relevant voor het (voormalige) LNV-beleidsterrein en/of;
3. Het onderkennen en expliciteren van normen en waarden die in het geding kunnen zijn bij bepaalde ontwikkelingen alsook verschillen daarin tussen verschillende groeperingen in de samenleving.

De volgende personen maken, allen op persoonlijke titel, deel uit van de stuurgroep:

- De heer drs. W.J. (Wouter) van der Weijden, voorzitter (Stichting Centrum voor Landbouw en Milieu)*
- Mevrouw dr. A.M.C. (Anne) Loeber (onderzoeker en universitair docent UvA)
- De heer prof. dr. H.A. (Helias) Udo de Haes (emeritus hoogleraar Milieukunde, CML, Universiteit Leiden)*
- De heer drs. J.A.C. (Hans) Vink (General Manager Nutreco Aquaculture [Skretting] NW-Europe)
- De heer prof. dr. G. (Guido) Ruivenkamp (hoogleraar Critical Technology Construction, Wageningen UR)
- De heer J.C.P. (Jan Cees) Vogelaar (melkveehouder, initiator HarvestaGG)*

* Lid van de projectgroep 'Micronutriënten', die dit advies heeft voorbereid.

Adresgegevens

Platform Landbouw, Innovatie & Samenleving
Secretaris: dr.ir. Carin Rougoor
p/a CLM Onderzoek en Advies
Postbus 62
4100 AB Culemborg
T: 0345 470769
E: crougoor@clm.nl
I: www.platformlis.nl

Bijlage 2: Voorraden en geografische concentratie van de belangrijkste minerale nutriënten

In deze tabel zijn de risicogegevens weergegeven voor de belangrijkste micronutriënten, gerangschikt naar R/P. In deze tabel is ook een aantal materialen opgenomen dat niet tot de micronutriënten behoort, maar wel tot de essentiële voedingsstoffen (bron R en P: USGS).

Mineraal	Reserve (x1000 ton)	Productie (x1000 ton/jr)	R/P (jr)	Bij-product?	Geografische concentratie? ¹⁴	% R in mijnen EU ¹⁵	Substituten beschikbaar?	Supply Risk ¹⁶
Zn	250.000	12.000	21	Nee	Laag	1%	Moeilijk	0,4
Cu	630.000	16.200	39	Nee	Laag	4%	Deels	0,2
Se	88.000	2.260	39	Ja	Hoog	0%	Ja	
Mo	9.800.000	234.000	42	Nee	Hoog	0%	Ja, maar door andere kritieke mineralen, zoals V, Nb, C, W, Ta	0,5
Mn	630.000 ¹⁷	13.000	48	Nee	Laag	0%	Nee	0,4
B	210.000	3.500	60	Nee	Hoog	0%	Ja	0,6
Fe	180.000.000	2.400.000	75	Nee	Laag	2%	-	
K	9.500.000	33.000	288	Nee	Laag	2%	-	-
P (fosfaaterts)	65.000.000 ¹⁸	176.000	370	Nee	Hoog	0%	Nee	
Mg	2.400.000	5.580	430	Nee	Hoog	4%	Ja	2,6 ¹⁹
N	Ruim beschikbaar (uit de lucht)	131.000	n.a. ²⁰	Nee	Laag		Nee	
Ca (als lime)	Ruim beschikbaar	310.000		-	Laag		-	-
S	In minerale olie: ruim beschikbaar	68.000	n.a.	-	Laag		-	-
Na	Ruim beschikbaar	n.a.	n.a.	-	Laag			

¹⁴ Top-3 heeft > 75% van de productie = hoog

¹⁵ Als percentage van de reserves, zoals genoemd door de USGS.

¹⁶ Volgens de definitie die het RMI-rapport zelf geeft in Bijlage 1 van het rapport van juni 2010 is de *supply risk* (SR) samengesteld uit een landenelement (concentratie en stabiliteit), een maat voor substitueerbaarheid en voor recycling.

¹⁷ Deze reserve is exclusief de mangaanknollen op de oceanabodem omdat die nog niet economisch winbaar zijn.



Toelichting bij de foto's op de omslag

Op de voorkant van linksboven met de klok mee:

- Bietenblad met zinktekort
- Rammelsbergmijn nabij Goslar in de Harz, Duitsland. Belangrijke producten waren zilver-erts, koper en lood. De mijn is gesloten in 1988.
- Runderen met koperdeficiëntie
- Kopermijn in Arizona
- Bijvoeding van schapen met mineralen inclusief micronutriënten
- Gebieden in de wereld waar zinkdeficiënties in belangrijke gewassen voorkomen.

Op de achterkant:

- Baby met zinkdeficiëntie