



ALTEERRA

WAGENINGENUR

# Achteruitgang van nutriëntgehalten in voedselgewassen door een verminderde bodemkwaliteit?

R.P.J.J. Rietra



Alterra-rapport 1439, ISSN 1566-7197



Achteruitgang van nutriëntgehalten in voedselgewassen door een verminderde bodemkwaliteit?



# Achteruitgang van nutriëntgehalten in voedselgewassen door een verminderde bodemkwaliteit?

R.P.J.J. Rietra

Alterra-rapport 1439

Alterra, Wageningen, 2007

## REFERAAT

R.P.J.J. Rietra. 2007. *Achteruitgang van nutriëntgehalten in voedselgewassen door een verminderde bodemkwaliteit?*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1439. 47 blz.; 2 fig.; 8 tab.; 104 ref.

Er bestaat maatschappelijke zorg over een mogelijke achteruitgang van het gehalte aan nutriënten in voedsel. De achteruitgang wordt regelmatig toegeschreven aan een verminderde kwaliteit van landbouwgronden. Deze bureaustudie geeft een overzicht over de vraag of er achteruitgang is van de voedselkwaliteit en of die veroorzaakt wordt door een achteruitgang van de bodemkwaliteit of andere factoren. Een daling aan koper, ijzer, calcium en kalium is geconstateerd in voedingsmiddelenlijsten. Ook geven recente onderzoeken aan dat een aantal modernere rassen soms lagere gehalten aan bepaalde nutriënten hebben. Op basis van bemestingsproeven kan gesteld worden dat de veranderde bodemkwaliteit (meer bemesting met stikstof en fosfaat) niet het geconstateerde dalende effect heeft op de nutriënten koper en ijzer. Suggesties worden gedaan om meer aandacht te krijgen voor het gehalte aan nutriënten in landbouwgewassen voor humane voeding.

Trefwoorden: bodem, bodemkwaliteit, voedsel, voedselkwaliteit,trend, nutriënten

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl). Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie [www.boomblad.nl/rapportenservice](http://www.boomblad.nl/rapportenservice)

© 2007 Alterra  
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland  
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

# Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Probleemstelling	9
1.2 Achtergrond	9
1.3 Opzet onderzoek	10
1.4 voedselkwaliteit	11
1.5 Instellingen en projecten	12
2 Achteruitgang voedselkwaliteit	15
3 Methodieken	18
4 Klimaat	20
5 Veranderingen in plantenrassen	21
6 Veranderingen in bodemkwaliteit	23
6.1 Veranderingen	23
6.2 Effecten van specifieke bemesting op bodemkwaliteit	24
6.3 Lessen uit verschillen tussen conventionele en biologische landbouw?	25
7 Relatie tussen bodem- en voedselkwaliteit	27
7.1 Nutriënten	27
7.2 Fytochemicaliën	32
7.3 Andere relaties tussen bodem- en voedselkwaliteit	33
8 Conclusies	34
Literatuur	37
Bijlage 1 Referenties naar kranten, tijdschriftartikelen en radio	47



## Samenvatting

Er bestaat maatschappelijke zorg over een mogelijke achteruitgang van de voedselkwaliteit. Hierin wordt de achteruitgang onder andere toegeschreven aan een verminderde kwaliteit van landbouwgronden. In deze bureaustudie is achterhaald of er reden tot zorg is. Onderzocht is of (1) er sprake is van een achteruitgang van de voedselkwaliteit, en (2) of de bodemkwaliteit mede oorzaak is voor een achteruitgang van de voedselkwaliteit.

In een zeer beperkt aantal studies is onderzocht of er een afname is van de voedselkwaliteit (hier: gehalte aan nutriënten). De studies wijzen op dalingen of geen veranderingen in ruwweg de periode 1930 tot 1990. De beperkte historische informatie maakt dat het niet mogelijk is om specifieke landbouwgewassen aan te wijzen of de mate van de verlaging aan te geven. Het betreft in drie studies vrijwel steeds dezelfde nutriënten: ijzer, koper, calcium en kalium. Eén studie geeft aan dat Australische tarwe in bovenstaande periode niet is veranderd maar wel Amerikaanse en Brits tarwe. Eén Nederlandse studie geeft voor een aantal landbouwgewassen aan dat de fosforgehalten alleen significant daalden in tarwe en aardappel. In een meer recente periode (1981-1992) is door een daling van de luchtverontreiniging een daling geconstateerd van de gehalten aan lood in Deense bladgroenten en zwavel in Engels tarwe. Samenvattend kan gesteld worden dat de stelling dat de gehalten aan nutriënten dalen niet algemeen geldig is.

De oorzaken van de geconstateerde dalingen kunnen zijn: verandering van de rassen en de bodemkwaliteit en de - met beide samenhangende - gestegen opbrengsten per hectare<sup>1</sup>. Er zijn relevante verschillen tussen de verschillende rassen, grofweg een factor 2. Relevant zijn echter de verschillen tussen de commercieel gebruikte rassen. Recent is een aantal vergelijkingen gedaan tussen oude en nieuwere rassen en daarbij blijken de oudere rassen licht hogere gehalten te kunnen hebben. Onder andere voor de eerder genoemde nutriënten: ijzer en koper in tarwe, en calcium en kalium in maïs. De hypothese dat een veranderde bodemkwaliteit verantwoordelijk is voor de geconstateerde daling in de gehalten van een aantal nutriënten is niet goed te toetsen maar is voor Fe en Cu niet te verwachten op grond van het geringe effect dat bemesting heeft op deze nutriënten, en op grond van de toename in de Cu gehalten in veel landbouwbodems.

Een aantal adviezen wordt gegeven om te komen tot een beter inzicht in de kwaliteit van voedsel en de verandering daarin, en belangrijker: een aantal methoden om te komen tot een verbetering van de nutriëntgehalten in voedselgewassen. Hiervoor zijn voldoende mogelijkheden maar moet wel initiatief genomen worden.

---

<sup>1</sup> De opbrengst is veel sterker gestegen dan de beperkte daling van enkele elementen zodat de gewassen een zeer belangrijke bijdrage hebben geleverd aan de voeding.





# 1 Inleiding

## 1.1 Probleemstelling

Er is zorg over de achteruitgang van de kwaliteit van voedsel. Het is onduidelijk of die zorg gegrond is. Het is de vraag of de geponeerde achteruitgang in de kwaliteit van het voedsel inderdaad gesignaleerd kan worden en of er een verband gelegd kan worden met een eventueel verminderde bodemkwaliteit. Die achteruitgang van de kwaliteit wordt namelijk in veel gevallen toegeschreven aan de slechter wordende kwaliteit van landbouwgronden. Landbouwgronden zouden tegenwoordig nog maar heel weinig voedingsstoffen bevatten. Inherent aan deze stelling is de vooronderstelling dat door het veelvuldig gebruik van NPK-meststoffen de balans met andere mineralen steeds verstoord raakt.

## 1.2 Achtergrond

De Britse Voedingsmiddelentabel wordt sinds 1940 regelmatig opnieuw uitgegeven, aangevuld en bijgesteld. In de uitgave van 1991 van “McCance and Widdowson’s Composition of Foods, fifth edition” (Mayer, 1997) geven de auteurs in de introductie aan dat gehalten aan nutriënten in de huidige gewassen lager zijn dan de gehalten van enige decennia daarvoor, en dat dat eventueel veroorzaakt kan worden door nieuwe variëteiten en nieuwe landbouwmethoden. Vergelijkbare conclusies worden getrokken op basis van gehalten aan nutriënten in vlees- en melkproducten. Sinds deze uitgave zijn op basis hiervan enige zorgwekkende berichten in kranten en tijdschriften verschenen (Bijlage 1). Pas in 1997, 2004, en 2005 zijn wetenschappelijke artikelen verschenen over de geconstateerde veranderingen in voedingsmiddelentabellen uit de Verenigde Staten en Groot-Brittannië. Deze resultaten worden besproken in Hoofdstuk 2. Dit alles kan niet worden besproken zonder een korte introductie te geven over de problematiek rond nutriënten in landbouwgewassen. Een chronische honger betreft namelijk naar schatting 854 miljoen mensen, en de zogenaamde “hidden hunger” (een tekort aan micronutriënten) betreft 2 miljard mensen. Strategieën om de honger in de wereld te halveren (Millennium Project van de Verenigde Naties) zijn deels gebaseerd op het verbeteren van bodemkwaliteit en het verminderen van de gebreken aan vitaminen en mineralen in de humane voeding (Sanchez en Swaminathan, 2005). Er zijn schattingen van het aantal mensen met tekorten aan ijzer (Fe), jodide (I) en vitamine A. Het tekort aan het micronutriënt Fe is volgens de WHO bovendien sterk gestegen tussen 1960 en 2000. Geschat wordt dat er ook tekorten zijn aan andere micronutriënten, zoals zink (Zn) en vitamines. In veel landen wordt een relatie gelegd tussen de tekorten en de veranderende eetgewoonten, zoals het consumeren van relatief meer graanproducten en minder peulvruchten (Graham et al., 2001). Geschat wordt dat ook in westerse landen, voornamelijk bij kwetsbare groepen, zich tekorten

voordoen aan micronutriënten (Eichholzer, 2003). Tekorten zijn vaak op te lossen met supplementen, maar toepassingen daarvan hebben de problematiek in de derde wereld landen niet verkleind (Graham et al., 2001) en de nuttige en mogelijk noodzakelijke bijdrage van vele fytochemicaliën uit planten in ons voedsel maken goede landbouwproducten zeer relevant. De landbouwproblematiek is eerder verschoven van een productie gedreven landbouw (“Groene Revolutie”) naar een duurzame landbouw. De huidige problematiek kenmerkt zich door de vraag om een meer productief, duurzaam en voedzaam systeem (Graham et al, 2001)

Naast bovenstaande problematiek is er veel maatschappelijke aandacht voor de kwaliteit van ons voedsel. Uit onderzoek in buurlanden bleek het consumentenvertrouwen in de kwaliteit van voedsel te variëren. In het algemeen was het vertrouwen in voedselveiligheid in groenten en fruit hoger dan in vleesproducten (EU, 2004). Britten, Denen en Noren hebben meer vertrouwen in de voedselveiligheid dan Duitsers, Italianen of Portugezen. Er is een groeiend pessimisme over de kwaliteit van het voedsel vooral in de zuidelijke Europese lidstaten (EU, 2004).

De eventuele daling van de voedselkwaliteit, en het belang van consumentenvertrouwen, op de achtergrond van een meer algemene landbouwproblematiek maakt nader onderzoek nuttig.

### **1.3 Opzet onderzoek**

Het onderzoek betreft een literatuuronderzoek en het ondervragen van deskundigen. De vraag is of er een achteruitgang van de kwaliteit van ons voedsel optreedt, en of die gerelateerd is aan een achteruitgang van de bodemkwaliteit. Beide vragen zijn waarschijnlijk niet eenduidig te beantwoorden zodat de onderzoeksvraag wordt opgedeeld in deelvragen die mogelijk wel te beantwoorden zijn.

Verschillende gegevens zijn gezocht:

- (1) overzicht van instellingen en projecten in Nederland met informatie over de kwaliteit van voedsel
- (2) literatuuroverzicht over voedsel en bodemkwaliteit
- (3) mate van verandering van de voedselkwaliteit,
- (4) mate van verandering in bodemkwaliteit,
- (5) relatie tussen bodemkwaliteit en voedselkwaliteit
- (6) andere factoren die invloed hebben op verandering voedselkwaliteit.

Na het literatuuronderzoek is besloten de indeling van de tekst te ordenen als een reeks hypothesen en mogelijke antwoorden, en daarbij de nadruk te leggen op de rol van de bodemkwaliteit op de voedselkwaliteit. Er is in het buitenland een achteruitgang van de voedselkwaliteit van sommige gewassen geconstateerd Dit wordt besproken in hoofdstuk 2. Verschillende hypothesen zijn genoemd (Mayer, 1997; Davis et al., 2004) om deze geconstateerde achteruitgang te verklaren, en aan de hand daarvan wordt het rapport ingedeeld (hoofdstukken 3,4 en 5): door verandering van analysemethoden, door verandering in gewasvariëteiten, door

toename in CO<sub>2</sub>, en door verandering van bodemkwaliteit. Om sommige teksten meer aansprekend te maken zijn enkele interessante onderwerpen uit de literatuur in speciale kaders geplaatst. In hoofdstuk 6 wordt de verandering van de bodemkwaliteit besproken en in hoofdstuk 7 de relaties tussen bodem en voedselkwaliteit. In Hoofdstuk 8 worden de conclusies en adviezen gegeven.

## 1.4 voedselkwaliteit

Tabel 1 Essentiële nutriënten voor de mens (Welch en Graham, 2005)

water en energie	eiwitten	vetten	Macro-mineralen	Micro- (spore) elementen	Vitaminen
Water	Histidine	Linoleic acid	Na	Fe	A
koolhydraten	Isoleucine	Linolenic acid	K	Zn	D
	Leucine		Ca	Cu	E
	Lysine		Mg	Mn	K
	Methionine		S	I	C
	Phenylalanine		P	F	B1 (thiamine)
	Threonine		Cl	B	B2 (riboflavine)
	Tryptophan			Se	B5 (pantotheen zuur)
	Valine			Mo	B6 (pyridoxine)
				Ni	Folium zuur
				Cr	B8 (biotine)
				Si	B3 (niacine)
				As	B12 (cobalamine)
				Li	
				Sn	
				V	
				Co (in B12)	

Voedselkwaliteit wordt in dit rapport gezien als het gehalte aan:

- (1) essentiële nutriënten (Tabel 1) in landbouwgewassen,
- (2) stoffen die de opname van nutriënten vanuit het darmstelsel bevorderen (“promotors”) of verslechteren (“antinutriënten”) (Tabel 2),
- (3) fytochemicaliën, en
- (4) contaminanten (in zoverre gerelateerd aan bodemkwaliteit) (Tabel 3).

Het onderzoek beperkt zich tot aspecten van voedselkwaliteit die relatie hebben met een eventuele verandering in de bodemkwaliteit. Wereldwijd worden pogingen gedaan om landbouwgewassen te ontwikkelen met hogere gehalten aan deze micronutriënten, of met gunstigere kwaliteiten. Het onderzoek hier betreft echter alleen die stoffen in zoverre ze beïnvloedt worden door een verandering in bodemkwaliteit in Nederland. Eventuele verschillen tussen groenten uit kassen in plaats van groente uit de vollegrondsgroenteteelt worden bijvoorbeeld niet besproken.

Tabel 2 Antinutriënten en promotors

Nutriënt	Antinutriënten	promotors
Ca	Oxalaat, phytaat, tannine, vezels	inuline
Mg	Phytaat	
Fe	Phytaat, tannine, oxalaat, vezels, hemagglutamine	
Zn	Phytaat, tannine, vezels, hemagglutamine	Palmeine zuur, ribofalvine, ascorbate, cysteine, histidine, lysine, methionine, fumaraat, malaat, citraat
I	goitrogens	Selenium

Tabel 3 Voornaamste contaminanten in voedsel met relatie tot bodemkwaliteit.

Zware metalen (As, Pb, Cd, Hg) gewasbeschermingsmiddelen PAK, PCB	
---	--

Veel aandacht in recent onderzoek (bijvoorbeeld: Mithen et al., 2002; Arts en Hollman, 2005; Van Zanden et al., 2005) krijgen verschillende fytochemicaliën (secundair metabolieten in planten). Deze stoffen wijken af van nutriënten doordat ze - zover bekend - niet noodzakelijk zijn. Het is duidelijk dat ze wel een belangrijke rol spelen bij mens en dier. Het gaat om chemisch gezien verschillende stofgroepen: fenolen (bv. flavonoïde), terpenen (bv. carotenoiden en limonoiden), alkaloiden (bv. indolen), en zwavel-bevattende stoffen (bv. glucosinolaten). Het totale aantal van deze stoffen in planten is zeer groot (er zijn bijvoorbeeld honderden flavonoïden in eetbare gewassen geconstateerd).

In dit onderzoek zal weinig aandacht besteed worden aan de effecten van een eventuele achteruitgang van de fytochemicaliën in landbouwgewassen in relatie tot bodemkwaliteit, omdat er voor deze stoffen weinig of geen indicaties zijn van gehalten die eventueel nodig zijn, en het ontbreekt aan historische gegevens.

## 1.5 Instellingen en projecten

Er is gebruik gemaakt van een allereerste verkenning rond het onderwerp die mevrouw Gribling van RMNO (Raad voor Ruimtelijk, Milieu- en Natuuronderzoek) vergaarde op instigatie van LNV. Verder is informatie ingewonnen bij de heer P. Hollman van Rikilt, de heer R. van der Broek van WUR-PPO, mevr. van der Heijden van WUR-Humane Voeding, en mevrouw Westenbrink van TNO (werkzaam voor Stichting NEVO).

Tabel 4 Overzicht van instellingen in Nederland met informatie over kwaliteit van voedsel. Enige worden in onderstaande tekst toegelicht.

Instelling	Naam informatie	beschrijving
Voedingcentrum/ NEVO	voedingsmiddelentabel	Gehalten aan nutriënten in voornaamste voedingsmiddelen
WUR Rikilt	database: KAP	Gehalten aan voedingsstoffen en contaminanten voortvloeiend uit wettelijke monitoringsactiviteiten
WUR Humane Voeding		Diverse onderzoeken, zie Mithen et al. (2000) welke indien mogelijk door NEVO zijn gebruikt.
RIVM/TNO Voeding	Voedselconsumptie- peilingen	Zie Hulshoff et al., (2004) en Hulshof en Ocké (2005)
WUR	Gepubliceerde en ongepubliceerde informatie uit projecten	Gehalten aan nutriënten in verschillende landbouwgewassen uit verschillende studies (zie bijvoorbeeld Ehlert et al., 2006).
WUR-Alterra	database: TAGA	bodem- en gewasarchief, zie Alterra-rapport 485
WUR-PPO	rassenbulletins	Vergelijken tussen rassen
The Greenery	database	Monitoring van contaminanten
Hoofdproductschap Akkerbouw	certificaten	Informatie over onder andere EurepGAP, ViGeF.

Bij Stichting NEVO (Nederlands Voedingstoffenbestand) beheert een bestand met nutriëntgehalten van levensmiddelen. De tabel wordt gebruikt voor voedingsonderzoek, diëtetiek en voorlichting. In relatie tot dit onderzoek zijn de gehalten in groenten en fruit relevant, en de historische gegevens waardoor in principe een vergelijking tussen oude en nieuwe gegevens mogelijk is. Geraadpleegd is het voedingscentrum naar alle voedingsmiddelentabellen die in de jaren gemaakt zijn. Het blijkt dat vanaf 1941 deze tabel regelmatig geactualiseerd is, en gepubliceerd is in het tijdschrift Voeding. Ook andere landen bezitten voedingsmiddelentabellen. De voedingsmiddelentabellen uit Groot-Brittannië en de Verenigde Staten zijn gebruikt om vast te stellen of er een verandering van nutriëntengehalten is. Een algemene beschrijving van de methoden om de tabellen op te stellen zijn te vinden in Greenfield en Southgate (2003).

Bij WUR-PPO worden rassenbulletins opgesteld in opdracht van het Hoofdproductschap Akkerbouw en bedrijven. Hierbij worden beperkt gewasanalyses gedaan naar nutriënten. De nutriëntgehalten horen tot nu toe niet bij de kwaliteitseigenschappen waarop geteeld wordt. Bovendien wordt bij de vergelijking tussen de rassen geen rekening gehouden met eventuele verschillende bemestingsbehoeften tussen gewassen.

Het Hoofdproductschap Akkerbouw geeft informatie over onder andere de certificering van de akkerbouwketen. De groenteverwerkende industrie (ViGeF, Vereniging van de Nederlandse Groenten en Fruit verwerkende industrie) heeft met telers een 'Voedselveiligheidscertificaat Groente' vastgesteld voor alle telers die hun producten afleveren aan de groenteverwerkende industrie. Relevant voor dit onderzoek is dat ze in de beoordelingsrichtlijn stellen dat het bemestingsadvies opgevolgd dient te worden. In EurepGAP (een grot groep supermarktketens: Euro Retailer Produce Good Agricultural Practice) heeft in de checklist ook bepalingen

over omgang met bemestingsadviezen. Bemestingsadviezen zijn toegesneden op een verantwoorde opbrengst en zijn deels toegesneden op de gehalten nutriënten (voornamelijk bij veevoedergewassen). In principe zouden de bemestingsadviezen ook voor gewassen voor humane voeding toegespitst kunnen worden op optimale nutriëntengehalten. Deze bemestingsadviezen zouden via bovenstaande certificering gewaarborgd kunnen worden. Een ander systeem zou kunnen zijn om te werken met normen voor gehalten aan nutriënten. Omgang met controle op bijvoorbeeld een veiling, en omgang met gewassen met te lage gehalten is mogelijk, maar waarschijnlijk ingewikkeld.

WUR-Alterra beheert het Technisch Archief en GrondmonsterArchief (TAGA). Het TAGA bevat voornamelijk monsters en bijbehorende onderzoeksgegevens afkomstig van onderzoeken bij het voormalige Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB). De monsters (grond, gewas en meststoffen) en gegevens gaan terug tot 1879.

## 2 Achteruitgang voedselkwaliteit

Recente onderzoeken wijzen op een daling in de gehalten in Amerikaanse tuinbouwproducten van 6 nutriënten (eiwit, Ca, P, Fe, riboflavine en ascorbinezuur) en niet significante veranderingen van de andere gemeten parameters (vitamine A, niacine, thiamine, koolhydraten, vet, droge stofgehalte) in de periode van 1950-1999 (Davis et al., 2004), en een daling van een aantal nutriënten in Groot-Brittannië in groenten (Cu, Mg, Na) en fruit (Cu, Fe, K) tussen 1930 en 1980 (Mayer, 1997; White en Broadley, 2005). De statistische methode om de verschillen te toetsen heeft echter nogal wat invloed op de mate van significantie. Op basis van een robuuste statistische methode, op basis van de data uit White and Broadley (2005), laat Davis (2006) zien dat de daling van Cu en Na in Britse groenten, en de daling van Ca, Fe en Cu in Amerikaanse producten significant zijn.

In Tabel 5 zijn de gemiddelde ratio's gegeven (nieuw gehalte/oud gehalte) uit de genoemde publicaties, zodat de overeenkomsten en verschillen opvallen. Overeenkomsten tussen de Amerikaanse en Britse gegevens zijn, dat de meeste ratio's (behalve bij noten) lager zijn dan 1, en de overeenkomsten tussen de nutriënten: dalingen bij groenten van Ca, Cu, Fe, de dalingen van Cu, Fe en K in fruit, en de constante P gehalten in groenten en fruit. Verschillen tussen de Amerikaanse en Britse gegevens zijn Ca in fruit (geen daling in Britse, wel in Amerikaanse gegevens) en het verschil tussen de daling in Fe (zeer sterk bij Amerikaanse gegevens).

In Denemarken zijn de gehalten aan nutriënten en een aantal contaminanten in voedsel tussen 1983 en 2002 in vier perioden van 5 jaar gemonitord (Leth et al., 2001; Larsen et al., 2002). Dit onderzoek verschilt van de Nederlandse, Britse en Amerikaanse studies doordat de gegevens specifiek voor monitoring vergaard zijn. De resultaten tot de derde periode (tot 1997) zijn gerapporteerd en laten vooralsnog geen trends zien in gehalten aan nutriënten en contaminanten, behalve sterke variaties in K in brood en graanproducten, een daling van Cd in peen en aardappel, en een significante daling van Pb in bladgroenten en rundernieren.

Onderzoek aan 47 tarwemonsters uit Australië en 17 uit Noord-Amerika en Groot-Brittannië uit graanopslagen (Batten, 1994), in vergelijking tot onderzoek uit de jaren dertig (Dadswell, 1935) wijst op lagere gehalten aan nutriënten (P, K, Mg, Ca, and Mn) in tarwe uit Noord-Amerika en Groot-Brittannië, en onveranderde gehalten (P, Fe, Cu, Mn, K) in Australisch tarwe. Onderzoek van seleengehalten in Engelse tarwe in 1982, 1992 en 1998 laat geen significante verschillen zien van Se in tarwe (Adams et al., 2002). Onderzoek aan de zwavelgehalten in Brits tarwe in 1981/1982 en in 1992/1993 laat een landsdekkende daling zien van zwavel in deze relatief korte periode (10-12 jaar) door een daling van de atmosferische zwaveldepositie (Zhao et al., 1995).



Onderzoek aan de fosfaatgehalten in Nederlandse landbouwgewassen (Ehlert et al., 2006) geeft voor een aantal gewassen lichte dalingen (tarwe en aardappel) of niet-significante veranderingen (zomergerst, rogge, snijmaïs, grasland). Hieraan voorafgaand is een nauwkeurige selectie gemaakt van gewasgegevens waarbij de bijbehorende bodemgegevens wijzen op voldoende stikstof en fosfaatbemesting. Daarmee is dit onderzoek het enige onderzoek dat de gewaskwaliteit relateert aan de bodemvruchtbaarheid. De correlatie die vaak gevonden wordt in granen tussen P en gehalten aan nutriënten (Rengel et al., 1999) geeft de verwachting dat ook de gehalten aan nutriënten in tarwe zijn gedaald.

Gegevens van gehalten aan nutriënten in groenten en fruit in Nederland zijn te vinden in de Voedingsmiddelentabellen, welke regelmatig gepubliceerd zijn vanaf 1941. Een ruwe analyse van de Voedingsmiddelentabel van 1955 (Den Hartog, 1955) en die meest recente versie (Voedingscentrum, 2006) laat zien dat voor de vergelijkbare gegevens, K en Fe, er meestal dezelfde getallen gehalten gegeven worden in 2006 als in 1955. Volgens mevrouw Westenbrink van de NEVO zijn de onderliggende gegevens waarop de voedingsmiddelentabellen zijn gebaseerd vanaf ongeveer 1975 digitaal beschikbaar. Dit maakt in principe een vergelijking mogelijk tussen “oude” en nieuwere data. Daarbij tekent ze wel aan dat het aantal gegevens per product vaak beperkt is (bijvoorbeeld één studie in 15 jaar aan een groente). Het achterhalen van de achterliggende informatie (bemonstering, monsterbehandeling, analysemethode) is in principe mogelijk maar dat zou veel werk vergen.

In bovenstaande genoemde literatuur (Mayer, 1997; White en Broadley, 2005; Davis et al., 2004) worden verschillende hypothesen gegeven als oorzaak voor de verminderde kwaliteit:

1. methoden: verschil in onderzoeksmethoden
2. klimaat: generieke veranderingen o.i.v. bijvoorbeeld CO<sub>2</sub> stijging in de lucht (Loladze, 2002)
3. plantenrassen: gebruik van nieuwe rassen.
4. bodemkwaliteit: onder invloed van bemesting, verdunning van een aantal mineralen door verbeterde opbrengsten van gewassen, en/of een onbalans tussen nutriënten.

Bovenstaande hypothesen worden in de onderstaande hoofdstukken besproken, met daarin nadruk op de vraag of de in een aantal studies geconstateerde achteruitgang veroorzaakt wordt door een achteruitgang van de bodemkwaliteit.

Tabel 5 Ratio's tussen oude en nieuwe nutriëntgehalten uit 3 publicaties (n = aantal monsters). Grijskleuringen wijzen op overeenkomsten tussen de datasets.

		VK, White Broadley, 2005		VS White Broadley, 2005			VS, Davis, 2004		
		n	ratio 1980/1930	n	ratio 2004/1930		n	ratio 1999/1950	
Alle monsters	Ca	80	1.0	19	0.3	**			
	Cl	69	1.0						
	Cu	79	0.3	**	48	0.4	**		
	Fe	80	0.7	*	50	0.6	**		
	K	80	0.8	*	18	0.9			
	Mg	80	0.8	*	16	1.0			
	Na	78	0.6	*					
	P	80	1.1		19	0.9			
groenten	Ca	26	0.7		16	0.3	**	43	0.77 **
	Cl	26	0.9						
	Cu	26	0.5	*	19	0.3	**		
	Fe	26	0.7		20	0.4	**	43	0.73 **
	K	26	0.9		15	1.0			
	Mg	26	0.6	*	15	1.0			
	Na	25	0.2	*					
	P	26	1.2		16	0.9		43	0.86 **
fruit	Ca	38	1.1		3	0.3			
	Cl	27	0.8						
	Cu	37	0.4	*	22	0.4	*		
	Fe	38	0.7	*	23	0.5	**		
	K	38	0.8	*	3	0.7	*		
	Mg	38	1.0						
	Na	37	0.8						
	P	38	1.1		3	1.0			
gedroogde noten	Ca	8	0.8						
	Cl	8	1.2						
	Cu	8	1.9	*	2	1.3			
	Fe	8	1.1		2	0.4	*		
	K	8	1.0						
	Mg	8	0.7	*					
	Na	8	0.7						
	P	8	1.3						
noten	Ca	8	1.3						
	Cl	8	2.1						
	Cu	8	6.6	*	5	1.0			
	Fe	8	1.1		5	0.7			
	K	8	0.8						
	Mg	8	1.1						
	Na	8	2.0						
	P	8	0.9						
groenten	water						43	1.01	**
	droge stof						43	0.97	
	energie						43	1.00	
	eiwit						43	0.95	
	vet						43	0.96	
	koolhydr.						43	1.02	
	asgehalte						43	0.95	
	vit. A						28	0.93	
	thiamine						43	1.05	
	riboflavine						42	0.72	**
	niacine						43	1.10	
ascorbine						42	0.82	**	

\* significant, \*\* p<0.001 volgens statistische analyse, welke volgens Davis (2006) minder robuust is.

### 3 Methodieken

De door onderzoekers (Mayer, 1997; Davis et al., 2004; White en Broadley, 2005) gebruikte gegevens om een achteruitgang in de voedselkwaliteit te bepalen zijn niet bedoeld om historische trends in de voedselkwaliteit mee te bepalen. De verzamelde gegevens zijn, net als in Nederland (Den Hartog, 1955; Voedingscentrum, 2006), bedoeld om de voedingswaarde van een maaltijd te berekenen. Ze zijn verzameld met het oog op representatieve beschrijving van het aanbod in het land (dus ook geïmporteerd voedsel) en komen uit verschillende onderzoeken. Ze beschrijven niet specifiek de analysegegevens van een bepaald jaar, of de groenten en fruit uit het eigen land, en beschrijven niet de rassen van de groenten en fruit.

Alhoewel de analysemethoden in 1930 en 1950 anders waren dan in recent onderzoek betekent dat niet dat ze minder nauwkeurig waren (commentaar E. Widdowson, geciteerd door Mayer, 1997; commentaar Prof. Crawford in Purvis (2005), zie Bijlage 1). Een aantal nutriënten is niet of nauwelijks veranderd in de vergelijkende studies van historische en huidige datasets. Vooral de onveranderde nutriëntengehalten in Australische granen (1935 tot 1994) geven sterk de indruk dat de veranderde analysemethoden geen belangrijke invloed hebben op de geconstateerde veranderde nutriëntgehalten.

De bemonsteringsmethoden die in het verleden gebruikt zijn, zijn niet meer te vergelijken met de huidige omdat beschrijvingen uit het verleden grotendeels of deels ontbreken (Den Hartog, 1955; Mayer, 1997). Daarnaast zijn de groenten en fruit die tegenwoordig aangeboden worden anders dan in het verleden: aantal variëteiten, verandering van import en landen van waaruit import plaatsvindt, selectie op grootte, opslag, aanbod gedurende een veel langer seizoen, en teelten in kassen. Bewaarcondities kunnen grote effecten hebben op vitamines en fytochemicaliën. Het deels ontbreken van de methodische beschrijvingen in de historische gegevens van alle condities die de gehalten beïnvloeden maakt dat het niet mogelijk is om een goede vergelijking voor deze stoffen te maken. Davis et al (2004) geven aan dat de in 1950 gepubliceerde gegevens uit de VS literatuuronderzoek betreft en geen representatief nationaal onderzoek. De Britse gegevens kwamen in 1986 deels nog uit literatuur (Mayer, 1997). De oude Nederlandse gegevens komen deels uit literatuur (van Eekelen et al., 1942; Den Hartog, 1951; 1955) en deels uit het buitenland.

Op basis van de hoge Fe gehalten in enkele historische gegevens uit de VS zeggen Davis et al. (2004) dat deze eventueel veroorzaakt kunnen zijn door vervuiling van de gewasmonsters met grond. Benton Jones (1991) schrijft dat aan een product hangende grond (zelfs als is een product niet zichtbaar vies) de Fe analyse drastisch beïnvloedt zodat wassen noodzakelijk is voor een juiste Fe bepaling. Wassen kan echter bepaling van kalium (K) beïnvloeden door verlies tijdens het wassen. De gebruikte procedures voor de historische Britse onderzoeken zijn tijdens WOII verloren gegaan (Mayer, 1997) zodat de gebruikte methoden van deze onderzoeken niet meer achterhaald kunnen worden. Aangezien de andere onderzoeken ook

bestaan uit een verzameling van onderzoeken is er geen eenduidige vergelijking tussen een oude en nieuwe methode mogelijk. Relevant zou wel een onderzoek kunnen zijn als binnen één of twee laboratoria gewasmonsters over langere tijd zijn geanalyseerd zoals voorgesteld door Ehlert et al. (2006) naar oude en nieuwe methoden die binnen Nederlandse onderzoeksinstituten zijn gebruikt. Hiervoor dient dan vanzelfsprekend wel een interessante dataset te zijn.

Benton Jones (1991) citeren verder drie onderzoeken waarin relatief grote variatie gevonden is in de analyses van B, Cu en Fe in gewasmonsters door verschillende laboratoria.

De hogere Cu gehalten in historische gegevens zouden gerelateerd kunnen zijn aan het veelvuldige gebruik van koperhoudende pesticiden<sup>2</sup> in land- en tuinbouw sinds de jaren dertig (White en Broadley, 2005).

Contaminatie van analysemonsters door verkleining (malen) van gewasmonsters is berucht voor een aantal stoffen die in metalen voorkomen (bijvoorbeeld Fe, Cu, Zn).

In relatie tot het vorige hoofdstuk kan dus gesteld worden dat een deel van de eerder beschreven significante dalingen (Cu en Na in Britse groenten, en daling van Ca, Fe en Cu in Amerikaanse producten) mogelijks veroorzaakt worden door veranderde methoden (Fe) en gebruik van koperhoudende pesticiden.

---

<sup>2</sup> Het gemiddelde Cu gehalte in aardappelen in de Britse en Amerikaanse datasets uit de dertiger jaren zijn respectievelijk 1,4 en 1,7 mg.kg<sup>-1</sup> (in moderne datasets respectievelijk 0,8 en 1,2 mg.kg<sup>-1</sup>) op basis van versgewicht, en dat is relatief hoog ten opzichte van de huidige norm van 3 mg.kg<sup>-1</sup> voor Cu in aardappelen (Regeling Residuen van bestrijdingsmiddelen).

## 4 Klimaat

Als hypothesen voor veranderingen van nutriëntgehalten in landbouwgewassen is ook genoemd de toename van CO<sub>2</sub> in de lucht (Davis et al., 2004). Loladze (2002) poneert recentelijk de theorie dat door de toename van CO<sub>2</sub> in de lucht de verhouding aan nutriënten ten opzichte van koolstof daalt. De theorie wordt ondersteund door een beperkt aantal onderzoeken uit het verleden. Alhoewel er heel veel onderzoek gebeurt naar de effecten van verhoogde CO<sub>2</sub> gehalten op natuur en landbouwgewassen, en naar de effecten die stikstof daarop heeft, is er maar heel weinig onderzoek waarin gegevens te vinden zijn over de effecten op nutriënten. Verhoogde CO<sub>2</sub> gehalten leiden vaak tot lagere N gehalten (eiwit) in gewassen (Bloom, 2006). Het zeer beperkte aantal beschikbare onderzoeken geeft aan dat bij 1,8 tot 2 keer zo hoge CO<sub>2</sub> gehalten merendeels leidt tot lagere, soms tot gelijke of enkele keer tot hogere gehalten aan nutriënten in tarwe (Manderscheid et al., 1995; Fangmeier et al., 1999; De la Puente et al., 2000) en rijst (Seneweera et al., 1997) en aardappel (Fangmeier et al., 2002). Eén recenter onderzoek, dat naar aanleiding van bovenstaand onderzoek is uitgevoerd, laat echter geen veranderingen zien bij 11 nutriënten in rijst onder invloed van CO<sub>2</sub> behalve het gehalte aan eiwit (Lieffering et al., 2004; Terao et al., 2005). Lieffering et al. (2004) vinden meer biomassa en meer wortelgroei, en poneren de stelling dat, indien de plantenwortels genoeg ruimte hebben om te groeien, CO<sub>2</sub> niet leidt tot lagere gehalten aan nutriënten (in tegenstelling tot eerder genoemde onderzoeken waarin wortelgroei beperkt wordt in potten).

De geconstateerde effecten zijn waarschijnlijk te begrijpen als een vorm van verdunning (zie paragraaf 7.1). Het effect hangt dan af van de beschikbaarheid aan nutriënten en hoeven daarom niet generiek op te treden. Bij beperkte beschikbaarheid kunnen verhoogde CO<sub>2</sub> concentraties in de lucht leiden tot lagere gehalten. Dan mag verwacht worden dat bij voldoende beschikbaarheid (conform bemestingsadviezen) er geen lagere gehalten optreden. De theorie van Loladze (2002) dat CO<sub>2</sub> leidt tot lagere gehalten aan nutriënten is daarom niet afdoende onderbouwd om de geconstateerde dalingen (Mayer, 1997; Davis et al., 2004; White en Broadley, 2005) in een aantal nutriënten te verklaren.

Tenslotte kan vermeld worden dat verhoogde CO<sub>2</sub> gehalten in de lucht ook leiden tot veranderingen in de gehalten aan koolhydraten (Kimball, 2002) en mogelijk ook andere relevante stoffen zoals flavonoiden (Estiarte et al., 1999) en fenolen (Penuelas et al., 1999).

Samenvattend kan gesteld worden dat het meest recente onderzoek niet duidt op een verandering van nutriënt gehalten door de toename van CO<sub>2</sub> in lucht.

## 5 Veranderingen in plantenrassen

In de periode van 1960 tot 2000 zijn nieuwe plantenrassen in de markt gebracht (“groene revolutie”). Deze moderne varianten hebben sterk bijgedragen aan een hogere opbrengst van landbouwgewassen (Evenson en Gollin, 2003). Recent onderzoek naar de gehalten aan micronutriënten in 14 harde tarwerassen die op de markt gebracht zijn in de periode 1873 tot en met 2000 geeft aan dat de modernere rassen hogere opbrengsten geven, maar over het algemeen lagere gehalten hebben aan Fe, Zn, Cu en Se (Garvin et al., 2006). Onderzoek naar gehalten in wilde en gecultiveerde bonen (Graham et al., 1999) en tarwe (Monasterio en Graham, 2000) laat ook enige verschillen zien, waarbij de variabiliteit binnen de wilde en gecultiveerde bonen vergelijkbaar groot is. De verschillen in beide onderzoeken tussen rassen zijn echter nooit veel groter dan een factor 2 (oftewel 100%). Onderzoek naar de gehalten aan nutriënten in 6 commercieel relevante maïsrassen die tussen 1959 en 1988 op de markt zijn gebracht geeft aan dat de gehalten aan Mg, Cu, Mn en Se lager zijn in de kolf van moderne rassen, en geen significante effecten bij Ca, K, Zn, en aminozuren (Vyn en Tollenaar, 1998). Onderzoek aan nieuwe tarwerassen die gedurende 42 jaar zijn ontwikkeld voor Mexicaanse omstandigheden hebben geleid tot sterke opbrengstverhogingen en geringe dalingen in P, Fe, Zn en phytaat (Graham et al., 1999; Monasterio en Graham, 2000).

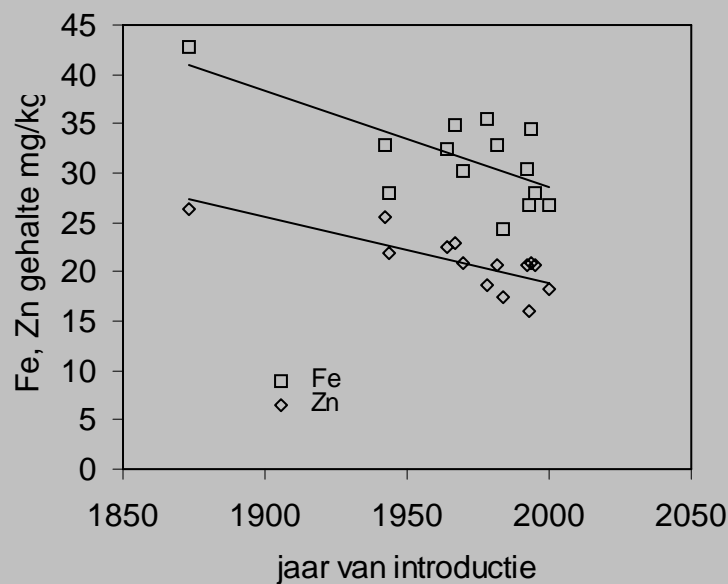
In principe kunnen de verschillen tussen cultivars groot zijn, en het is om die reden dat er wereldwijd gewerkt wordt aan het kweken van cultivars die hogere gehalten aan micronutriënten hebben, naast een goede opbrengst. In verschillende cultivars van bonen is een variatie in Fe en Zn gehalten van een factor 3 gevonden, in erwten een variatie in Fe en Zn van respectievelijk 4,5 en 6,6, in cassave een variatie in Fe en Zn van resp. 14 en 4, in spinazie een variatie in Fe en Zn van resp. 2,7 en 12, en in Brassica Oleracea (kool) een variatie in Fe en Zn van resp. 30 en 16 (White en Broadley, 2005). Een recente studie aan Ca en Mg gehalten aan broccoli (Farnham et al., 2000) en Ca, Mg, K, Fe en Zn in andere koolsoorten (Kopsell et al., 2004) laat verschillen in de orde van een factor 2 zien. Belangrijk is ook dat niet één ras duidelijk de hoogste gehalten heeft van alle elementen. De auteurs geven aan dat er nog maar heel weinig onderzoek heeft plaatsgevonden aan nutriëntgehalten in groenten in de context van humane voeding. Gehalten zijn in het verleden wel bepaald als ze relevant zijn voor andere kwaliteitsaspecten (bijvoorbeeld Ca in tomaat of aardappel i.r.t. ziekten). Onderzoek aan verschillende rassen (Genc et al., 1999) laat ook verschillen zien in rassen wat betreft dergelijke antinutriënten en nutriënt promotors.

Onderzoek aan vele tarwerassen (Oury et al., 2006) laat weinig verschillen zien in Fe en Zn gehalten, maar laat wel grote verschillen in Mg gehalten. In een kleinere proef met 6 rassen op 4 verschillende bodems is een sterke positieve relatie tussen Mg gehalten in het graan en de Mg beschikbaarheid van de bodem. Het Mg gehalte in het graan wordt dus duidelijk door het genotype en de beschikbaarheid uit de bodem bepaald. In Nederland worden verschillende landbouwrassen vergeleken

(rassenbulletins) maar wordt zelden bekeken of het bemestingsadvies moet worden aangepast voor andere rassen. Paauw (2002) geeft aan dat bij aardappelen in Nederland vaak Mg gebrek wordt geconstateerd maar dat onvoldoende is uitgezocht welke rassen het meest gevoelig zijn en welke bemestingsvorm het beste werkt. De consequentie van bemesting voor het Ca gehalte in zetmeelaardappelen werd kortgeleden uitgezocht omdat het Ca gehalte duidelijk gerelateerd bleek aan de aardappelkwaliteit (Velvis en Zwart, 2001).

### Vermindering van voedselkwaliteit door gebruik van moderne landbouwgewassen?

Plantenrassen tonen variatie in hun gehalten aan nutriënten maar de vraag is of er tegenwoordig meer rassen gebruikt worden met lagere gehalten. Al lang geleden is aandacht gevraagd (Sheldon et al., 1948) om niet alleen te letten op hogere opbrengsten van moderne rassen maar ook voor de gehalten aan nutriënten en vitaminen. In het verleden is hier bij veredeling geen rekening mee gehouden (Graham et al., 1999). Er zijn veel studies die verschillen geven in gehalten van huidige rassen, en de potentie om voedselkwaliteit daarmee te verbeteren maar er zijn heel weinig studies (Vyn en Tollenaar, 1998; Graham et al., 1999; Garvin et al, 2006) die inzicht geven de ontwikkeling als functie van de tijd. Deze laatste studies wijzen op geen of geringe veranderingen in de gehalten aan micronutriënten als functie van het gebruik van meer moderne rassen.



Figuur 1 Gehalten aan ijzer en zink in verschillende tarwerassen als functie van hun jaartal van introductie (Garvin et al., 2006). Er was ook een afname in Se. Er was geen afname van koper.

Samenvattend kan gesteld worden dat de verandering van plantenrassen verantwoordelijk kan zijn voor een lichte verlaging van gehalten van enige nutriënten in landbouwgewassen.

## 6 Veranderingen in bodemkwaliteit

### 6.1 Veranderingen

Gehalten zware metalen in de bodem zijn de laatste 100 jaar gestegen. Een recente vergelijking tussen de boven – en de ondergrond in Nederland laat zien dat de gehalten in de bovengrond aan P, S, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn, Bi, Sb en Sn ongeveer een factor 2 hoger zijn dan in ondergrond. De gehalten in de bovengrond zijn lager dan de ondergrond bij Se (in lössgronden), Mg, en Ni (behalve rivierklei) (Van der Veer, 2006). De verschillen tussen de boven- en ondergrond suggereren een aanrijking of verlies aan stoffen.

Balansstudies geven aan dat in Nederland een sterke aanrijking heeft plaatsgevonden aan fosfaat en zware metalen (Cd, Pb, Cu en Zn) door dierlijke- en kunstmeststoffen en diffuse verontreiniging van industrie en transport (Smaling et al., 1999; Moolenaar en Lexmond, 1998; Van der Veer, 2006). Massabalansen van enige elementen zijn gemaakt op wereldschaal en laten grote stijgingen zien in de hoeveelheden geproduceerd Pb, Mo, Sb in de laatste 100 jaren (Krachler et al., 2005) welke terug te vinden zijn in het ijs. Het scenario voor N en P bemesting van Nederlandse landbouwgronden in de laatste 50 jaar is grofweg dat de stikstof- en fosfaatbemesting is gestegen (Overbeek et al., 2002). In Europa is het gebruik van N, P, en K meststoffen de laatste 20 jaar gestabiliseerd. In de Verenigde Staten is de stikstofinput tussen 1961 en 1997 verdubbeld waarbij het grootste deel van de stijging plaats vond tussen 1960 en 1970 (Howarth et al., 2002). In Oost-Europa is het gebruik van meststoffen drastisch gedaald. In veel natuurgebieden zijn de gehalten aan zware metalen en enige organische contaminanten door depositie vanuit de lucht verhoogd maar dat zegt niet veel over de gehalten in landbouwgebieden doordat in de landbouw ook een afvoer is van stoffen via de gewasproductie. Vandaar dat de eerder genoemde balansstudies de belangrijkste aanwijzing zijn dat in de laatste 50-100 jaar er een toename is geweest aan zware metalen, hoewel de depositie van Cd en Pb in Europa (Slootweg et al., 2005) de laatste decennia is gedaald.

Op maar weinig plaatsen is de bodemkwaliteit gedurende lange tijd gemonitord. In verschillende landen zijn echter wel lange termijn veldproeven. Een vergelijking tussen historische en huidige grondmonsters is gemaakt door Rothamsted en hieruit blijkt bijvoorbeeld een sterke toename in het Cd gehalte in de bodem onder invloed van fosfaatmeststoffen en atmosferische depositie, en een toename van de Cd gehalte in landbouwgewassen in de periode 1840-1980 (Rasmussen et al., 1998). In Groot-Brittannië wordt de bodemkwaliteit sinds 1971 gemonitord (pH, organische stof, nutriënten, contaminanten) en de resultaten suggereren een daling in de organische stofgehalten, pH, en fosfaat, weinig verandering bij magnesium en een toename in K (Bellamy et al., 2005; Oliver et al., 2006; Baxter et al., 2006). In Californië zijn 125 locaties herbemonsterd nadat ze tussen 1940 en 1950 waren bemonsterd (De Clerck, 2003). Dat onderzoek laat geen generieke veranderingen in pH, organische stof,



stikstof of zelfs fosfaat. In Nederland wordt de bodemkwaliteit sinds 1993 gemonitord (Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit). Grofweg kan gesteld worden dat veranderingen in bodemkwaliteit pas na ongeveer 10 à 20 jaar gemeten kunnen worden waardoor onderzoek over lange tijd moet plaatsvinden om veranderingen te kunnen monitoren.

Elementen die niet direct beïnvloed kunnen worden door bemesting zijn Fe en Mn, omdat deze elementen meestal ruim voorhanden zijn in bodems maar deels in de vorm van hydroxiden.

## **6.2 Effecten van specifieke bemesting op bodemkwaliteit**

Een veel geponeerde hypothese is dat een eenzijdige bemesting met alleen de macronutriënten stikstof, kalium en fosfaat zou kunnen leiden tot gebreksverschijnselen of tekorten aan nutriënten in voedsel (Mayer, 1997; Lyne en Barak, 2000; Davis et al., 2004). Deze hypothese is terug te vinden als stelling in populaire tijdschriften, kranten (de meeste artikelen in Bijlage 1 noemen het) en bepaalde wetenschappelijke artikelen (Lundegardh en Martensson, 2003). Deze op zich heel logische gedachte leidt er toe dat voor veel nutriënten het advies geldt om de hoeveelheden die je afvoert via de oogst steeds aan te vullen via bemesting. Dit is niet bij alle nutriënten relevant omdat de hoeveelheid die afgevoerd wordt uit de bodem door de oogst heel gering is. In veel gevallen komen via verwerking uit bodemmineralen nutriënten vrij en is enige aanvoer via de lucht. Tevens worden door veel fabrikanten aan kunstmeststoffen naast hun hoofdbestanddelen meestal nog micronutriënten toegevoegd, en bevatten ze micronutriënten als onzuiverheden (Bolland et al., 1992). Aan de andere kant treedt uitspoeling van nutriënten uit de bodem op richting diepere bodemlagen. In Nederland zijn de bemestingsadviezen niet alleen voor NPK maar ook voor de meeste andere nutriënten (afhankelijk van gewas voor B, Co, Cu, Mg, Mn, Na, S)(van Dijk, 2003).

Een ander aspect is dat in het verleden tekorten aan nutriënten zijn geconstateerd en zijn geïnventariseerd (Berger, 1962). Volgens Berger (1962) kwamen deze tekorten pas aan het licht door de hogere opbrengsten van de landbouwgewassen. Zo zijn tekorten aan Se in veevoedergewassen in de jaren zestig in de Verenigde Staten en later ook in Nieuw Zeeland, Australië en China geconstateerd en in kaart gebracht (Welch et al., 1991). De kaarten zijn gebruikt om additie van Se aan veevoer toe te staan. Vergelijkbare ontwikkelingen hebben plaatsgevonden na geconstateerde Zn tekorten in gewassen en vee, en tekorten aan molybdeen (Mo). De tekorten zijn verholpen deels door bemesting, door gewasbemesting en door additie aan veevoer. Het is te verwachten dat dit heeft geleid tot meer gewassen met voldoende gehalten aan nutriënten.

Er zijn in de wereld vele lange termijn bemestingsproeven met behandelingen waarin alleen kunstmeststoffen voor N, P en K wordt gegeven (bijvoorbeeld: Barak et al., 1997; Rasmussen et al., 1998; Johnston, 1997; Wanjari et al., 2004; Dong et al., 2006). In geen van deze reviews over lange termijnproeven wordt melding gemaakt van

gebrekverschijnselen aan micronutriënten. Dit is ook niet vreemd aangezien de gehalten die planten nodig hebben gering zijn ten opzichte van de totale voorraad in veel bodems. In Chinese lössbodem laat een langdurige bemestingsproef dalingen in totaalgehalten zien van enige micronutriënten maar zijn, door de bemesting en mogelijk iets lagere zuurgraad, de beschikbaarheden van de micronutriënten juist gestegen (Wei et al., 2006). Dit laat zien dat de toestand van de bodem (zuurgraad, organische stofgehalten etc.) belangrijker is voor de beschikbaarheid aan micronutriënten voor planten dan de totaalgehalten. In arme zandgronden, en in geval van specifieke elementen (vooral Se, I) kunnen wel tekorten zijn die toe te wijzen zijn aan lage totaalgehalten aan micronutriënten.

Doordat in Nederland veel dierlijke mest gebruikt wordt op het land, en de diervoeding afgestemd is op de behoefte van de dieren, bevat de dierlijke mest veel van de nutriënten die landbouwgewassen nodig hebben, en wordt in Nederland de bodem steeds aangevuld met micronutriënten. In de diervoeding wordt aangenomen dat de gehalten micronutriënten (Fe, Zn, Cu, Mn, Se, I, Co, Mo) in landbouwgewassen soms te laag zijn voor diervoeders, waardoor het in die gevallen nodig is om supplementen toe te voegen om te komen tot een volledige voeding. De zure zandgronden worden op de gewenste zuurgraad gehouden middels kalkmeststoffen waardoor de gehalten aan Ca en meestal ook Mg worden aangevuld.

In landen of regio's zonder veeteelt, zonder veel dierlijke mest, met intensieve teelten die veel kunstmest gebruiken, en relatief arme bodems zouden tekorten op kunnen treden aan micronutriënten. Vooral als het nutriënten betreft voor de humane voeding maar niet voor de planten (Se, I). Echter ook in een regio met veel arme zandgronden zoals in Florida is bemesting met micronutriënten in fruitteelt zo normaal dat het leidt tot verontreiniging van het oppervlaktewater met Cu en Zn in de buurt van fruittelers (Zhang et al., 2004).

### **6.3 Lessen uit verschillen tussen conventionele en biologische landbouw?**

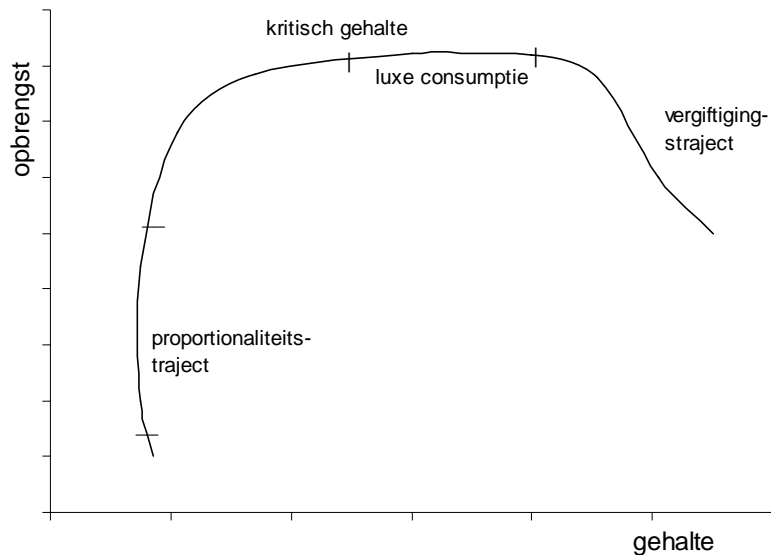
Een vergelijking tussen biologische landbouw en conventionele landbouw is interessant voor deze studie als we aannemen dat biologische landbouw overeenkomsten heeft met de landbouw uit de tijd dat er nog geen gewasbeschermingsmiddelen en kunstmest gebruikt werd. Die aanname is wat betreft de gebruikte gewasrassen, en wat betreft het gebruik van moderne productiemethoden (zaaien, oogsten, bewaren etc) niet correct, maar het effect van wel/geen kunstmest en gewasbeschermingsmiddelen wel. Interessant is dat in de laatste jaren veel vergelijkende onderzoeken zijn gedaan naar producten uit de biologische landbouw en conventionele landbouw. Uit deze onderzoeken (Worthington, 2001; Brandt en Molgaard, 2001; Heaton, 2002; Williams et al., 2002; Bourn en Prescott, 2002; Lundgardh en Martensson, 2003; Magkos et al, 2003;) komt naar voren dat het zeer moeilijk is om verschillen aan te wijzen bij nutriënten. Worthington (2001) geeft aan dat in biologische producten hogere gehalten aan

vitamine C, ijzer, magnesium, fosfaat en lagere gehalten aan nitraat zitten. Andere reviews geven aan dat geen significante effecten bepaald zijn (Bourn en Prescott, 2002; Williams, 2002) behalve voor nitraat. Relevant voor deze studie is om te zien dat zelfs als de resultaten van Worthington (2002) algemeen gelden (lagere gehalten van enige nutriënten) dat deze nutriënten niet overeenkomen met de nutriënten uit de historisch studies van Davis (2006), behalve ijzer. De vergelijking tussen historische en huidige gewassen, en die van biologische en conventionele landbouw geeft dus geen consistent beeld van de nutriënten die lagere gehalten hebben onder invloed van kunstmest en/of gewasbeschermingsmiddelen. Het vermoeden bestaat dat er wel verschillen zijn tussen biologische en conventionele producten wat betreft fytochemicaliën (Zhao et al., 2006) maar dit is nog niet aangetoond.

## 7 Relatie tussen bodem- en voedselkwaliteit

### 7.1 Nutriënten

De relatie tussen de opbrengst van een landbouwgewas en het gehalte van een nutriënt wordt vaak schematisch weergegeven als in Figuur 2.



*Figuur 2 Schematische verband tussen nutriëntgehalte in plant en de opbrengst van planten. Gehalten in het gewas in het proportionaliteitstraject noemen we deficiënt. Tussen deficiënt en het kritisch gehalte noemen we de gehalten adequaat. Gehalten waarbij een daling van de opbrengst optreedt noemen we toxisch.*

Uit de plantenvoedingsleer is bekend dat er wisselwerkingen optreden tussen nutriënten. Zo kunnen bijvoorbeeld verdunning- of concentreringseffecten optreden als interacties. Hierdoor kan de curve uit de bovenstaande figuur iets lager of hoger liggen. Bijvoorbeeld onder invloed van stikstof op de opbrengst-gehalte relaties van andere nutriënten (Findenegg en Jansen, 1989). Afhankelijk van andere factoren (bodemtype, klimaat, ras) kan de curve anders liggen. Belangrijk voor dit onderzoek is dat landbouwgewassen voor een goede groei bepaalde gehalten aan nutriënten hebben en dat zelfs de ratio's tussen nutriënten in bepaalde bereiken liggen (Bergman, 1992). Anders gezegd, over het algemeen geldt dat de gehalten aan nutriënten niet heel laag of heel hoog kunnen zijn.

Zoals te zien is in Tabel 6 is de variatie in de gehalten waarbij plantengroei adequaat is (een toestand die agrariërs zullen nastreven) relatief gering: grofweg zo'n factor 2. Bovendien hebben de gehalten bij verschillende gewassen dezelfde orde van grootte. Alleen calcium varieert sterk tussen mono- en dicotyle planten.

Tabel 6 Adequate nutriëntgehalten bij enige landbouwgewassen (Bergmann, 1992)

essentieel		tarwe	tomaat (blad)	appel (blad)
N	%	3-4.5	4-5.5	2.2-2.8
P		0.3-0.5	0.4-0.65	0.18-0.3
Mg		0.15-0.3	0.35-0.8	0.2-0.35
Ca		0.4-1	3-4	1.3-2.2
K		2.9-3.8	3-6	1.1-1.5
Mn	mg/kg ds	30-100	40-100	35-10
Cu		5-10	6-12	5-12
Zn		20-70	30-80	20-50
Mo		0.1-0.3	0.3-1	0.1-0.3
B		5-10	30-50	30-50

Tabel 7 Micronutriënt gehalten in landbouwgewassen en hun adequate gehalten (Welch, 1999)

	Plant species, part	Deficiënt	voldoende	toxisch
Fe	Soja (Glycine max (L.) Merrj, shoot	28—38	44—60	
	erwt (Pisum sativum U, leaf	14-76	1 00	>500
	Mais (Zea mays U, leaf	24—56	56—178	
	Tomaat (Lycopersicon esculentum Mill.), leaf	93—115	107—250	—
Mn	Soja (Glycine max (L.) Merrj, leaf	2—5	14-102	>300
	Aardappel (Solanum tuberosum U, leaf	7	40	
	Tomaat (Lycopersicon esculeritum Mill.), leaf	5—6	70—400	—
	Tarwe (Triticum aestivum U, shoot	4—10	75	>750
	Suikerbiet (Beta vulgar/s U, leaf	5—30	7—1700	>1200
Zn	aardappel (Solanum tuberosum L), leaf	<30	30—87	—
	Tomaat (Lycopersicon esculentum Mill.), leaf	9—15	65—200	>500
	Mais (Zea mays U, leaf	9—15	>15	—
	Haver (Avena sativa L.)	<20	>20	
	tarwe (Triticum aestivum U, shoot	<14	>20	>120
Cu	komkommer (Cucumis sativa L), leaf	<2	7—10	>10
	aardappel (Solanum tuberosum L.), shoot	<8	11—20	>20
	Tomaat (Lycopersicon esculentum Mill.), leaf	<5	8—15	>15
	Mais (Zea mays U, leaf	<2	6—20	>50
	tarwe (Triticum aestivum U, shoot	<2	5—10	>10
Ni	Soja (Glycine max (L.) Merr.), plant	<0.004	0.05—0.1	>50
	Erwt C Vigna unguiculata (L.) Walp)	<0.1	>0.1	—
	Gerst (Hordeum vulgare U, whole grain	<0.1	>0.1—0.25	—
	Oat (Avena sativa L.)	<0.2	>0.2	
B	Broccoli (Brassica olearaces LU), leaf	2—9	1 0—71	—
	aardappel (Solanum tuberosum U, leaf	<1 5	21—50	>50
	Tomaat (Lycopersicon esculentum Mill.), leaf	14-32	34—96	91-415
	mais (Zea maya U, shoot	<9	15—90	>100
	tarwe (Triticum aestivum L), straw	4.6—6.0	17	>34
Mo	Tomaat (Lycopersicon esculentum Mill.), leaf	0.13	0.68	>1000
	gerst (Hordeum vulgare U, shoot	—	0.03—0.07	
	broccoli (Brassica olearaces U, shoot	4	—	—
Cl	aardappel (Solanum tuberosum LV), leaf	210	2580	>5000
	Suikerbiet (Beta vulgaris L), leaf	40-100	>200	

In relatie tot dit onderzoek en de hypothese dat door een bepaalde verandering van de bodemkwaliteit er een verandering optreedt in de voedselkwaliteit kan dus gesteld worden dat een verandering dus zeer wel mogelijk is maar dat onwaarschijnlijk is dat de verandering van de gehalten aan nutriënten heel groot kan zijn. Over het algemeen leidt bemesting met de belangrijkste macronutriënten (NPK) tot een betere groei van planten (en ook plantwortels) en daardoor tot een betere opname van ook de andere nutriënten. Een toename van de gehalten aan macronutriënten in planten onder invloed van bemesting leidt daarom vaak, maar niet altijd tot hogere gehalten van andere nutriënten.

Het feit dat soms gehalten aan nutriënten dalen onder invloed van bemesting met andere nutriënten is verantwoordelijk voor de hypothese dat door een “onbalans” in de mestgiften van de moderne landbouw er grote veranderingen in de gehalten aan nutriënten optreden. Bekend is dat eenzijdig gebruik van veel stikstofmeststoffen kan leiden tot problemen in de plantengroei. Als de plantengroei door stikstof- of CO<sub>2</sub> bemesting (of een ander nutriënt) versneld wordt, en de opname door andere elementen niet gevolgd kan worden (bijvoorbeeld door een beperkte beschikbaarheid), dan neemt het gehalte van die andere elementen af. Zoals in hoofdstuk 6 is aangegeven is in Nederland de stikstof- en fosfaatbemesting in de laatste 50 jaar gestegen. Indien een verhoogde beschikbaarheid van stikstof of fosfaat leidt tot lagere nutriëntgehalten conform de eerder gevonden resultaten dan zou de hypothese dat er een “onbalans” is enige basis hebben.

De gevonden trends in landbouwgewassen uit hoofdstuk 2 worden in de onderstaande tekst besproken, en getoetst wordt of dergelijke trends te begrijpen zijn op basis van de verhoogde stikstof en fosfaatbemesting. Ehlert et al. (2006) vinden lagere (met name tarwe en aardappel) of gelijkblijvende fosfaatgehalten in landbouwgewassen. De onderzoeken aan de Britse en Amerikaanse voedingsmiddelentabellen wijzen niet of nauwelijks op veranderde P gehalten in gewassen.

In de literatuur zijn relatief weinig studies gevonden over specifieke effecten van stikstof, fosfaat of CO<sub>2</sub> (zie hoofdstuk 4) op gehalte aan nutriënten (met name die onderzocht zijn in de voedingsmiddelentabellen) in landbouwgewassen<sup>3</sup>. Enige studies worden hieronder kort aangehaald, niet om volledig te zijn maar om te laten zien dat er verschillende effecten zijn gevonden van N op P bemesting op nutriëntgehalten in landbouwgewassen en om te laten zien dat er niet een generieke verdunning optreedt onder invloed van bemesting met NPK meststoffen (Jarrel en Beverly, 1981). In veel situaties leidt fosfaatbemesting tot lagere Zn gehalten (Rengel et al., 1999). Tekorten aan Zn kunnen afhankelijk van de bodem nauwelijks tot goed gecorrigeerd via Zn bemesting. Kennis geaggregeerd in adviestabellen (Ehlert et al., 2006) geeft aan dat in meeste gevallen een licht verhoogd fosfaatgehalte in gewassen (aardappel, snijmaïs, gras) is te verwachten bij een optimale stikstofgifte (hoge opbrengst). Een studie over de effecten van N, K en P bemesting bij aardappel laat zien dat de P gehalten in aardappel alleen dalen door een tekort aan N, P of K en dat

---

<sup>3</sup> In het landbouwproduct, er is veel gemeten in bladeren om eventuele tekorten in gewas via tussentijdse bemesting te corrigeren.

bemesting van elke afzonderlijk (N, P of K) de P gehalten doet toenemen. (Jenkins en Mahmood, 2003). Hieruit volgt dat er dus onder invloed van N of K geen verdunning optreedt van de P gehalten in aardappel. Rengel et al (1999) geven aan dat de positieve correlatie tussen P en Mn, Zn, B, Cu en Fe in vooral graan er op wijst dat bemesting met fosfaat over het algemeen leidt tot hogere gehalten aan deze micronutriënten. Seneweera en Conroy (1997) vonden zoals eerder gezegd hogere Ca gehalten en lagere Zn en Fe gehalten in rijst onder invloed van verhoogde CO<sub>2</sub> gehalten en twee verschillende P gehalten. McGrath (1985) vond bij bemestingsproeven hogere opbrengsten van wintertarwe en een positieve relatie tussen opbrengst en gehalten aan Fe, Zn, Cu en S. Marr et al (1999) vonden bij stikstof bemestingsproeven bij rijst geen dalingen in macro- en micronutriënten (behalve B en Na in 1 jaar en Cu in een ander jaar). Bolland et al. (1993) vonden bij fosfaatbemesting op fosfaatarme bodems dat in tarwe, lupine en triticale de gehalten Ca, Mg, Zn en Fe niet veranderden, van K stegen en alleen Cu daalde. Feil en Fossati (1995) teelten tarwerassen op verschillende plaatsen en vonden een negatieve relatie tussen opbrengst en gehalten aan N, P, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu en een positieve relatie met gehalten aan eiwit en Ca. Feil et al. (2005) onderzochten de effecten van water regime en stikstofbemesting op vier maïsrassen en vonden geen effecten van water regime op nutriënten, en positieve (Mn) en negatieve relaties (Ca, Mn) tussen nutriënten onder invloed van verhoogde opbrengsten.

De verschillen tussen bovenstaande studies worden veroorzaakt doordat bepaalde nutriënten zorgen voor hogere opbrengsten en de hoeveelheid extra nutriënten op de gehalten op peil te houden niet in alle voldoende voorhanden zijn. Ze laten voor de gewassen aardappel en tarwe (waarvoor in Nederland een lichte daling zou kunnen zijn) zien dat het onwaarschijnlijk is dat de toegenomen bemesting zou hebben geleid tot een verdunning van de P gehalten in aardappel en tarwe. Andere verklaringen, zoals eerder genoemd: bijvoorbeeld een daling onder invloed van nieuwe rassen, liggen dan meer voor de hand.

De vergelijking tussen de historische en de huidige voedingsmiddelentabellen geven een daling van de Cu, Fe en Ca gehalten in groenten, en dalingen van Cu, Fe en K in fruit. Over het algemeen zijn de gehalten van veel nutriënten in landbouwgewassen (N, P, K, Mg, Ca, S, Zn, Mo, Ni, Se, Li, I) te beïnvloeden via bodemkwaliteit en bemesting maar de gehalten aan Fe, Cu, Mn, B, Cr, en V zijn nauwelijks te beïnvloeden via bemesting. Het ligt dus niet in de lijn van verwachting dat de afnemende trend van Fe en Cu in groenten en fruit beïnvloed zijn door een toename van bemesting (toename NPK, of “onbalans”).

Ondanks het geringe of afwezige effect van bemesting op de Cu en Fe gehalten in gewassen, laten proeven met identieke plantenrassen in verschillende bodems aanzienlijke verschillen zien in Cu gehalten in tarwe (Garvin et al., 2006) maar weinig verschillen in Fe gehalten (Oury et al., 2006). In kalkrijke bodems hebben verschillende bemestingsniveau's geen invloed op de beschikbaarheid van Cu (Wei et al., 2006). De gehalten aan Cu in gewassen kunnen bij lage beschikbaarheden in de bodem door bemesting met Cu licht verhoogd worden. Aangezien onder invloed van bemesting de gehalten aan Cu in de meeste bodems gestegen zullen zijn is het

onwaarschijnlijk dat de Cu gehalten in gewassen zijn gedaald door een achteruitgang van de bodemkwaliteit.

Van alle micronutriënten met tekorten zijn ijzertekorten in landbouwgewas het meest wijdverspreid en meest voorkomend (Sharma, 1996). Fe tekorten in landbouwgewassen zijn deels gerelateerd aan de bodemkwaliteit: hoge pH (Graham et al., 1999; Grauber en Kosegarten, 2002; Mengel en Geurtzen, 1988), weinig organische stof (Paul en Clark, 1996), en een lichte textuur. Enige verzuring van kalkrijke bodems is voor de gehalten aan Fe in bijvoorbeeld gevoelige rijstrassen dan ook gunstig (Graham et al., 1999). Het licht niet voor de hand dat de hier genoemde oorzaken verantwoordelijk zijn voor de geconstateerde daling in de Fe gehalten. De eerder genoemde oorzaken: verschillen tussen rassen en verschillen in bemonstering- en analysemethoden liggen meer voor de hand. Voor de volledigheid dient gezegd te worden dat tekorten aan Fe in bladeren kunnen ontstaan als de stikstof welke een plant opneemt voornamelijk bestaat uit nitraat (Kosegarten et al., 2001).

#### **Relevantie van seleen in bodems voor voedselkwaliteit**

In Groot-Brittannië is de inname van seleen door mensen van 60  $\mu\text{g dag}^{-1}$  in 1970 gedaald tot 29 à 39  $\mu\text{g dag}^{-1}$  in 1995. Dat is laag en specifiek risicovol voor vegetariërs. Deze halvering wordt in belangrijke mate veroorzaakt doordat steeds minder Amerikaans tarwe, met ongeveer 10 keer zo hoge seleengehalten dan Engels tarwe, en steeds meer Engels tarwe gebruikt wordt in brood en tarweproducten. De seleengehalten in Engels tarwe zijn overigens in de periode 1982-1998 niet significant veranderd ondanks een daling van de depositie (Adams et al., 2002).

- Hoe de relatie tussen bodemkwaliteit en de kwaliteit van gewassen positief te gebruiken?

Zoals eerder gezegd, een aantal voor de mens relevante nutriënten in planten kan via bemesting van de bodem beïnvloedt worden. Bemestingsadviezen zijn gebaseerd op opbrengst en de kwaliteit van gewassen. De kwaliteit van de gewassen kunnen per gewas sterk verschillen (bijvoorbeeld bij tarwe: kwaliteit bakken). Onder kwaliteit wordt pas sinds kort ook de gehalten aan nutriënten bedoeld (vooral de nutriënten waarbij gewassen een relevante bijdrage leveren aan de totale inname bij de mens: Mg, Fe, Zn, en er tekorten zijn geconstateerd). In proeven waarbij bepaalde gewasrassen op verschillende bodems zijn geteeld hebben gewassen vaak verschillende gehalten aan nutriënten (Garvin et al. 2005, Oury et al. 2006, Graham et al., 1999). Er is voor een aantal nutriënten bekend dat gehalten variëren in gewassen op verschillende bodems (Welch et al., 1991) en gehalten in grond en gewassen dusdanig is dat er problemen kunnen zijn bij landbouwhuisdieren (Thornton, 2002). Het betreft dan elementen waarvoor management en/of bemesting niet eenvoudig leidt tot hogere gehalten (Fe), elementen die niet noodzakelijk zijn voor planten (Se, I, Co) en daardoor minder opvallen, en interacties tussen stoffen (effect Mo, S en Se in voer op Cu opname in maag), en contaminanten (Cd, Pb, Zn).



In de wereld komen regio's voor met relatief hoge gehalten aan B, Mo, Se (veel Mo in kleibodems in Engeland; veel Se in midden van de VS en weinig aan de west en oostkust van de VS). De gehalten aan B, Mo en Se in Nederlandse bodems zijn recentelijk bepaald (Van der Veer, 2006) en de gehalten zijn relatief laag maar niet zo laag als in Scandinavië waar Se bemesting wordt geadviseerd. Zoals bovenstaand voorbeeld uit Groot-Brittannië (meer Se in Amerikaans tarwe dan Engels tarwe) laat zien is het voor Se zinvol om eten uit verschillende regionen te halen.

Van een beperkt aantal elementen kan het gehalte in een gewas sterk verschillen onder invloed van de bodems waar de planten groeien. Dit geldt met name voor seleen (Hartikainen, 2005). Seleen is voor planten waarschijnlijk geen nutriënt, maar is voor mens en dier wel. Omdat seleen niet gereguleerd wordt door de plant hangt de opname onder andere sterk af van de aanvoer vanuit de bodem. De bodemkwaliteit, in dit geval het seleengehalte in het bodemvocht, heeft een directe invloed op de gewaskwaliteit (lees seleengehalte). Onder invloed van bemesting kan het gehalten aan seleen in landbouwgewassen verhoogd worden. Daarmee is seleen het meest eenvoudige voorbeeld van een stof waarin de bodemkwaliteit heel relevant is voor de voedselkwaliteit die niet vanzelfsprekend goed is omdat de gewassen een goede opbrengst hebben.

## 7.2 Fytochemicaliën

Bij een optimale bemesting van landbouwgewassen kan verondersteld worden dat er voldoende eiwitten, koolhydraten en vitaminen gevormd in de planten. Zoals in de vorige paragraaf beschreven is dat niet altijd het geval voor humane micronutriënten (Se, I, Zn). Gehalten aan fytochemicaliën variëren binnen plantensoorten en variëren gedurende de rijping van fruit, tijdens bewaren, groei- en oogsttijd, en andere factoren. Effecten van de bodemkwaliteit, laat staan een eventuele achteruitgang in de bodemkwaliteit, op de gehalten aan fytochemicaliën zijn weinig of niet onderzocht (Zhao et al., 2006).

*Tabel 8 Onderzoeken naar effecten van bodemkwaliteit op enige fytochemicaliën en vitaminen*

bemesting/management	betreft effect op	effect	referentie
tekorten aan N, P, Fe	Fenolen	toename oiv stress	Dixon en Paiva, 1995
toename N	Fenolen	daling	Bourn en Prescott, 2002
toename N	caroteen en thiamine in fruit en groente vitamine C	toename toe- of afname	Mozafar 1993
zoutstress	Caroteen in tomaat	toename	Leonardi et al., 2000
S	glucosinolaten	geen effect	Valleji et al., 2003
tekort aan K	lycopeen in tomaat	afname	Dumas et al., 2003
toename aan Ca en NO <sub>3</sub>	lycopeen en caroteen in peper fenolen	toename geen effect	Flores et al., 2004
bodemtype	Caroteen	verschillen	Olivera, 2003
Bemesting met K, P, S, of B	isoflavone	Geen effect	Sequin and Zheng, 2006

Het beperkte aantal laat zien dat er niet een eenduidig effect is te verwachten onder invloed van de in hoofdstuk 6 genoemde toename in stikstof en fosfaatbemesting in de laatste 50 jaren. Naast de effecten op nutriënten en fytochemicaliën kunnen ook effecten optreden op stoffen die de biobeschikbaarheid in menselijke darmen verhogen of verlagen.

### **7.3 Andere relaties tussen bodem- en voedselkwaliteit**

Naast de invloed van nutriënten in de bodem op de nutriëntgehalten in de landbouwgewassen, en de invloed die deze stoffen op elkaar hebben, zijn nog een aantal bodemparameters relevant: bodemleven, organische stof en organische zuren. Organische stof kan de beschikbaarheid van Fe voor landbouwgewassen beïnvloeden doordat onder andere na afbraak van organische stof fulvozuren ontstaan die de beschikbaarheid van Fe kunnen verhogen (Rengel et al., 1999). Vooral buiten Nederland, in bodems met wisselende grondwaterstanden, zoals natte rijstvelden, wordt de beschikbaarheid van Fe beïnvloed door macrochemische omstandigheden. De aanwezigheid van voldoende organische stof geeft na afbraak niet alleen voor planten beschikbaar N maar ook andere nutriënten zoals voldoende S (Eriksen en Mortensen, 2002).

Bodemorganische stof kan in vele sub- en tropische landen alleen maar op peil gehouden worden met dierlijke mest of door onderwerken van gewasresiduen. Een optimale bemesting met alleen kunstmest leidt in die landen op den duur tot lagere bodemorganische stofgehalten (Rasmussen et al., 1998). Dit gaat vaak in tegen het huidige landgebruik waarin plantenresiduen gebruikt worden voor diervoeding of als brandstof. In gematigde streken is gebleken dat in veel gevallen met optimale kunstmestgiften de resten van plantenwortels en exudaten voldoende zijn om bodemorganische gehalten in stand te houden.

Bodemorganismen die in contact staan met plantenwortels induceren waarschijnlijk effecten bij planten, bijvoorbeeld: stoffen die bescherming bieden tegen plantenetters. Recente studies (Wurst et al., 2006) geven aan dat de gehalten aan glucoraphanin in bovengrondse delen van broccoli lager zijn onder invloed van regenwormen.

Gewasbeschermingsmiddelen hebben volgens enige onderzoeken effecten op de uiteindelijke samenstelling van plantaardige producten (Lundegardh en Martensson, 2003). Het aanmaken van bepaalde stoffen gebeurt als een bescherming tegen belagers van planten.

Samenvattend kan op basis van dit en het vorige hoofdstuk gesteld worden dat het onwaarschijnlijk is dat een verandering van de bodemkwaliteit verantwoordelijk is voor een verlaging van de gehalten van nutriënten in landbouwgewassen.

## 8 Conclusies

Gehalten in voedsel: vroeger en nu.

- Relevante dalingen in gehalten aan nutriënten zijn beperkt tot vergelijkende studies van Amerikaanse en Engelse voedingsmiddelentabellen. Onderzocht zijn K, Ca, Mg, Fe, Cu, Na, Cl, P in huidige tabellen en tabellen uit de jaren dertig en vijftig. Significante dalingen zijn geconstateerd in Groot-Brittannië Cu, Fe en Mg in groenten en Cu, Fe en K in fruit (1930 versus 1980), en in de Verenigde Staten bij Ca, Cu en Fe in groenten en Cu, Fe en K in fruit (1930 versus 1980). Echter de data die in deze tabellen zijn voor een ander doeleind verzameld en eigenlijk niet geschikt om een verandering van gehalten aan nutriënten te bepalen. In Denemarken is het voedsel in de periode tussen nu en 1983 gemonitord en zijn tot nu toe geen veranderingen geconstateerd behalve een daling in Cd en Pb in bepaalde groenten. In vrijwel dezelfde periode is in Engels graan een daling aan S geconstateerd als gevolg van een daling van de luchtverontreiniging. Een vergelijking tussen Australische, en Brits/Amerikaanse tarwe uit de jaren dertiger en de negentig laat geen verschillen zien in Australische tarwe en lagere gehalten bij Britse/Amerikaans tarwe. In Nederland zijn van een aantal landbouwgewassen de P gehalten verzameld en zijn lagere P gehalten gevonden bij meer recente analyses aan aardappel en tarwe.

veranderde methoden

- De vele methodische problemen bij het vergelijken van historisch en recente gegevens maken het niet mogelijk om achteraf bepaalde gegevens opnieuw te beoordelen. De constatering dat voor sommige elementen en gewassen er geen veranderingen optreden geeft vertrouwen in de kwaliteit van de metingen behalve bij Fe. De bepaling van Fe in gewasmonsters kan sterk worden beïnvloed door contaminatie met grond.

nieuwe rassen

- In een beperkt aantal studies is de rol van het introduceren van nieuwe cultivars onderzocht. De studies wijzen bij tarwe in het midden van de Verenigde Staten op geen (Cu) of geringe dalingen (Fe, Zn). Geringe dalingen zijn ook bij P, Fe en Zn in Mexicaanse tarwe geconstateerd. Bij maïs in Canada zijn dalingen in Mg, Cu, Mn, en Se maar geen veranderingen bij Ca, K, en Zn. Kennis van de variatie van nutriëntengehalten in landbouwgewassen is gering maar wijst op verschillen tussen minimum en maximum van een factor 2 a 3 voor veel elementen.

Veranderde bodemkwaliteit

- De invloed van de veranderde bodemkwaliteit op de kwaliteit van de landbouwgewassen is als zodanig zelden onderzocht. De dalingen in Fe, Cu, Ca, K in landbouwgewassen corresponderen niet met veranderingen van hun

gehalten in de bodem en wijzen dus niet direct op een bepaald tekort in de bodembemesting. Indirect is wel een effect mogelijk door verdunning van de gehalten als gevolg van hogere opbrengsten welke gerelateerd zijn door nieuwe rassen, bemesting en gewasbescherming. Dit is echter niet het geval voor Cu en Fe omdat de gehalten hiervan weinig of nauwelijks aan te passen zijn via bemesting. Dalingen van Ca of K zijn mogelijk als ze te weinig bemest zijn. Op grond van ervaringen in bemestingsproeven met N, P is niet te verwachten dat de gehalten aan Ca en K in landbouwgewassen zijn gedaald onder invloed van de toegenomen bemesting van N en P in de laatste 50-70 jaren of door een toegenomen CO<sub>2</sub> gehalte in de lucht. Het is niet bekend of Ca en K minder bemest worden.

Samenvattend kan gesteld worden dat de stelling dat de gehalten aan nutriënten dalen niet algemeen geldig is. De constatering dat het nutriëntgehalte is gedaald (Ca, Cu, Fe, K) in een bepaalde gewasgroepen vraagt om een logische verklaring. De hypothese dat nieuwe plantenrassen verantwoordelijk zijn voor dalende gehalten in nutriënten is voor een beperkt aantal nutriënten en gewassen bevestigd<sup>4</sup>. De hypothese dat een veranderde bodemkwaliteit verantwoordelijk is voor de geconstateerde daling in de gehalten van een aantal nutriënten is niet goed te toetsen maar is voor Fe en Cu niet te verwachten op grond van het geringe effect dat bemesting heeft op deze nutriënten, en op grond van de toename in de Cu gehalten in veel landbouwbodems.

### **Aanknopingspunten voor onderzoek en beleid**

- Vergelijkend onderzoek aan historische en de huidige landbouwgewassen in Nederland. Dit kan duidelijk maken of de huidige rassen significant lagere gehalten hebben en dit een goede verklaring is voor de geconstateerde daling van een aantal elementen.
- De relatie tussen landbouwpraktijk en de voedselkwaliteit (hier: gehalten aan nutriënten) kan verbeterd worden. Op dit moment wordt weinig rekening gehouden met de gehalten aan nutriënten in de context van de humane voeding (behalve in de vergelijking tussen conventionele en biologische landbouw). Initiatieven zijn hierbij nodig omdat de consument niet uit zich zelf zal vragen om bijvoorbeeld groenten met hogere gehalten aan nutriënten.
- De huidige monitoren van landbouwgewassen op contaminanten uitbreiden met analyse van nutriënten zodat in de toekomst snel duidelijk is of de kwaliteit significant verandert.
- De gegevens bij de NEVO en de gegevens bij de WUR maken het mogelijk om beter inzicht te krijgen in de eventuele veranderingen in Nederlandse

---

<sup>4</sup> De opbrengst is veel sterker gestegen dan de beperkte daling van enkele elementen zodat de gewassen een zeer belangrijke bijdrage hebben geleverd aan de voeding.

landbouwgewassen (de studie van Ehlert et al., 2006 kan uitgebreid worden voor meer dan alleen P).

- Onderzoek in huidige rassenbulletins uitbreiden met gehalten aan nutriënten. Bij een aantal gewassen zal het dan mogelijk zijn om een ras te kiezen met relatief hoge gehalten aan nutriënten. Het kan relevant zijn om het onderzoek aan rassen uit te breiden met bemestingsproeven omdat lage gehalten eventueel via bemesting aangepast kunnen worden.
- Bemestingsadviezen voor gewassen voor humane consumptie onderzoeken en eventueel aanpassen om tot hogere gehalten aan nutriënten te komen. Bij diervoedergewassen wordt in de adviezen voor specifieke nutriënten rekening gehouden met de nutriëntgehalten. Bemesting is voor een aantal nutriënten een goedkope manier om de nutriëntgehalten te verbeteren.

## Literatuur

Adams, M.L., E. Lombi, F.J. Zhao, S.P. McGrath (2002) Evidence of low selenium concentrations in UK bread-making wheat grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82, 1160-1165.

Arts I.C.W., P.C.H. Hollman (2005) Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. *American Journal of Clinical Nutrition* 81 (1) 317S-325S.

Barak, P. Babou O. Jobe, A.R. Krueger, L.A. Peterson en D.A. Laird (1997) Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin. *Plant and Soil* 197, 61–69.

Batten, G.D. (1994). Concentrations of elements in wheat grains grown in Australia, North America, and the United Kingdom. *Aust. J. Exp. Agric.* 34, 51-56.

Baxter SJ, Oliver MA, en Archer JR (2006) The Representative Soil Sampling Scheme of England and Wales: the spatial variation of topsoil nutrient status and pH between 1971 and 2001. *Soil Use and Management* 22 (4): 383-392.

Bellamy, P.H., P.J. Loveland, R.I. Bradley, R.M. Lark, en G.J.D. Kirk (2005) Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. *Nature* 437, 245-248.

Benton Jones Jr, J. (1991) Plant Tissue analysis in micronutriënten. In: *Micronutriënten in Agriculture*, 2<sup>e</sup> ed. Ed.: JJ.Mortvedt, FR Cox, LM Shuman en RM Welch, Soil Science Society of America, Inc, Madison, USA.

Berger, K.C. (1962) Micronutriënt deficiencies in the United States. *Agric. Food Chem.* 10, 178-181.

Bergmann, W. (1992) Nutritional disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis. Fischer-Verlag, Jena, Duitsland.

Bloom A.J. (2006) Rising carbon dioxide concentrations and the future of crop production. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86 (9): 1289-1291.

Bolland, M.D.A., R.J. Jarvis, P. Coates, D.J Harris (1993) Effect of phosphate fertilizers on the elemental composition of seed of wheat, lupin, and triticale. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24, 1991-2014.

Bourn, D. en J. Prescott. (2002) A comparison of the nutritional value, sensory qualities, and food safety of organically and conventionally produced foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 42:1–34.

- Dadswell, I.W. (1935) Some observation on the inorganic composition of wheat grown in eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Biology and Medical Science* 13, 33-42.
- Davis, D.R., M.D. Epp, and H.D. Riordan (2004) Changes in USDA Food Composition Data for 43 Garden Crops, 1950 to 1999. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 23, No. 6, 669–682.
- Davis, D.R. (2006) Commentary on: “Historical variation in the mineral composition of edible horticultural products”. [White, P.J. en M.R. Broadley (2005) *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 80 (6) 660–667] *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 81 (3) 553-555.
- De Clerck, F., M.J. Singer en P. Lindert (2003) A 60-year history of California soil quality using paired samples. *Geoderma* 114, 215-230.
- De la Puente L.S., P.P. Perez, R. Martinez-Carrasco, R.M. Morcuende, I.M.M. Del Molino (2000) Action of elevated CO<sub>2</sub> and high temperatures on the mineral chemical composition of two varieties of wheat *Agrochimica* 44 (5-6): 221-230.
- Dixon, R.A. en N.L. Paiva (1995) Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell* 7:1085–1097.
- Dumas, Y., M. Dadomo, G. Di Lucca, en P. Grolier (2003) Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J. Sci. Food Agr.* 83:369–382.
- Ehlert, P.A.I., J.C. van Middelkoop en P.H.M. Dekker (2006). Actualisatie van fosforgehalten en fosfaatafvoercijfers van landbouwgewassen. *Alterra rapport 1348*, Wageningen.
- Ehlert, P.A.I., E.E.J.M. Leeters en A.F.M. Oltshoorn (2002) Integratie en operationalisatie van strategische archieven binnen Alterra, TAGA-, BIS-, en Dorschkamparchieff; een definitiestudie. *Alterra-rapport 485*, Wageningen.
- Eichholzer, M. (2003) Micronutriënt deficiencies in Switzerland: causes and consequences. *Journal of Food Engineering* 56, 171-179.
- Estiarte M, J. Penuelas, B.A. Kimball., D.L. Hendrix, P.J. Pinter, G.W. Wall, R.L. LaMorte, D.J. Hunsaker (1999) Free-air CO<sub>2</sub> enrichment of wheat: leaf flavonoid concentration throughout the growth cycle. *Physiologia Plantarum* 105 (3): 423-433.
- EU (2003) IP/04/454. Hoogste score op de schaal van het consumentenvertrouwen gaat naar groenten en fruit; de laagste naar “junk food”. IP/04/454
- Eriksen, J. en J.V. Mortensen (2002) Effects of timing of sulphur application on yield, S-uptake and quality of barley. *Plant and Soil* 242: 283–289.

Evenson, R.E. en D. Gollin (2003) Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960-2000. *Science* 300, 758-762.

Fangmeier A., L. DeTemmerman, L. Mortensen, K. Kemp, J. Burke, R. Mitchell, M. van Oijen, H.J. Weigel (1999) Effects on nutrients and on grain quality in spring wheat crops grown under elevated CO<sub>2</sub> concentrations and stress conditions in the European, multiple-site experiment 'ESPACE-wheat'. *Eur. J. Agron.* 10, 215–229.

Feil, B. en D. Fossati (1995) Mineral-composition of triticale grains as related to grain-yield and grain protein. *Crop Science* 35 (5): 1426-1431.

Feil, B., S. B. Moser, S. Jampatong en P. Stamp (2005) Mineral Composition of the Grains of Tropical Maize Varieties as Affected by Pre-Anthesis Drought and Rate of Nitrogen Fertilization. *Crop Science* 45, 516-523.

Findenegg G.R. en B.H. Jansen (1989) *Plantevoeding en bemesting*. Colledgeictaat Landbouwniversiteit Wageningen.

Garvin, D.F., R.M. Welch en J.W. Finley (2006) Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86, 2213-2220.

Genc, Y., J.M. Humphries, G.H. Lyons, R.D. Graham (2005) Exploiting genotypic variation in plant nutrient accumulation to alleviate micronutrient deficiency in populations. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 18, 319 –324.

Graham, R.D., M. Welch en H.E. Bouis (2001) Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps. *Advances in Agronomy* 70, 77-142.

Greenfield, H. en D.A.T. Southgate (2003) *Food composition data. Production, management and use*. 2<sup>ed</sup>. FAO, Rome.

Gruber B, Kosegarten H (2002) Depressed growth of non-chlorotic vine grown in calcareous soil is an iron deficiency symptom prior to leaf chlorosis. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165 (1): 111-117.

Hartog, C. Den., en anderen. (1951) *De Nederlandse Voedingsmiddelentabel*. Voeding 12, 194-207.

Hartog, C. Den. (1955) *Nederlandse Voedingsmiddelentabel*. Uitgave van het voorlichtingsbureau van de voedingsraad, 14<sup>e</sup> druk, Rotterdam.

Hartikainen, H. (2005) Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 18, 309-318.



Heaton, S. (2002) Organic farming, food quality and human health. A review of the evidence. U.K. Soil Assn., Bristol, U.K.

Jarrel, W.M. en R.B. Beverly (1981) The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy* 34, 197-224.

Jenkins, P.D. en S. Mahmood (2003) Dry matter production and partitioning in potato plants subjected to combined deficiencies of nitrogen, phosphorus and potassium. *Ann. appl. Biol.* 143, 215-229.

Jiang, D., H. Hengsdijk, T.B. Dai, W. de Boer, Q. Jing and W.X. Cao (2006) Long-Term Effects of Manure and Inorganic Fertilizers on Yield and Soil Fertility for a Winter Wheat-Maize System in Jiangsu, China. *Pedosphere* 16(1) 25-32.

Johnston, E. (1997) The value of long term field experiments in agricultural, ecological and environmental research. *Advances in Agronomy* 59, 291-333.

Howarth RW, E.W. Boyer, W.J. Pabich, J.N. Galloway (2002) Nitrogen Use in the United States from 1961–2000 and Potential Future Trends. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 31 (2) 88–96.

Hulshof K.F.A.M., M.C. Ocke, C.T.M. van Rossum, E.J.M. Buurma-Rethans, H.A.M. Brants, J.J.M.M. Drijvers, D. ter Doest (2004) Resultaten van de voedselconsumptiepeiling 2003. RIVM rapport 350030002, Bilthoven.

Hulshof K.F.A.M. en M.C. Ocké (2005) Voedselconsumptiepeiling 2003: onderzoek bij jongvolwassen Nederlanders. Focus op macrovoedingsstoffen. *Ned Tijdschr Klin Chem Labgeneesk* 2005; 30: 185-191

Kimball BA, Kobayashi K, Bindi M (2002) Responses of agricultural crops to free-air CO<sub>2</sub> enrichment. *Advances in Agronomy* 77: 293-368.

Krachler, M. J. Zheng, R. Koerner, C. Zdanowicz, D. Fisher, en W. Shotyk (2005) Increasing atmospheric antimony contamination in the northern hemisphere: snow and ice evidence from Devon Island, Arctic Canada. *J. Environ. Monit.*, 2005, 7, 1169–1176

Kosegarten H, B. Hoffmann en K. Mengel (2001) The paramount influence of nitrate in increasing apoplastic pH of young sunflower leaves to induce Fe deficiency chlorosis, and the re-greening effect brought about by acidic foliar sprays *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 164 (2): 155-163.

Larsen, E.H., N. L. Andersen, A. Moller, A. Petersen, G. K. Mortensen en J. Petersen (2002) Monitoring the content and intake of trace elements from food in Denmark. *Food Additives and Contaminants* 19 (1) 33-46.

- Leth T., P. Knuthsen en E. Huusfeldt Larsen (2001) Food Monitoring, 1993-1997. Ministry of Food, Agriculture and Fisheries.
- Lieffering M., H.Y. Kim, K. Kobayashi, M. Okada (2004) The impact of elevated CO<sub>2</sub> on the elemental concentrations of field-grown rice grains. *Field Crops Research* 88 (2-3): 279-286.
- Loladze, I. (2002) Rising atmospheric CO<sub>2</sub> and human nutrition: toward globally imbalanced plant stoichiometry. *Trends in Ecology & Evolution* 17(10) 457-461.
- Lyne, J.W. en P. Barak (2000) Are depleted soils causing a reduction in the mineral content of food crops? Poster at the 2000 annual meetings of the ASA/CSSA/SSSA, nov 5-9, 2000, Minneapolis MN.
- Lundegardh B, en A. Martensson (2003) Organically produced plant foods - Evidence of health benefits. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* 53 (1): 3-15.
- Marr, K. M., G. D. Batten en L. G. Lewin (1999) The effect of nitrogen fertiliser on yield, nitrogen and mineral elements in Australian brown rice. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 39, 873-880.
- Mengel K, Geurtzen G (1988) Relationship between iron chlorosis and alkalinity in *zea-mays*. *Physiologia Plantarum* 72 (3): 460-465.
- McCance, R.A. & Widdowson E.M., 1991. *The Composition of Foods*. 1st ed. Medical Research Council. 1940. 5th ed. Ministry of Agriculture, Fisheries and Foods and the Royal Society of Chemistry.
- Mayer, A.M. (1997) Historical changes in the mineral content of fruits and vegetables. *British Food Journal* 99(6) 207-211.
- Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants* - 2nd ed. Academic Press, London.
- Magkos, F., F. Arvaniti, en A. Zampelas (2003). Organic food: nutritious food or food for thought? A review of the evidence. *Intl. J. Food Sci. Nutr.* 54:357-371.
- Manderscheid R., Bender, J., Jager, H.J., Weigel, H.J. (1995) Effects of Season Long CO<sub>2</sub> Enrichment on Cereals. II. Nutrient concentrations and grain quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 54, 175-185.
- McGrath, S.P. (1985) The effects of increasing yields on the macro- and microelement concentrations and offtakes in the grain of winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36 (11) 1073-1083.

- Mithen, R.F., M. Dekker, R. Verkerk, S. Rabot en I.T Johnson (2000) Review. The nutritional significance, biosynthesis and bioavailability of glucosinolates in human foods. *J Sci Food Agric* 80:967-984.
- Monasterio I.; Graham R.D.(2000) Breeding for trace minerals in wheat. *Food and Nutrition Bulletin*. 21 (4) 392-396.
- Moolenaar, S.W., T.M. Lexmond T.M. (1998) Heavy-metal balances of agroecosystems in the Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 46 (2) 171-192.
- Mozafar, A. (1993) Nitrogen fertilizers and the amount of vitamins in plants: A review. *J. Plant Nutr.* 16:2479–2506
- Oliver, M. A., J. R. Archer, S. J. Baxter, A. D. Todd, en R. J. Skinner (2006) The Representative Soil Sampling Scheme of England and Wales: a statistical analysis of topsoil nutrient status and pH between 1971 and 2001. *Soil Use and Management* 22 (4), 372–382.
- Oury FX, Leenhardt F, Remesy C, E. Chanliaud, B. Duperrier, F. Balfourier , G. Charmet (2006) Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentrations in bread wheat *Europ. J. Agronomy* 25, 177–185
- Overbeek, G.B.J., A.H.W. Beusen, P.C.M. Boers, G.J. van den Born, P. Groenendijk, J.J.M. van Grinsven, T. Kroon, H.G. van der Meer, H.P. Oosterom, P.J.T.M. van Puijenbroek, J. Roelsma, C.W.J. Roest, R. Rötter, A. Tiktak en S. van Tol (2002) Plausibiliteitsdocument STONE 2.0 Globale verkenning van de plausibiliteit van het model STONE versie 2.0 voor de modellering van uit- en afspoeling van N en P. RIVM rapport 718501001, Bilthoven
- Paauw, J.G.M (2002) Het belang van magnesium-, mangaan- en zwavelbemesting. In de akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*. Projectnr. 1125238, Lelystad.
- Penuelas, J., M. Estiarte, and B.A. Kimball (1999). Phenolic compound responses to elevated CO<sub>2</sub>: Green versus senescent leaves. *Photosynthetica* 37, 615–619.
- Rasmussen, P.E. K.W.T.Goulding, J.R. Brown, P.R. Grace, H.H. Janzen, M. Korschens (1998) Long-term Agroecosystem Experiments: Assessing Agricultural Sustainability and Global Change. *Science* 282, 893-896.
- Rengel, Z., G.D. Batten en D.E. Crowley (1999) Agronomic approaches for improving the micronutriënt density in edible portions of field crops. *Field Crops Research* 60, 27-40.
- Sanchez, P.A. en M.S. Swaminathan (2005) Cutting World Hunger in half. *Science* 307, 357-359

Sheldon, V.L., W.G. Blue en W.A. Albrecht (1948) Diversity of amino acids in legumes according to the soil fertility. *Science* 108, 426-428.

Seneweera, S.P. en J.P. Conroy (1997) Growth, grain yield and quality of rice (*Oryza sativa* L.) in response to elevated CO<sub>2</sub> and phosphorus nutrition. *Soil Sci. Plant Nutr.* 43, 1131–1136.

Seguin, P. en W. Zheng, W. (2006) Potassium, phosphorus, sulfur, and boron fertilization effects on soybean isoflavone content and other seed characteristics. *Journal of Plant Nutrition* 29 (4) 681-698.

Sharma, C.P. (2006) *Plant micronutriënts*. Science Publishers, Enfield, NH, USA.

Slootweg, J., J.P. Hettelingh, M. Posch, S. Dutchak, I. Ilyin (2005) Critical Loads of Cadmium, Lead and Mercury in Europe. Report 259101015/2005. ISBN: 90-6960-119-2. ICP M&M Coordination Center for Effects & EMEP – Meteorological Synthesizing Centre – East.

Smaling, E.M.A., O. Oenema, L.O. Fresco (1999) Epilogue p295-313. In: Smaling, E.M.A., O. Oenema, L.O. Fresco (eds) *Nutriënt disequilibria in Agrosystems*, CAB International, Wallingford.

Terao T, Miura S, Yanagihara T, Hirose T, Nagata K, Tabuchi H, Kim HY, Lieffering M, Okada M, Kobayashi K. (2005) Influence of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) on the eating quality of rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85 (11): 1861-1868.

Thornton, I. (2002) Geochemistry and the mineral nutrition of agricultural livestock and wildlife. *Applied Geochemistry* 17, 1017–1028.

Vyn, T.J., and M. Tollenaar (1998) Changes in chemical and physical quality parameters of maize grain during three decades of yield improvement. *Field Crops Res.* 59:135–140

Velvis, H. en K.B. Zwart (2001) (Micro)nutriënten en (a)biotische stress in de zetmeelaardappelteelt. Nota 141. Plant Research International, Wageningen

Van Eekelen, M., B.C.P. Jansen, en J. Straub (1941/1942) Ontwerp van een Nederlandse Voedingsmiddelentabel. *Voeding* 3, 156-164.

Van Dijk, W. (2003) Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. PPO, publicatienr 307, Wageningen.

Van Zanden J.J., Wortelboer, H.M., Bijlsma, S. xxx(2005) Quantitative structure activity relationship studies on the flavonoid mediated inhibition of multidrug resistance proteins 1 and 2. *Biochemical Pharmacology* 69 (4): 699-708.

Van der Veer (2006) Geochemical soil survey of the Netherlands. Atlas of major and trace elements in topsoil and parent material; assessment of natural and antropogenic enrichment factors. Nederlandse Geografische studies, Utrecht.

Vallejo, F., F.A. Tomás-Barberán, en C. García-Viguera (2003) Effect of climatic and sulphur fertilisation conditions, on phenolic compounds and vitamin C, in the inflorescences of eight broccoli cultivars. *European Food Res. Technol.* 216:395–401

Voedingscentrum (2006) Nederlandse Voedingsmiddelen tabel 2006. Voedingscentrum, Den Haag.

Welch, R.M., W.H. Allaway, W.A. House, en J. Kubota (1991) Geographic distribution of trace elements problems. In: *Micronutriënts in Agriculture*, 2<sup>e</sup> ed. Ed.: JJ.Mortvedt, FR Cox, LM Shuman en RM Welch, Soil Science Society of America, Inc, Madison, USA.

Welch, R.M. en R.D. Graham (2005) Agriculture: the real nexus for enhancing bioavailable micronutriënts in food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 18, 299-307.

Wei, X., M. Hao, M. Shao, W.J. Gale (2006) Changes in soil properties and the availability of soil micronutriënts after 18 years of cropping and fertilization. *Soil & Tillage Research* 91, 120-130.

White, P.J. en M.R. Broadley (2005) Historical variation in the mineral composition of edible horticultural products. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 80 (6) 660–667.

White, P.J. en M.R. Broadley (2005) Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science* 10 (12) 586-593.

Wurst, S., R. Langel, S. Rodger en S. Scheu (2006) Effects of belowground biota on primary and secondary metabolites in *Brassica oleracea*. *Chemoecology* 16, 69-73.

Wanjari R.H., M.V. Singh, P.K. Ghosh (2004) Sustainable Yield Index: An Approach to Evaluate the Sustainability of Long-Term Intensive Cropping Systems in India. *Journal of Sustainable Agriculture*, 24(4) 39-56.

Welch, R.M. (1995) Micronutriënt Nutrition of Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences* 14(1) 49-82.

Williams, C.M. (2002) Nutritional quality of organic food: Shades of grey or shades of green? *Proc. Nutr. Soc.* 61:19–24.

Worthington, V. (2001) Nutritional quality of organic versus conventional fruits, vegetables, and grains. *J. Alternative Complementary Medicine* 7:161–173.

Zhao F.J., S.P. McGrath, A.R. Crosland, S.E. Salmon (1995) Changes in the sulfur status of british wheat-grain in the last decade, and its geographical-distribution. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 68 (4): 507-514.

Zhao, X., E.E. Carey, W. Wang, C.B. Rajashekar (2006) Does organic production enhance phytochemical content of fruit and vegetables? Current knowledge and prospects for research. *Horticulture* 16(3) 450-456.

Zhang, M., Z. He, D.V. Calvert, en P.J. Stoffela (2004) Spatial and temporal variations of water quality in drainage ditches within vegetable farms and citrus groves. *Agricultural Water Management* 65, 39-57.



## **Bijlage 1 Referenties naar kranten, tijdschriftartikelen en radio**

- Jack, A. (1998) Nutrition under siege. One pieceful World nr. 34 Becket, MA.
- Long, A. (1999) Is chemical farming making food less nutritious? Organic Gardening. Nov/dec 1999. p12.
- Long, C. en L. Keiley (2004) Is agribusiness making food less nutritious? Mother Earth News, June/july 2004.  
*[www.motherearthliving.com/motherearthliving/feature/whole\\_foods](http://www.motherearthliving.com/motherearthliving/feature/whole_foods)*
- Hattersly, J., Thomas, P., & McTaggart, L. (2003) Wat de artsen je niet vertellen. Medisch dossier, jaargang 5, nummer 3, maart 2003.
- Picard, A (2002) Today's fruits, vegetables lack yesterday's nutrition. The Globe and Mail, zaterdag 6 juli 2002, Canada. *[www.theglobeandmail.com](http://www.theglobeandmail.com)*
- Purvis, A. (2005) It's supposed to be lean cuisine. So why is this chicken fatter than it looks? The Observer, Observed Food Monthly, zondag 15 mei 2005.  
*<http://observer.guardian.co.uk/foodmonthly/story/0,,1481443,00.html>*
- Obst und Gemüse verlieren an Qualität. Ursache ist die moderne Landwirtschaft, sagen englische Forscher.  
Welt am Sonntag 18-03-2001. *<http://www.wams.de/data/2001/03/18/480774.html>*
- Meat and dairy: where have the minerals gone? Food Magazine 72, 10. jan/mar 2006
- David Thomas on Soil Nutrient levels, Food Programme, BBC R4  
David Thomas continues the debate with Bridget McKeivith from the British Nutrition Foundation and Peter Melchett from the Soil Association on the BBC Radio 4 Food Programme (Sunday 12 March 2006 repeated Monday 13 March 2006 at 4pm GMT. You can listen to the programme on-line soon.  
*<http://www.mccarrisonsociety.org.uk/content/view/120/66/>*
- Vegetables Without Vitamins. Life Extension Magazine. Maart 2001.