

**Trends in bodem-
en gewaskwaliteit**

Literatuurstudie

Monique Hospers-Brands

Sjef Staps

Peter Voshol

© 2017 Louis Bolk Instituut

Trends in bodem- en gewaskwaliteit - Literatuurstudie

Ir. Monique Hospers-Brands, Ing. Sjef Staps,

Dr. Peter Voshol

Eindredactie: Ir. Lidwien Daniëls

Zoekwoorden: nutriëntengehalte, bodemkwaliteit,
gewaskwaliteit, trends

Publicatienummer 2017-018 LbP

25 pagina's

www.louisbolk.nl


info@louisbolk.nl

T 0343 523 860

F 0343 515 611

Hoofdstraat 24

3972 LA Driebergen

 @LouisBolk

Louis Bolk Instituut: onafhankelijk, internationaal kennisinstituut
ter bevordering van écht duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond	6
1.2 Project	7
1.3 Leeswijzer	8
1.3.1 Begripsbepaling	8
2 Gaat de kwaliteit van de bodem achteruit?	9
2.1 Organische stof	9
2.2 Macro- en micronutriënten	11
2.2.1 Beschikbare voorraden	12
2.2.2 Enkele elementen uitgelicht	12
2.2.3 Interacties van mineralen	14
3 Gaat de kwaliteit van de voeding achteruit?	16
3.1 Effecten van veredeling	16
3.2 Mineralengehaltes in gewassen	16
3.3 Inname via de voeding	18
4 Conclusies en aanbevelingen	20
4.1 Trends in bodem en product	20
4.1.1 <i>Neemt het nutriënten gehalte in (Nederlandse) landbouwbodems af?</i>	20
4.1.2 <i>Neemt het nutriënten gehalte in primaire producten voor menselijke voeding af?</i>	20
4.1.3 <i>Gaat de kwaliteit van de menselijke voeding achteruit?</i>	21
4.2 Kennishiaten	21
4.3 Aanbevelingen voor onderzoek	21
5 Literatuur	22
Bijlage 1: Functies van nutriënten	25

Samenvatting

De Provincie Gelderland wil met het Meerjarenprogramma Bodem en Ondergrond bijdragen aan de gezondheid van mens, bodem en watersystemen. In dit programma staat het duurzaam gebruik van de toplaag centraal. Er zijn vele berichten dat de kwaliteit van landbouwbodems, wereldwijd en in Nederland, achteruit gaat. Ook de kwaliteit van de humane voeding en van de gewassen die de basis vormen van deze voeding zou in de loop der tijd teruglopen. Dit is een reden tot zorg.

Het Louis Bolk Instituut voert in opdracht van de provincie Gelderland het onderzoeksproject 'Gezonde grond voor gezonde voeding' uit. Dit project adresseert twee onderzoeksvragen:

1. Hoe is het gehalte aan voedingsstoffen en nutriënten in Nederlandse bodems in de afgelopen decennia veranderd?
2. Hoe is de productkwaliteit voor menselijke voeding (m.b.t. de gemeten gehalten aan inhoudsstoffen in voedingsgewassen) in Nederlandse gewassen in de afgelopen decennia veranderd?

In dat kader is in oktober – december 2016 een literatuuronderzoek uitgevoerd dat de actuele kennis over deze vragen bijeenbrengt. Dit literatuuronderzoek wordt in dit rapport beschreven.

Uit de literatuur blijkt dat de beschikbaarheid in de bodem van verschillende macro- en micronutriënten in de afgelopen decennia is afgenomen.

In dezelfde periode is ook het gehalte van verschillende macro- en micronutriënten in gewassen (AGF-producten) afgenomen. In de loop der tijd krijgen mensen met hun voeding een aantal nutriënten steeds minder binnen en in specifieke situaties kan dat leiden tot gezondheidsproblemen.

Hoewel deze berichten overtuigend zijn, is er nog weinig kennis beschikbaar over de vraag wat de oorzaken daarvan zijn en nog minder over de vraag of er een directe relatie is tussen het nutriëntengehalte in de bodem en het gehalte in het op deze bodem geteelde gewas / product en met – uiteindelijk - de gezondheid van de mens.

Er is behoefte aan structureel, langjarig onderzoek om een duidelijker beeld te krijgen van dit voor landbouw, voeding en gezondheid zo belangrijke thema. Daarbij zou de focus moeten liggen op de elementen ijzer, magnesium, zink, selenium, fosfor en calcium, aangezien deze elementen zowel in de bodem als in gewassen en in de humane voeding achteruit gaan en op beide gebieden tekorten tot problemen zouden kunnen leiden.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De provincie Gelderland heeft voor de periode 2015 – 2020 het Meerjarenprogramma Bodem en Ondergrond vastgesteld. Daarin staat een duurzaam gebruik van de bewortelbare laag van de bodem centraal. De Provincie wil hiermee bijdragen aan de gezondheid van mens, bodem en watersystemen.

De Provincie wil ook bijdragen aan meer bewustzijn en kennis bij agrarische ondernemers, waardoor zij bewustere keuzes ten aanzien van teelt en bemesting kunnen maken.

De bodem heeft vele verschillende functies. Zo is zij de basis van ons voedselproductiesysteem: voor gezonde voeding zijn gezonde gewassen nodig, die voortkomen uit een gezonde bodem. Op een gezonde bodem kunnen gewassen goed wortelen en worden ze goed voorzien van vocht en nutriënten. Als er in de bodem een tekort is aan bepaalde nutriënten, zullen de gewassen die daarop groeien hiervan mogelijk te weinig kunnen opnemen.

De kwaliteit van de Nederlandse landbouwbodems, oftewel het vermogen van de bodem om op korte en lange termijn een duurzame grondslag te vormen voor de teelt van gezonde voedingsgewassen, verslechtert^{46,47}. Dit betreft vooral de structuur van de bodem. Er zijn echter sterke aanwijzingen dat ook de chemische en biologische samenstelling van de bodem verandert en dat gehalten aan mineralen in de bodem afnemen. Hierover zijn nog weinig gegevens beschikbaar.

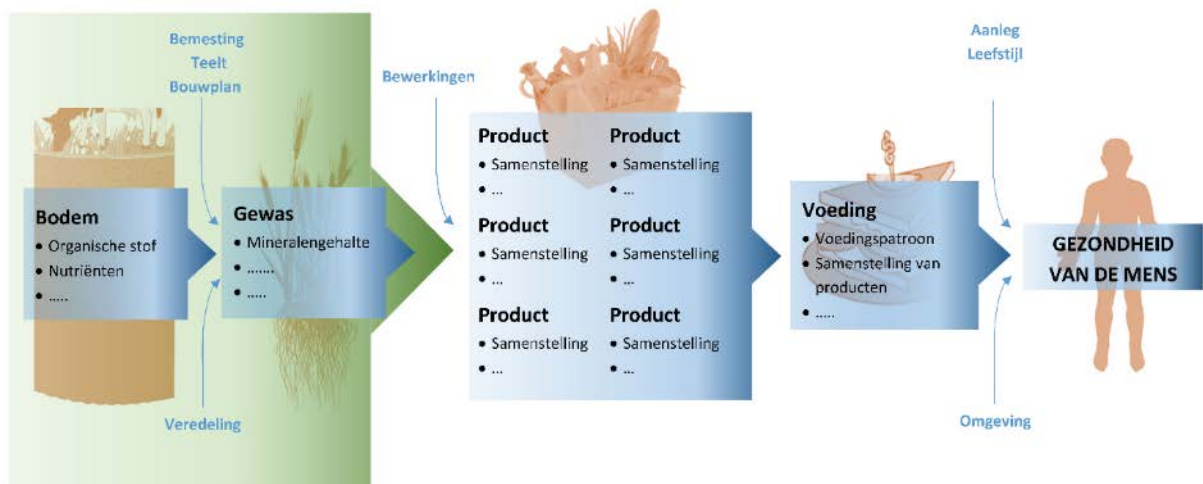
De kwaliteit van een gewas, d.i. de mate waarin het voorziet in de behoeften van de mens of het dier dat ze consumeert, wordt beïnvloed door meerdere factoren, waaronder de bodem en veredeling. Zo kan veredelen op gewasproductie (kwantiteit) gepaard gaan met een teruggang in smaak en bijvoorbeeld de productie van secundaire metabolieten (bitterstoffen, antioxidanten).

Indien het gehalte aan mineralen in de bodem achteruit gaat, zal dit mogelijk consequenties hebben voor de gehalten van deze stoffen in gewassen en voeding, en daarmee voor de volksgezondheid. Er zijn indicaties in de wetenschappelijke literatuur dat gewassen (voedingsmiddelen) tegenwoordig minder mineralen, vitaminen en andere essentiële stoffen bevatten dan enkele decennia geleden^{49,50}, en dat gehalten van nutriënten in voedselgewassen nog maar 20% zijn ten opzichte van die van een vorige generatie. In de loop der tijd is de focus van de landbouwpraktijk verschoven van kwaliteit naar kwantiteit (rassenkeuze, bemesting, overige teelttechnieken, etc). Dat zou een verklaring kunnen zijn voor deze veranderingen. Als het gehalte aan mineralen in de bodems waarin onze voedingsgewassen groeien inderdaad afneemt, worden deze mogelijk minder goed van essentiële nutriënten voorzien.

Een gewas dat geoogst wordt kan of direct, vers, geconsumeerd worden, of eerst bewerkt. Ook daarbij wordt het gehalte aan inhoudsstoffen beïnvloed, bijvoorbeeld doordat stoffen toegevoegd worden.

Alle voedingsmiddelen, al dan niet bewerkt, die iemand tot zich neemt vormen samen een voedingspatroon. De vraag of een dieet 'gezond' is, wordt enerzijds bepaald door kwaliteit van de afzonderlijke producten, maar nog veel meer door samenstelling van het voedingspatroon.

In Figuur 1 is de hier beschreven keten van bodem via gewassen en voeding tot uiteindelijk gezondheid visueel weergegeven.



Figuur 1. De keten Bodem – Gewas – Producten – Voeding – Gezondheid. Het groene kader geeft de scope van dit rapport aan.

In deze studie wordt met name het eerste deel van deze keten onder de loep genomen: de relatie tussen (nutriënten in) de bodem en (nutriënten in) het gewas.

1.2 Project

Het Louis Bolk Instituut voert in opdracht van de provincie Gelderland het onderzoeksproject ‘Gezonde grond voor gezonde voeding’ uit. Dit project adresseert twee onderzoeksvragen:

1. Hoe is het gehalte aan voedingsstoffen en nutriënten in Nederlandse bodems in de afgelopen decennia veranderd?
2. Hoe is de productkwaliteit van geteelde gewassen voor menselijke voeding (m.b.t. de gemeten gehalten aan inhoudsstoffen) in Nederlandse gewassen in de afgelopen decennia veranderd?

In het kader van dit project heeft het Louis Bolk Instituut in de periode oktober – december 2016 een literatuuronderzoek uitgevoerd. Hierin wordt, op basis van informatie uit de wetenschappelijke en grijze (niet-wetenschappelijke) literatuur een overzicht gegeven over de actuele kennis over deze twee vragen en over mogelijke oorzaken (bijvoorbeeld veredeling, veranderingen in de bodem, veranderingen in de teelttechniek) en oplossingen van een eventuele afname. Ook worden kennishiaten geformuleerd en aanbevelingen gedaan voor het vervolg van het onderzoek.

Go / no go

Op basis van de resultaten uit het literatuuronderzoek neemt de Provincie een besluit (go / no go) voor de verdere uitvoering van het onderzoeksprogramma, waarin bodem- en gewasgegevens van het langjarige bemestingsproefveld Mest als Kans geanalyseerd zullen worden op trends die zich in de periode 1999 – heden hebben voorgedaan. Ook zal dan de relatie tussen bodem- en gewas kwaliteit en de consequenties voor de menselijke voeding nader uitgewerkt worden, inclusief oplossingsrichtingen voor het borgen van de kwaliteit van bodem en voedsel.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden trends in de kwaliteit van landbouwbodems beschreven, uitgesplitst naar trends ten aanzien van het organischestofgehalte (paragraaf 2.1) en ten aanzien van gehalten aan macro- en micronutriënten (paragraaf 2.2).

In hoofdstuk 3 worden trends in de nutriëntengehaltes van voedingsmiddelen beschreven. In paragraaf 3.1 wordt de bijdrage van de veredeling van landbouwgewassen aan deze trends beschreven, in paragraaf 3.2 trends in mineralengehaltes van gewassen en in paragraaf 3.3 ontwikkelingen in de hoeveelheden van deze nutriënten die mensen via hun voeding binnen krijgen. In hoofdstuk 4 worden de bevindingen samengevat (paragraaf 4.1), worden kennishiaten geformuleerd (paragraaf 4.2) en worden aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek (paragraaf 4.3).

1.3.1 Begripsbepaling

Waar gesproken wordt over kwaliteit en over voeding zijn er vele definities van deze begrippen mogelijk. Hieronder de omschrijving van enkele begrippen zoals wij ze in dit rapport hebben gebruikt.

- Bodemkwaliteit:** Het vermogen van de bodem om op korte en lange termijn een duurzame grondslag te vormen voor de teelt van gezonde gewassen voor de voeding van mensen (of dieren).
- Gewas:** Het geogste gedeelte van een plantaardig landbouwproduct, dat de basis is voor de voeding van mensen (of dieren).
- Kwaliteit van producten:** De mate waarin deze producten voorzien in de behoeften van de mens of het dier dat ze consumeert.
- Kwaliteit van voeding:** De kwaliteit van voeding is sterk afhankelijk van de behoeften van de mens of het dier voor wie deze voeding bestemd is. In dit rapport is uitgegaan van de volgende omschrijving: "de mate waarin de voeding voorziet in de behoeften van de mens of het dier dat deze consumeert."

2 Gaat de kwaliteit van de bodem achteruit?

We gaan in het onderstaande uit van de omschrijving van bodemkwaliteit zoals die in paragraaf 1.3.1 is gegeven: Bodemkwaliteit is het vermogen van de bodem om op korte en lange termijn een duurzame grondslag te vormen voor de teelt van gezonde gewassen voor de voeding van mensen (of dieren).



Figuur 2. Op het Mest Als Kans proefveld in Lelystad worden verschillende bemestingsstrategieën vergeleken. De foto toont een van de veldjes op dit proefveld. Er is een bodem te zien met veel afgerond-blokkige elementen, wat wijst op een goede structuur. Wel is er onderin het profiel veel versmering, en zijn er weinig wortels (beide ongunstig).

Staps *et al.*^{46,47} beschrijven aan de hand van Flevoland als casus dat door de veranderende landbouwpraktijken de kwaliteit van de Nederlandse landbouwbodems achteruit gaat. Dat gaat met name over de structuur van de bodem. Oorzaken van deze achteruitgang liggen enerzijds in natuurlijke processen (inklinking, rijping e.d.), maar vooral ook in maatschappelijke processen waardoor korte termijn rendement prevaleert boven lange-termijn zorg voor de bodem. Intensieve teelten en hoog salderende gewassen krijgen een groter aandeel in het bouwplan, ten koste van bijvoorbeeld granen. Dat gaat ten koste van bodemstructuur en –vruchtbaarheid, zeker in combinatie met de inzet van steeds zwaardere mechanisatie^{46,47}. Daarbij

speelt ook de prijsdruk vanuit de keten.

Er zijn echter ook sterke aanwijzingen dat het bodemleven^{8,9,18} en de chemische en biologische samenstelling van de bodem veranderen en dat gehalten aan mineralen in de bodem afnemen. Ook deze achteruitgang zou samenhangen met een toename van teelten die veel van de bodem vragen en veel minder teruggeven, en met een bemesting die eenzijdig gericht is op gewasopbrengst en te weinig op het voeden van de bodem.

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de wetenschappelijke en grijze, niet-wetenschappelijke literatuur op dit vlak.

2.1 Organische stof

Als er gesproken wordt over bodemkwaliteit is organische stof een sleutelement in de discussie. In het Handboek Bodem en Bemesting wordt gesteld dat “*Het op peil houden van het organische stofgehalte van de bodem is belangrijk voor het verbeteren van de bodemvruchtbaarheid en de aanvoer van mineralen, het verbeteren van de bodemstructuur, watervasthoudend vermogen, buffering van mineralen en het stimuleren van het bodemleven.*”¹⁰. Daarbij worden bodemvruchtbaarheid en mineralenaanvoer met name gedragen door de makkelijk afbreekbare fractie van de organische stof, terwijl de overige genoemde functies meer door de stabiele organische stof, de humus worden verzorgd. Maatregelen om de kwaliteit van landbouwgronden op peil te houden of te verhogen hebben vaak organische stof als startpunt.

Eurofins-Agro, laboratorium voor bodem-, mest- en gewasonderzoek, ziet op basis van historische gegevens geen aanwijzingen voor een structurele daling van het organischestofgehalte in de Nederlandse landbouwbodems¹⁹.

De gegevens van Eurofins (voorheen BLGG en Altic) zijn afkomstig van alle bodems die in de loop der jaren door Nederlandse landbouwers ter analyse zijn aangeboden. Het zijn echter geen cijfers die per locatie tot tijdreeksen aan elkaar gekoppeld kunnen worden. Bovendien is het mogelijk dat de bedrijven die hun grond (regelmatig) laten analyseren geen representatieve doorsnede zijn van de Nederlandse landbouw. Er kunnen bedrijfstypen over- of ondervertegenwoordigd zijn.

Sukkel (2016)⁴⁸ vindt bij structurele monitoring van dezelfde percelen op diverse proefbedrijven van PPO-AGV, dat er wel degelijk een trend is dat in de loop van de jaren het organischestofgehalte in de bodems achteruit gaat. Over de kwaliteit van de organische stof (stabiliteit en afbreekbaarheid, nutriënten leverend vermogen, waterbergend vermogen, etcetera) is volgens hem veel minder praktisch bruikbare informatie beschikbaar.

Reijneveld³⁹ beschrijft dat er in Nederland tussen 1985 en 2004 een stijgende trend is in het organischestofgehalte op gras- en bouwland van ca 0,1 resp. 0,08 g/kg, in tegenstelling tot berichten uit bv Groot Brittannië en België. Ook Conijn¹⁰ concludeert op basis van langjarige metingen dat het organischestofgehalte in Nederlandse bodems tussen 1984 en 2004 met 0,2 tot



Figuur 3. Bemonstering van suikermais

0,4 % per jaar is gestegen, hoewel, voor bouwland, modelberekeningen een daling van ca 2%/ha/jaar (0,08 – 0.9 ton organische stof/ha/jaar) laten zien.

Hanegraaf²¹ heeft op Nederlandse zandgronden voor percelen met permanent grasland, percelen met een afwisseling van mais en gras en percelen met een continueelt van mais de ontwikkelingen in het organischestofgehalte geanalyseerd. Zij vindt geen eenduidige trends in ontwikkelingen van het organische stof gehalte onder grasland en in mais-gras-rotaties. Bij rotaties met continu mais ziet zij wel een afname.

Van Eekeren¹⁷ laat de bijdrage van (blijvend) grasland in de rotatie aan de opbouw van organische stof in de bodem zien: in een langjarige proef op zandgrond in België vond hij na 36 jaar blijvend grasland een organische stof gehalte dat ruim 3 ½ % hoger was dan 36 jaar bouwland (zie Tabel 1).

Tabel 1. Organische stof gehalte in de laag 0 - 10 cm

	36 jaar blijvend grasland	3 jaar grasklaver na 3 jaar mais	3 jaar mais na 3 jaar continu grasklaver	36 jaar bouwland
Organische stof (% 0-10 cm)	5,7	3,3	3,8	2,3

Ook uit het buitenland zijn er uiteenlopende berichten. Het Rodale instituut in de VS vindt dat na 30 jaar in verschillende biologische bedrijfssystemen het organischestofgehalte in de bodem is toegenomen, terwijl dit in het gangbare bedrijfssysteem gelijk is gebleven⁴⁰. Merbach^{32,33} ziet in een evaluatie van langjarige bemestingsproeven in Duitsland (sinds 1949) alleen in de onbemeste varianten een afname in het organischestofgehalte. Ook Ailincăi¹ ziet, in Moldavië, dat zonder organische bemesting het organischestofgehalte afneemt, terwijl het met organische bemesting toeneemt. Blair^{34,5} ziet in twee langjarige rotatie-experimenten in Australië dat alle koolstoffracties in de bodem in de loop der tijd afnemen, vooral als er braak in de rotatie zit. Verschillende

auteurs rapporteren dat langjarige toediening van organische stof door organische bemesting, groenbemesters of gewaskeuze de fysische en biologische vruchtbaarheid van de bodem verbeteren^{15, 16,20, 30,36,38, 43}.

Samenvattend voor organische stof

Er is geen eenduidige trend dat het organischestofgehalte in Nederlandse landbouwbodems in de loop der tijd afneemt, hoewel er meetreeksen op diverse proefbedrijven zijn die wel een afname laten zien. Ook uit het buitenland zijn er uiteenlopende berichten. Met name in intensieve rotaties met hoofdzakelijk minerale bemesting staat het organischestofgehalte onder druk. Toepassing van organische mest is een belangrijke maatregel om het organischestofgehalte op peil te houden, en daarmee de fysische (structuur, waterbergend vermogen) en chemische (nutriënten leverend vermogen) bodemvruchtbaarheid op de lange termijn op peil te houden.

2.2 Macro- en micronutriënten

Ten aanzien van diverse macro- en micronutriënten in de bodem zijn er wel duidelijke aanwijzingen dat deze op diverse plekken een duidelijke afname laten zien. Macronutriënten zijn mineralen die planten in relatief grote hoeveelheden nodig hebben voor hun groei (koolstof, waterstof, zuurstof, stikstof, fosfor, kaliumcalcium, magnesium, zwavel), terwijl van micronutriënten (sporenelementen) slechts kleine of zeer kleine hoeveelheden nodig zijn (ijzer, koper, zink, borium, nikkel, mangaan, molybdeen, chloor).

Eurofins¹⁹ ziet in haar data archief van historische analyses in Nederlandse bodem dat er in Nederlandse bodems in de loop der jaren steeds vaker tekorten optreden, zie ook paragraaf 2.2.1. Daarbij zijn de problemen op zandgronden, d.i. een groot deel van de gronden in Noord-, Midden- en Zuid-Nederland, waaronder het grootste deel van Gelderland, groter dan op kleigronden (grote delen van Noord- en West-Nederland). Zandbodems hebben een veel lagere capaciteit om mineralen aan bodemdeeltjes te binden dan kleibodems.

De genoemde tekorten treden in de hele wereld op, zie bijvoorbeeld Tabel 2. Voortman beschrijft eveneens dat er wereldwijd tekorten in landbouwbodems voorkomen, voor onder meer zink, borium en molybdeen, met name in Azië, Afrika en Zuid-Amerika⁵². Zang (2015)⁵⁵ beschrijft langjarige bemestings- en rotatie- experimenten in China. Daar is tussen 1984 en 2001 van alle micronutriënten de beschikbaarheid afgenomen. Het feit dat de winbare voorraden eindig zijn, waardoor de mogelijkheden om ze via bemesting aan te vullen beperkt zijn, maakt deze tekorten extra zorgwekkend⁵¹.

Tabel 2. Percentage bodems wereldwijd met tekort aan sporenelementen (Bron: Eurofins¹⁹)

Zink	Borium	Ijzer	Molybdeen	Koper	Mangaan
49%	31%	23%	15%	14%	10%

Bussink⁷ beschrijft het belang van onderzoek naar de achterliggende oorzaken van een spoorelementgebrek, zoals de pH, interacties van nutriënten met elkaar (verdringing) en bodemstructuur. Om een gebrek op te lossen is een integrale benadering noodzakelijk: eventueel bekalking om de pH op orde te brengen, vochtvoorziening en doorwortelbaarheid van de bodem op orde brengen, inzet van organische mest, compost en gewasresten.

2.2.1 Beschikbare voorraden

Mineralentekorten kunnen aangevuld worden door ze via de bemesting aan te vullen. De beschikbare (winbare) voorraden van diverse mineralen zijn echter beperkt^{51,2}. Udo de Haes⁵¹ (2012) stelt dat voor fosfaat, op grond van de nu bekende voorraden, deze voor de komende 100 – 370 jaar voldoende zouden zijn, voor kali noemt hij een termijn van 300 jaar. Voor een aantal micronutriënten is de tijdshorizon veel korter. Voor zink zijn de huidige bekende voorraden voldoende voor de komende 21 jaar, en die van koper voor 39 jaar⁵¹. De onzekerheid in deze termijnen is groot, en sterk afhankelijk van de aannames die worden gehanteerd. Maar over het feit dat de beschikbare voorraden eindig zijn bestaat weinig twijfel⁵¹. Bastein² geeft aan dat ook voor borium, mangaan, molybdeen en selenium binnen enkele decennia de huidige bekende voorraden uitgeput raken. In Tabel 2 staan voor verschillende mineralen de R/P-verhoudingen weergegeven, d.i. de termijn waarbinnen de huidige bekende voorraden, bij de huidige productiecijfers, zouden opraken². Dat betekent dat efficiënt gebruik en terugwinning van nutriënten belangrijk worden⁵¹. Toepassing van organische mest en compost kunnen belangrijke elementen zijn om kringlopen van nutriënten op verschillende niveaus (bedrijf, regio) te sluiten^{51,45}.

Tabel 3. R/P verhoudingen voor verschillende mineralen⁵¹
(R = bekende reserves (ton);
P = Productie (ton/jaar)

	R/P (jaar)
Stikstof	Nvt
Fosfaat	370
Kali	288
Koper	39
Zink	21
Borium	60
Mangaan	48
Molybdeen	42
Selenium	39
IJzer	75
Calcium	Nvt
Magnesium	430

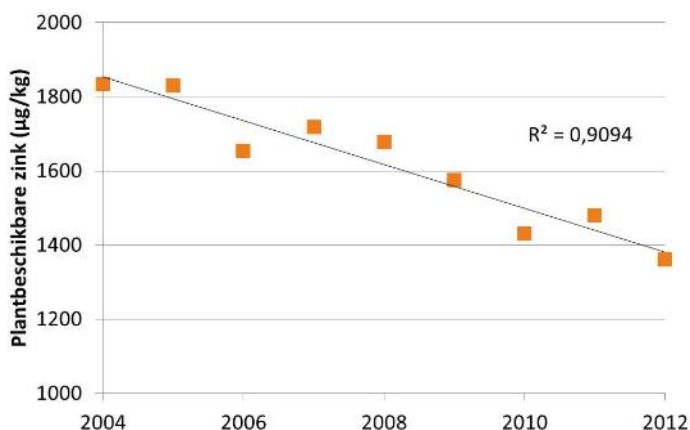
2.2.2 Enkele elementen uitgelicht

Hieronder worden voor enkele elementen de ontwikkelingen in de loop der tijd nader beschreven.

Zink

Zink stimuleert de aanmaak van hormonen die de wortelontwikkeling ondersteunen en zorgt voor een betere doorlaatbaarheid van het wortelstelsel waardoor de opname van mineralen verbetert¹⁹. Zink wordt voornamelijk aangevoerd met dierlijke mest¹⁹.

De hoeveelheid zink die in Nederlandse landbouwbodems beschikbaar is voor de gewassen is afgenomen door strengere bemestingsnormen, minder depositie, minder zink in veevoer en daardoor minder in mest¹⁹, zie ook Figuur 4.

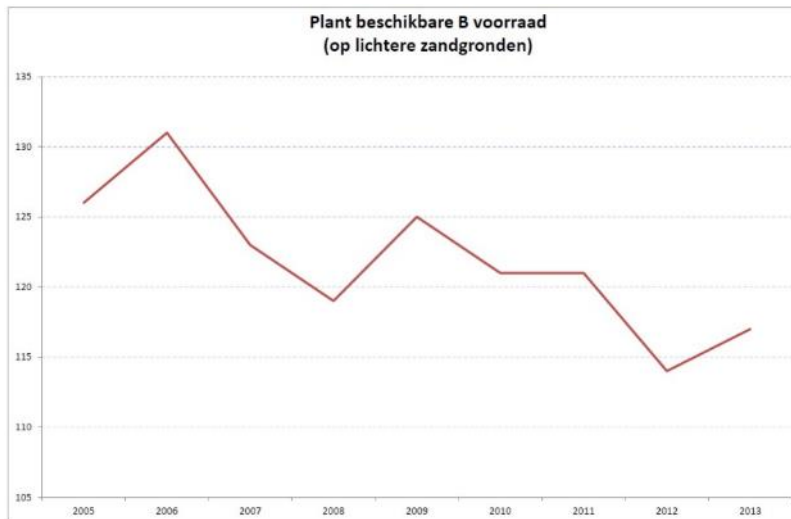


Figuur 4. Hoeveelheid plantbeschikbaar zink in Nederlandse landbouwbodems. Bron: Eurofins¹⁹, landelijk gemiddelde.

Borium

Borium is een zeer mobiel element dat weinig gebonden wordt aan bodemdeeltjes. Het is daardoor gevoelig voor uitspoeling. Een boriumtekort verslechtert de efficiëntie van fosfaat¹⁹. Borium wordt onder meer aangevoerd door dierlijke mest. Ook kan het vrijkomen door mineralisatie van organische stof.

De hoeveelheid borium die in Nederlandse landbouwbodems beschikbaar is voor de gewassen is in de periode 2005 - 2013 met 10% afgenomen, zie Figuur 5.

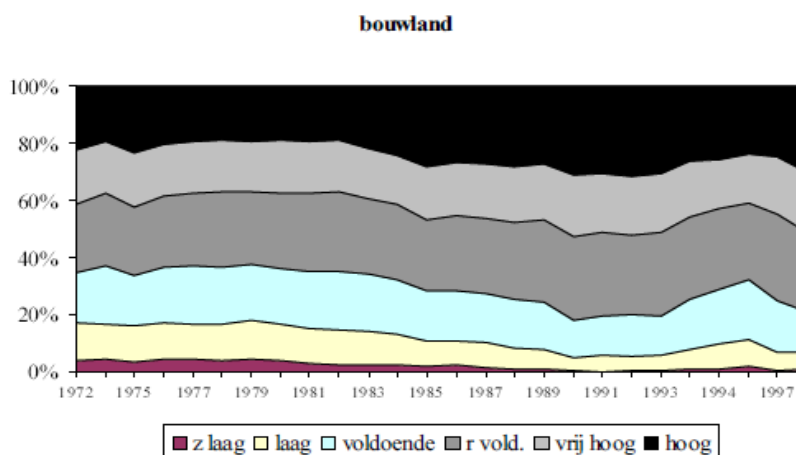


Figuur 5. Afname van de hoeveelheid plant beschikbaar borium op lichte zandgronden in Nederland. Bron: Eurofins¹⁹, landelijk gemiddelde.

Fosfaat

Fosfaat bevordert de wortelontwikkeling en daarmee de groei van het gras. Verder is fosfaat nodig voor de uitstoeiing¹⁹. Fosfaat wordt aangevoerd met (dierlijke) mest, en komt vrij door mineralisatie uit bodemorganische stof.

In de laatste helft van de 20^e eeuw zijn, door de import van grote hoeveelheden veevoer, de fosfaatgehalten in Nederlandse bodems zo sterk toegenomen dat op vele plaatsen sprake was van een overschot. Willems⁵⁴ beschrijft dat het aandeel Nederlandse bodems met een fosfaat-toestand 'voldoende' of 'te hoog' sinds 1972 is toegenomen, met name sinds 1982, zie Figuur 6.



Figuur 6. Ontwikkeling van de fosfaattoestand op bouwland 1972 - 1999⁵⁴

Daarna is strengere wetgeving ingesteld om de fosfaatbemesting terug te dringen. Dat heeft geleid tot een afname in de hoeveelheid beschikbaar fosfaat in landbouwgronden tussen 2005 en 2014¹⁹. Er zijn bedrijven waar op grond van de huidige bemestingsnormen, minder fosfaat mag worden aangevoerd dan de geteelde gewassen afvoeren²⁸. Rodriguez⁴¹ vindt in experimenten in Finland dat bij een lage fosfaatbemesting de beschikbaarheid van fosfaat afneemt, bij hoge bemesting neemt deze toe en bij een gemiddelde P-bemesting vindt hij geen veranderingen.

Kalium

Kalium zorgt voor transport van koolhydraten van wortels naar de bovengrondse delen. Kalium speelt net als natrium een belangrijke rol bij de waterhuishouding. Kali is van belang voor de droogteresistentie van gewassen¹⁹. Kali wordt voornamelijk aangevoerd met dierlijke mest¹⁹.

Het kaligehalte in Nederlandse landbouwbodems neemt af. Doordat er minder drijfmest wordt toegepast wordt ook minder kali gegeven. Bovendien neemt het kaligehalte in de mest af. Kali spoelt snel uit. Niet alleen de hoeveelheid plantbeschikbaar kali neemt af, ook de hoeveelheid kali die gebonden is aan de kleimineralen in de bodem (kali in CEC). Maatregelen om dit te ondervangen zijn onder meer bekalken en het verhogen van het organischestofgehalte¹⁹.

Zwavel

Zwavel heeft een belangrijke rol bij de eiwitproductie, zowel bij dieren als planten, omdat het een bestanddeel is van de zwavelhoudende aminozuren (methionine en cysteine). Zwavel leidt in de plant tot een betere stikstofbenutting en lagere nitraatgehalten. Daarnaast is zwavel onder meer een onderdeel van de B-vitaminen thiamine en biotine en van het hormoon insuline¹⁹. Zwavel komt met name beschikbaar voor planten door mineralisatie uit organische stof¹⁹.

De toevoer van zwavel door depositie is drastisch afgenomen, van 45 tot 50 kg S/ha in 1981 naar 8 kg S per ha in 2010¹⁹.

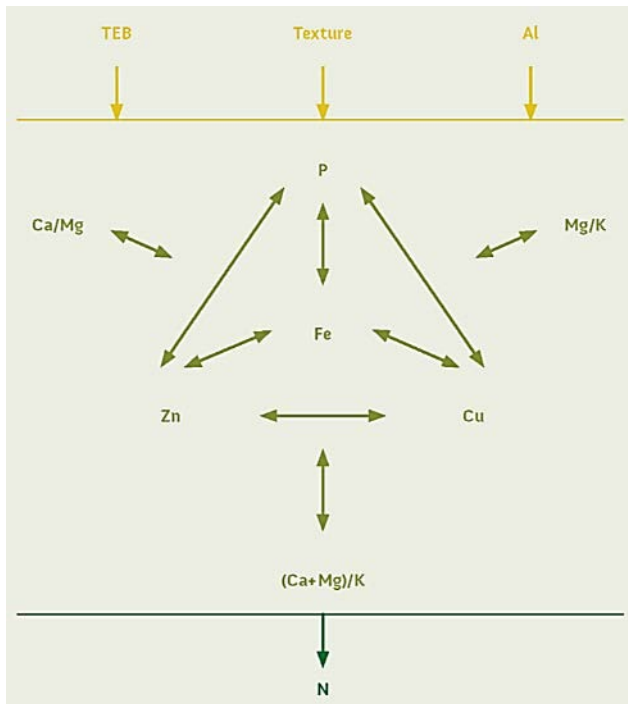
Calcium

Calcium is een onmisbaar mineraal voor planten. Het zorgt voor stevigheid van de celwanden en bevordert de kwaliteit van het gewas. Daarnaast zorgt calcium voor een goede bodemstructuur en een lagere slempgevoeligheid van de grond¹⁹.

Eurofins vindt steeds vaker te lage gehalten plantbeschikbaar calcium in Nederlandse landbouwbodems. Dat kan gevolgen hebben voor de kwaliteit van gewassen, maar ook voor bijvoorbeeld structuur en slempgevoeligheid van de bodem¹⁹.

2.2.3 Interacties van mineralen

Vele nutriënten hebben interacties met elkaar. Zo kan fosfaat de opname van ijzer, zink en koper door het gewas remmen⁵¹, en daardoor tot tekorten leiden. Een boriumtekort kan de opname van fosfaat remmen¹⁹. In Figuur 7 wordt een geschematiseerd beeld gegeven van de interacties van fosfaat met een aantal andere micro nutriënten^{53,51}. Deze weergave is sterk vereenvoudigd. In de werkelijkheid zijn er veel meer, en veel complexere relaties.



Figuur 7. Schema van interacties tussen nutriënten en chemische bodem eigenschappen in relatie tot planten voeding^{53,51}.
TEB = totale basenverzadiging

Samenvattend voor nutriënten in de bodem

In Nederlandse landbouwbodems is een afname te zien voor de hoeveelheid micronutriënten (borium, ijzer, koper, mangaan, molybdeen, zink, selenium) die voor landbouwgewassen beschikbaar is, hoewel er (nog) geen sprake is van tekorten die tot een verminderde plantengroei leiden. Wereldwijd worden in toenemende mate tekorten in landbouwbodems beschreven.

3 Gaat de kwaliteit van de voeding achteruit?

In het onderstaande gaan we uit van de omschrijving van de kwaliteit van producten en de kwaliteit van voeding zoals die in paragraaf 1.3.1 is gegeven: de mate waarin voeding en voedingsgewassen voorzien in de behoeften van de mens of het dier dat deze voeding consumeert. Voeding is opgebouwd uit een groot aantal componenten: (verse) gewassen, bewerkte producten, samengestelde producten, ieder met hun eigen kwaliteit en samenstelling. Samen vormen deze het voedingspatroon van een consument. De kwaliteit van dit voedingspatroon wordt bepaald door de kwaliteit (samenstelling) van de diverse onderdelen en door hun onderlinge verhouding. In het onderstaande wordt geconcentreerd op de samenstelling van gewassen: verse, onbewerkte producten, en dan met name op de gehalten aan mineralen (macro- en micronutriënten), zie par. 2.2.

Van verschillende langjarige bemestingsexperimenten wordt beschreven dat in de loop der jaren de opbrengsten afnemen^{26,29}. In de internationale literatuur wordt bovendien op verschillende plaatsen gemeld dat vanaf de tweede helft van de 20^e eeuw mineralengehaltes in verschillende voedingsmiddelen zijn afgenomen. Mogelijke oorzaken daarvoor zijn de verregaande intensivering van de landbouw, met een eenzijdige nadruk op opbrengst die ten koste kan gaan van de kwaliteit (verdunding), en de veredeling van gewassen gericht op opbrengst en op bijvoorbeeld een minder bittere smaak, die ten koste kan gaan van gehalten aan secundaire metabolieten.

3.1 Effecten van veredeling

Niet alleen door veranderde teeltmethoden, ook door voortgaande veredeling kunnen de samenstelling en de nutriënteninhoud van gewassen in de loop der tijd veranderen. Zo beschrijft Davis¹³ het fenomeen van de genetische verdunding, waarbij door veredeling hogere opbrengsten bereikt worden, maar deze samengaan met lagere gehalten aan micronutriënten, met name koper en calcium. Meyer³⁴ beschrijft eveneens dat in 2/3 van de landbouwgewassen bij veredeling effecten op secundaire metabolieten zijn opgetreden, met name op het gebied van smaak (b.v. zoetere en minder bittere producten), pigmentatie en toxiciteit. Veel van deze secundaire metabolieten hebben buiten de bittere smaak een versterkend effect op ons immuunsysteem^{6,27}. Dus een afname van deze stoffen heeft mogelijke gevolgen voor de kwaliteit van deze voedingsmiddelen. Murphy³⁵ heeft oude en moderne tarwerassen vergeleken. In de moderne variëteiten zit, vergeleken met oude rassen, minder koper, ijzer, magnesium, mangaan, fosfor, selenium en zink. Alleen het calciumgehalte is niet veranderd.

3.2 Mineralengehaltes in gewassen

Diverse auteurs berichten over afnames in de gehalten van micronutriënten in diverse groenten (koper, magnesium, calcium en natrium) en fruitsoorten (magnesium, koper, ijzer en kalium)^{14, 31}. Thomas^{49,50} beschrijft op basis van een langjarige studie in Groot-Brittannië een afname in de nutriëntengehaltes van groenten tussen 1940 en 1991 voor natrium (-49%), kalium (-16%), magnesium (-24%), calcium (-46%), ijzer (-27%), en koper (-76%). Voor fruit zijn deze getallen natrium (-29%), kalium (-19%), magnesium (-16%), calcium (-16%), ijzer (-24%), en koper (-20%). In 2001 blijken deze cijfers niet te zijn veranderd. Ook Mayer³¹ beschrijft deze ontwikkelingen. Voor het Verenigd Koninkrijk worden in de literatuur afnames genoemd over de afgelopen 50 jaar voor calcium (-19%), magnesium (-35%), koper (-81%), ijzer (-22%), natrium (-43%) en fosfor (-6%). Ook in de VS zijn mineralengehaltes afgenomen, zoals calcium (-30%), ijzer (-32%) en magnesium (-21%)^{44,14}.

In Tabel 4 is te zien dat in de periode 1983, 1996 tot 2002 de nutriëntengehaltes (calcium, magnesium, div. vitamines) van verschillende gewassen sterk zijn afgenomen, zie Tabel 4. Als oorzaken worden genoemd uitspoeling uit de bodem, te snelle groei en lange bewaring²³.

Tabel 4. Vergelijking van nutriënten in groenten en fruit. Bron: 1985 Pharmalonzern Geigy (Switzerland). 1996 food laboratory Karlsruhe/sanatorium Obertal en 2002²³

	Vitamines& Mineralen	Resultaten			Verschillen	
		1985	1996	2002	1985-1996	1985-2002
Broccoli	Calcium	103	33	28	-68%	-73%
	Foliumzuur	47	23	18	-52%	-62%
	Magnesium	24	18	11	-25%	-55%
Bonen	Calcium	56	34	22	-38%	-51%
	Foliumzuur	39	34	30	-12%	-23%
	Magnesium	26	22	18	-15%	-31%
	Vitamine B6	140	55	32	-61%	-77%
Aardappelen	Calcium	14	4	3	-70%	-78%
	Magnesium	27	18	14	-33%	-48%
Wortelen	Calcium	37	31	28	-17%	-24%
	Magnesium	21	9	6	-57%	-75%
Spinazie	Magnesium	62	19	15	-68%	-76%
	Vitamine C	51	21	18	-58%	-65%
Appel	Vitamine C	5	1	2	-80%	-60%
Banaan	Calcium	8	7	7	-12%	-12%
	Foliumzuur	23	3	5	-84%	-79%
	Magnesium	31	27	24	-13%	-23%
	Vitamine B6	330	22	18	-92%	-95%
Aardbeien	Calcium	21	18	12	-14%	-43%
	Vitamine C	60	13	8	-67%	-87%

Eurofins geeft in 2013 aan niet voldoende data te hebben om voor Nederland trends te kunnen zien ten aanzien van de mineralengehaltes van verschillende gewassen¹⁹. Wel nemen de gehalten aan sporenelementen in gras- en maiskuil af¹⁹. Het seleniumgehalte in mais is in tien jaar tijd gehalveerd, en datzelfde geldt voor kobalt in graskuilen¹⁹. Volgens Reijneveld¹⁹ is een van de oorzaken van de afnemende gehalten van sporenelementen in gewassen dat er steeds minder stikstofbemesting wordt gegeven om problemen met onder meer drinkwaterkwaliteit door overbemesting terug te dringen. Stikstof wordt opgenomen als negatief geladen nitraat (NO₃⁻). Vele micronutriënten en sporenelementen worden als positief ion opgenomen. Aangezien evenveel



Figuur 8. Bemesting van het Mest Als Kans proefveld

positief geladen als negatief geladen ionen worden opgenomen, kan met een afnemende hoeveelheid opgenomen stikstof ook de hoeveelheid opgenomen positief geladen elementen afnemen. Gegevens van het langjarige bemestingsproefveld Mest Als Kans in Lelystad (1999 – heden) geven aan dat in aardappelen en pompoen de gehalten van de meeste nutriënten het tweede

jaar dat ze op dit proefveld geteeld werden lager zijn dan in het eerste jaar. Voor pastinaak geldt het omgekeerde (Louis Bolk Instituut, niet gepubliceerde data).

Uit onderzoek op het proefveld Planty Organic²⁴ blijkt dat sinds 2012 de gehalten aan stikstof, fosfor en kalium van de verschillende gewassen jaarlijks zijn afgenomen.

In de zgn. NEVO-tabellen³⁷, uitgegeven door het RIVM, wordt de voedingswaarde voor Nederlandse voedingsmiddelen weergegeven. Deze tabellen worden regelmatig geüpdatet. Bij vergelijking van de NEVO-tabellen van 2016³⁷ met gegevens uit 1980²² blijkt dat voor de meeste producten de energie-inhoud is toegenomen, terwijl de overige gehalten daarmee geen gelijke tred houden. Het gehalte aan eiwitten en koolhydraten is met respectievelijk 26% en 39 % afgenomen. Ook van verschillende mineralen is in 24 tot 51% van de producten het gehalte afgenomen, terwijl er maar weinig producten zijn waarin deze gehalten zijn toegenomen, zie Tabel 5^{22,37}.

Tabel 5. Percentage producten (38 verschillende groenten) waarvan het gehalte tussen 1980 en 2014 is toegenomen, gelijk gebleven of afgenomen. Bron: Nieuwe Voedingsleer (Hartog, 1980)²² en NEVO-tabellen 2014³⁷.

	Energie	Eiwit	Koolhydraten	Natrium	Kalium	Calcium	Fosfor	Ijzer	Vitamine B1	Vitamine B2
Toename	87	18	13	0	8	21	8	11	18	18
Gelijk	0	55	47	49	57	55	68	51	71	68
Afname	13	26	39	51	35	24	24	38	11	13

Davis¹³ ziet in een literatuuroverzicht dalende mineralgehalten in groenten en fruit, met name koper en calcium. Hij ziet onder meer een verdunningseffect: bij hogere opbrengsten (bv. door veredeling of bemesting) worden gehalten van micronutriënten lager. Ook ziet hij een effect van veredeling, zie ook paragraaf 3.1. Dangour¹² ziet geen structurele verschillen in voedingskwaliteit tussen biologisch en gangbaar geproduceerde producten. Wel ziet hij verschillen die samenhangen met verschillen in bemesting. Zang⁵⁵ ziet in tomaten veranderingen in de hoeveelheden antioxidanten in tomaten onder invloed van de bemesting: een hogere stikstofbemesting geeft meer carotenoïden, organische mest geeft meer fenolen en flavonoïden.

Samenvattend mineralgehalten in gewassen

Zowel nationaal als internationaal zien we dat de gehalten van verschillende mineralen (koper, magnesium, calcium, natrium, ijzer, kalium) en andere voedingsstoffen in AGF-producten (aardappelen, groenten en fruit) in de loop der jaren afnemen. Mogelijke oorzaken zijn onder meer de hoge opbrengsten van gewassen, waardoor een verdunningseffect m.b.t. gehalten aan mineralen en vitamines kan optreden, de wijze van bemesten (o.m. verdringing) en afnemende gehalten in de bodem. Ook veredeling kan hierin een rol spelen (zie ook paragraaf 3.1).

3.3 Inname via de voeding

Udo de Haes⁵¹ ziet wereldwijd tekorten optreden in de humane voeding. Met name in Azië, Afrika en Zuid-Amerika krijgen mensen via hun voeding te weinig zink en selenium binnen, hetgeen leidt tot diverse gezondheidsproblemen. In de westerse wereld treden deze gezondheidsproblemen niet op, onder meer door toepassing van een uitgebalanceerde bemesting, waarin tekorten voor de gewassen aangevuld kunnen worden, en door het gebruik van voedingssupplementen.

Van Rossum⁴² beschrijft dat de Nederlandse bevolking in 2007 – 2010 minder vitamine A, E en D via voeding binnen kreeg dan in 2003. Datzelfde geldt voor een aantal mineralen, zie Tabel 6. Voor sommige groepen leidt dat nu al tot een inname van een aantal mineralen die ligt onder de aanbevolen dagelijkse hoeveelheid (bijvoorbeeld ijzer voor vrouwen in de vruchtbare leeftijd, of calcium voor

adolescenten)⁴². In “Ons eten gemeten” beschrijven Van Kreijl en Knaap²⁵ dezelfde trends. Deze trends zijn een combinatie van veranderende voedingspatronen en veranderende gehalten in diverse voedingsmiddelen.

Tabel 6. Inname via de voeding en voedingssupplementen door Nederlandse volwassenen tussen 19 en 30 jaar van geselecteerde micronutriënten in 2003 en in 2007 - 2010⁴².

		Mannen		Vrouwen	
		2003	2007-2010	2003	2007-2010
Calcium	mg	1.164	1.091	968	918
IJzer	mg	12,9	11,8	10,5	9,8
Magnesium	mg	400	378	289	292
Fosfor	mg	1.839	1.753	1.308	1.329
Selenium	µg	54	53	42	42
Zink	mg	11,8	12,2	9,3	9,6
Vitamine B6	mg	2,4	2,4	1,8	2,0
Foliumzuur	µg	246	288	205	249
Vitamine D	µg	4,0	3,7	3,0	2,9
Vitamine E	mg	13,9	15,6	10,6	12,2

Samenvattend inname via voeding

In de loop der tijd zijn de mineralengehaltes in voedingsmiddelen (groenten en fruit) achteruit gegaan. Met name koper, magnesium, calcium, natrium, ijzer en kalium worden genoemd. Hierdoor krijgen consumenten in de loop der tijd met hun voeding minder binnen van een aantal vitamines (A, B, E, D) en mineralen (calcium, ijzer, fosfor, magnesium, selenium, zink). Dit kan zowel te maken hebben met de gehalten in de geconsumeerde gewassen als met een veranderend voedingspatroon.

4 Conclusies en aanbevelingen

In dit literatuuronderzoek is, op basis van informatie uit de wetenschappelijke en grijze literatuur een overzicht gegeven over de actuele kennis over de vraag of het gehalte aan nutriënten in Nederlandse landbouwbodems en in primaire producten voor menselijke voeding afneemt en over mogelijke oorzaken en oplossingen van een eventuele afname.

4.1 Trends in bodem en product

4.1.1 Neemt het nutriënten gehalte in (Nederlandse) landbouwbodems af?

Er is geen eenduidige trend dat het organische stofgehalte in Nederlandse landbouwbodems in de loop der tijd afneemt, hoewel er meetreeksen op diverse proefbedrijven zijn die wel een afname laten zien. Met name in intensieve rotaties met hoofdzakelijk minerale bemesting staat het organischestofgehalte onder druk. Toepassing van organische mest is een belangrijke maatregel om het organischestofgehalte, en daarmee het nutriënten leverend vermogen van landbouwbodems, op peil te houden.

In Nederlandse landbouwbodems is een afname te zien (van de hoeveelheid micronutriënten die voor landbouwgewassen beschikbaar is (zink, borium, fosfor, kalium, zwavel, calcium), zie Tabel 7. Ook wereldwijd worden in toenemende mate tekorten in landbouwbodems beschreven voor bijvoorbeeld borium, ijzer, koper, mangaan, molybdeen, zink, selenium).

4.1.2 Neemt het nutriënten gehalte in primaire producten voor menselijke voeding af?

Zowel nationaal als internationaal wordt gemeld dat de gehalten van verschillende mineralen (koper, magnesium, calcium, natrium, ijzer, kalium) en andere voedingsstoffen in primaire producten (groenten en fruit) in de loop der jaren afnemen (zie Tabel 7). Mogelijke oorzaken zijn onder meer de hoge opbrengsten van gewassen, waardoor een verdunningseffect m.b.t. gehalten aan mineralen en vitamines kan optreden, de wijze van bemesten (o.m. verdringing), afnemende gehalten in de bodem (zie paragraaf 2.2 en 4.1.1) en veredeling op hoge opbrengsten en op zoetere en minder bittere producten (zie paragraaf 3.1).

Tabel 7. mineralen waarvoor een afname wordt beschreven in de bodem, in voedingsmiddelen en/of in de humane voeding.

	Afnemend in de bodem	Afnemend in voedingsmiddelen	Tekorten in de humane voeding
Borium	X		
Calcium	X	X	X
Ijzer	X	X	X
Fosfor	X		X
Kalium	X	X	
Koper	X	X	
Magnesium		X	X
Mangaan	X		
Molybdeen	X		
Natrium		X	
Selenium	X		X
Zink	X		X
Zwavel	X		

4.1.3 Gaat de kwaliteit van de menselijke voeding achteruit?

In de loop der tijd zijn de gehalten in voedingsmiddelen (aardappelen, groenten en fruit) achteruit gegaan. Met name koper, magnesium, calcium, natrium, ijzer en kalium worden genoemd. Mensen krijgen in de loop der tijd met hun voeding van een aantal vitamines (A, B, E, D) en mineralen (calcium, ijzer, fosfor, magnesium, selenium, zink) steeds minder binnen (zie Tabel 7). Dit kan zowel te maken hebben met de gehalten in de geconsumeerde gewassen als met een veranderend voedingspatroon.

4.2 Kennishiaten

Hoewel er veel kennis beschikbaar is over de vraag óf nutriëntengehaltes in bodems en gewassen afnemen, is er nog weinig kennis beschikbaar over de vraag wat de oorzaken daarvan zijn, en nog minder over de vraag of er een directe relatie is tussen het nutriëntengehalte in de bodem en het gehalte in het op deze bodem gegroeide gewas en met – uiteindelijk - de gezondheid van de mens. Ook kennis over drempelwaardes is slechts beperkt beschikbaar. Bij welke waarde kan een bodem of een gewas 'gezond' genoemd worden?

Er is behoefte aan structureel, langjarig onderzoek om een duidelijker beeld te krijgen van dit voor landbouw, voeding en gezondheid zo belangrijke thema.

4.3 Aanbevelingen voor onderzoek

Op basis van dit literatuuronderzoek adviseren wij om ook de vervolgstappen in het voorgestelde project uit te voeren. Er zijn voldoende aanwijzingen dat de bodem- en productkwaliteit daadwerkelijk afnemen en er is voldoende perspectief om via de voorgestelde route een antwoord op de geformuleerde onderzoeksvragen te verkrijgen.

De route die wij voorstellen bestaat uit:

- Het analyseren van historische gegevens en oogstgegevens in 2016 en 2017 van het langjarige bemestingsproefveld Mest als Kans op trends die zich in de periode 1999 – heden hebben voorgedaan.
- Het verder gedetailleerd analyseren van de inhoudsstoffen in onze voedingsgewassen van de afgelopen 40-50 jaar met behulp van verdere historische NEVO-tabel analyse (RIVM).
- Het nader uitwerken en onderzoeken van de relatie tussen bodem- en gewaskwaliteit en de consequenties voor de menselijke voeding
- Het formuleren van oplossingsrichtingen voor het borgen van de kwaliteit van bodem en voedsel.

Daarbij zou de focus moeten liggen op de elementen ijzer, magnesium, zink, selenium, fosfor en calcium, aangezien deze elementen zowel in de bodem als in (gewassen voor) de humane voeding achteruit gaan. Op beide gebieden kunnen tekorten tot problemen leiden.

5 Literatuur

1. Ailincăi, C., G. Jitoreanu, D. Bucur, D. Ailincăi (2012); *Long-Term Effect Of Fertilizer And Crop Residue On Soil Fertility In The Moldavian Plateau*; Cercetări Agronomice În Moldova Vol. Xlv , No. 2 (150) / 2012
2. Bastein, T. and Van Bree, T. (2012); *Suppletie van micronutriënten uit de mijnbouw*. TNO report for LIS.
3. Blair, N., R.D. Faulkner, A.R. Till, G.J. Crocker (2006); *Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Part III: Tamworth crop rotation experiment*; Soil & Tillage Research 91 (2006) 48–56
4. Blair, N., R.D. Faulkner, A.R. Till, M. Korschens, E. Schulz (2006); *Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility; Part II: Bad Lauchstadt static and extreme FYM experiments*; Soil and tillage research 91 (2006) 39–47
5. Blair, N., R.D. Faulkner, A.R. Till, P.R. Poulton (2006); *Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Part I: Broadbalk experiment*; Soil & Tillage Research 91 (2006) 30–38
6. Brockhoff, A., M. Behrens, N. Roudnitzky, G. Appendino, C. Avonto, W. Meyerhof (2011); *Receptor Agonism and Antagonism of Dietary Bitter Compounds*. The Journal of Neuroscience, October 12, 2011, 31(41):14775–14782
7. Bussink, D.W. (2012); *Micronutriënten in de landbouw en beschikbaarheid in de bodem - Focus op koper en zink*; Nutrient Management Instituut
8. Capowiez, Y., S. Cadoux, P. Bouchant, S. Ruy, J. Roger-Estrade, G. Richard, H. Boizard (2009); *The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities, macroporosity and water infiltration*; Soil and tillage research 105 (2009) 209–216
9. Chua, H., X. Lin, T. Fujii, S. Morimoto, K. Yagi, J. Hu, J. Zhang (2007); *Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management*; Soil Biology & Biochemistry 39 (2007) 2971–2976
10. *Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegroondsgroententeelt (...); Handboek Bodem en Bemesting*; <http://www.handboekbodembemesting.nl>
11. Conijn, J.G., Lesschen, J.P., (2015); *Soil organic matter in the Netherlands; Quantification of stocks and flows in the top soil*; RI report 619 / Alterra report 2663. 68 pp.; 27 fig.; 15 tab.; 43 ref.
12. Dangour, A.D., Dodhia, S.K, Hayter, A., Allen, E., Lock, K., Uauy, R. (2009); *Nutritional quality of organic foods: a systematic review*; Am J Clin Nutr 2009;90:680–5
13. Davis, D.R. (2009); *Declining Fruit and Vegetable Nutrient Composition: What Is the Evidence?*; HORTSCIENCE VOL. 44(1)
14. Defra (2004); *Mineral and nutritional content of produce*;
15. Diacono, M., Montemurro, F. (2010); *Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review*; Agron. Sustain. Dev 30 (2010) 401–422
16. Edmeades, D.C. (2003); *The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review*; Nutrient Cycling in Agroecosystems 66: 165–180, 2003
17. Eekeren, N. van (2016); *Optimaal landgebruik voor bodemkwaliteit. V-focus, december 2016, p 34 – 35.*
18. Enwall, K., K. Nyberg, S. Bertilsson, Ha. Cederlund, J. Stenstrom, S. Hallin (2007); *Long-term impact of fertilization on activity and composition of bacterial communities and metabolic guilds in agricultural soil*; Soil Biology & Biochemistry 39 (2007) 106–115
19. Eurofins, diverse nieuwsberichten.
20. Han, X.Z., C. Song, F. Wang, B. F.J. Wang, W.X. Zou (2010); *Effect of long term fertilization on soil fertility and crop yield in a Udic Mollisol*; 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World
21. Hanegraaf, M. C., E. Hoffland, P. J. Kuikman, & L. Brussaard (2009); *Trends in soil organic matter contents in Dutch grasslands and maize fields on sandy soils*. European Journal of Soil Science, April 2009, 60, 213–222
22. Hartog, C. den, J.G.A.J. Hautvast en A.P. den Hartog (1980); *Nieuwe Voedingsleer*; Het Spectrum BV, 1980.
23. Herbalife website: http://www.herbalvitality.info/articles/nutrients_in_food.html
24. Hospers-Brands, A.J.T.M., T. Pollema, M. Bus. (2016) *Planty Organic: Voortgang 2015*. Louis Bolk Instituut, Driebergen. 37 p.

25. Kreijl, C.F. van en A.G.A.C. Knaap (red.). (2004); *Ons eten gemeten. Gezonde voeding en veilig voedsel in Nederland*. 2004. RIVM-rapport.
26. Kubat, J., J. Klir, D. Pova (2003); *The dry matter yields. Nitrogen uptake, and the efficacy of nitrogen fertilisation in long-term field experiments in Prague*; *Plant Soil Environ.* 49, 2003 (8): 337-345
27. Lee, R.L., J.M. Kofonow, P.L. Rosen, A.P. Siebert, B. Chen, L. Doghramiji, G. Xiong, N.D. Adappa, J.N. Palmer, D.W. Kennedy, J.L. Kreindler, R.F. Margolskee; N.A. Cohen (2014); *Bitter and sweet taste receptors regulate human upper respiratory innate immunity*. *Clin Invest.* 2014;124(3):1393–1405. doi:10.1172/JCI72094.
28. Maljaars, C., (2016); *Vruchtbaarheid Zeeuwse bodem gaat structureel achteruit*; CZAV
29. Manna, M.C., A. Swarup, R.H. Wanjari, B. Mishra, D.K. Shahi (2007); *Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields*; *Soil and Tillage research* 94(2007), 397-409
30. Marschner, P., E. Kandeler, B. Marschner (2003); *Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment*; *Soil Biology & Biochemistry* 35 (2003) 453–461
31. Mayer, A.M. (1997); *Historical changes in the mineral content of fruits and vegetables*; *British Food Journal* 99/6 [1997] 207–211
32. Merbach, I. en E. Schulz (2012); *Long-term fertilization effects on crop yields, soil fertility and sustainability in the Static Fertilization Experiment Bad Lauchstadt under climatic conditions 2001–2010*; *Archives of Agronomy and Soil Science* Vol. 59, No. 8, 1041–1057,
33. Merbach, W., F. Herbst, H. Eißner, L. Schmidt, A. Deubel (2012); *Influence of different long-term mineral–organic fertilization on yield, nutrient balance and soil C and N contents of a sandy loess (Haplic Phaeozem) in middle Germany*; *Archives of Agronomy and Soil Science* Vol. 59, No. 8, 1059–1071,
34. Meyer, R.S., A.E. DuVal en H.R. Jensen (2012); *Patterns and processes in crop domestication: an historical review and quantitative analysis of 203 global food crops*; *New Phytologist* (2012) 196: 29–48
35. Murphy, K.M., P.G. Reeves, S.S. Jones (2008) *Relationship between yield and mineral nutrient concentrations in historical and modern spring wheat cultivars*. *Euphytica* (2008) 163:381–390
36. Neumann, D., A. Heuer, M. Hemkemeyer, R. Martens en C.C. Tebbe (2013); *Response of microbial communities to long-term fertilization depends on their microhabitat*; *FEMS Microbiol Ecol* 86 (2013) 71–84
37. NEVO tabellen: <http://nevo-online.rivm.nl/>
38. Rasool, R.L., S.S. Kukal, G.S. Hira (2007); *Soil physical fertility and crop performance as affected by long term application of FYM and inorganic fertilizers in rice–wheat system*; *Soil and tillage research* 96 (2007) 64–72
39. Reijneveld, A, J. van Wensem, O. Oenema (2009); *Soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004*. *Geoderma* 152 (2009) 231–238
40. Rodale Institute (2011); *The Farming Systems Trial: Celebrating 30 years. Kutztown, Pennsylvania*
41. Rodríguez, I.G. (2016); *Fate of phosphorus in soil during a long term fertilization experiment in southern Finland*; Proefschrift
42. Rossum, C.T.M. VAN, ET AL (2010); *Dutch National Food Consumption Survey 2007-2010. Diet of children and adults aged 7 to 69 years*
43. Sainju, U, B.P. Singh, W.F. Whitehead (2002); *Long-term effects of tillage, cover crops and nitrogen fertilisation on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA*; *Soil and tillage research* 63(2002) 167-179
44. Sait, G. (2016); *Seminar A healthy soil will benefit us all*. Soiltech. 2016.
45. Spiegel, H., G. Dersch, A. Baumgarten and J. Hösch (2010); *The International Organic Nitrogen Long-term Fertilisation Experiment (IOSDV) at Vienna after 21 years*; *Archives of Agronomy and Soil Science* Vol. 56, No. 4, August 2010, 405–420
46. Staps, J.J.M., C. Ter Berg, A. van Vilsteren, E.T. Lammerts van Bueren en T.H. Jetten. (2015). *Van bodemdilemma's naar integrale verduurzaming – Casus: Vruchtbaar Flevoland, van bodemdegradatie en diepploegen naar integrale duurzame productie in Flevoland*. RIDLV-rapport.
47. Staps, S., M. Zanen en C. ter Berg (2015); *Bodemvruchtbaarheid behouden: bijdragen van boer tot burger*. 2015. Brochure Louis Bolk Instituut.
48. Sukkel, W. (2016); Presentatie congres beter Bodembeheer

49. Thomas, D. (2003); *A Study on the Mineral Depletion of the Foods Available to us as a Nation over the Period 1940 to 1991*. Nutrition and Health 2003 17: 85
50. Thomas, D. (2007); *The mineral depletion of foods available to us as a nation (1940–2002)*. A Review of the 6th Edition of McCance and Widdowson. Nutrition and Health, 2007, Vol. 19, pp. 21–55.
51. Udo de Haes, H.A. et al (2012); *Schaarste van micronutirenten in bodem, voedsel en minerale voorraden – Urgentie en opties voor beleid*.
52. Voortman, R.L.(2012); *Micronutrients in agriculture and the world food system – future scarcity and implications*; Centre for World Food Studies (SOW-VU), Vrije Universiteit, Amsterdam
53. Voortman, R.L. and Spiers, B. (2010); The use of local ecological knowledge and bio-indication for the development of effective fertilizer Technologies; the case of Angonia district, Mozambique. In: Voortman, R.L. Explorations into African land resource ecology; on the chemistry between soils, plants and fertilizers (PhD thesis). Gildeprint Drukkerijen, Enschede.
54. Willems, W.J., B. Fraters, C.R. Meinardi, H.F.R. Reijnders, C.G.E.M. van Beek (2002); *Nutriënten in bodem en grondwater: Kwaliteitsdoelstellingen en kwaliteit 1984-2000*; RIVM rapport RIVM rapport 718201004
55. Zang, Y., X. Wei, M. Hao (2015); *Long-Term Effect of Crop Rotation and Fertilisation on Bioavailability and Fractionation of Copper in Soil on the Loess Plateau in Northwest China.*; PlosOne 10(12): e0145370

Bijlage 1: Functies van nutriënten

(bron: <http://dier-en-natuur.infonu.nl/bloemen-en-planten/68787-nutrienten-voor-planten-welke-voeding-hebben-planten-nodig.html>)

Micronutriënten

Molybdeen	Dit is een relatief onbekend element. Het is nodig voor stikstoffixatie en nitraatreductie. Kortom, het is nodig om stikstof in de plant te krijgen.
Nikkel	Nikkel is nodig enzymen te laten functioneren zodat de stikstofomloop kan blijven plaatsvinden.
Koper	Koper is een onderdeel van verschillende enzymen voor oxidatie- en reductie- reacties in planten. Zonder koper kunnen deze reacties – die nodig zijn voor onder andere fotosynthese – niet blijven doorgaan.
Zink	Onderdeel van verschillende enzymen.
Mangaan	Nodig om de chloroplasten (bladgroenkorrels) stevig te houden en om zuurstof vrij te laten komen.
Borium	Verstevt membranen.
Ijzer	Nodig om bladgroenkorrels te maken.
Chloor	Nodig om de zoutbalans te handhaven en om andere nutriënten via de wortels op te nemen. Speelt vermoedelijk een rol in de fotosynthese.

Macronutriënten

Zwavel	Onderdeel van verschillende aminozuren en eiwitten.
Fosfor	Onderdeel van het energietransport binnen de plant.
Magnesium	Onderdeel van bladgroenkorrels.
Calcium	Onderdeel van celwanden, versterkt cellen.
Kalium	Activeert verschillende enzymen, speelt een rol in de zoutbalans van de plant en in het openen van de huidmondjes. Hierdoor kan de plant CO ₂ opnemen.
Stikstof	Onderdeel van onder andere aminozuren en bladgroenkorrels.