Louis Bolk Instituut

Gezonde bodem ... gewas/vee ... voeding ... mens

Peter Keijzer, Floor van Malland, Maaike van Agtmaal, Nick van Eekeren, Gerda Pot, Peter Voshol

© 2020 Louis Bolk Instituut

Gezonde bodem … gewas/vee … voeding … mens

ir. Peter Keijzer, Floor C. van Malland MSc,
Dr. Maaike van Agtmaal, Dr. Nick J.M. van Eekeren,
Dr. ir. Gerda K. Pot, Dr. Peter J. Voshol

Publicatienummer 2020-035 LbP

61 pagina's

Deze publicatie is beschikbaar via www.louisbolk.nl/publicaties

Foto voorpagina: rode biet in POP3 project BioKwaliteit Gelderland (Merlijn van den Berg)

Foto laatste pagina: Markus Spiske (www.pexels.com)

www.louisbolk.nl
info@louisbolk.nl
T 0343 523 860
Kosterijland 3-5
3981 AJ Bunnik
@LouisBolk

Louis Bolk Instituut: Onderzoek en advies ter bevordering van duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Inhoud

1 Inleiding **4**
1.1 Het maatschappelijk thema 4
1.2 Uit de opdracht van LNV 4
1.3 Ons vertrekpunt 5
1.4 De aanpak 7

2 Macro- en micronutriënten **9**
2.1 Bodem: Macro- en micronutriënten 9
2.2 Plant: Macro- en micronutriënten 13
2.3 Dier: Macro- en micronutriënten 16
2.4 Mens: Macro- en micronutriënten 17

3 Secundaire metabolieten **21**
3.1 Bodem: secundaire metabolieten 21
3.2 Plant: secundaire metabolieten 22
3.3 Dier: secundaire metabolieten 24
3.4 Mens: secundaire metabolieten 25

4 Microbioom **27**
4.1 Bodem: Microbioom 27
4.2 Plant: Microbioom 32
4.3 Dier: Microbioom 33
4.4 Mens: Darmmicrobioom en gezondheid 34

5 Overige factoren **37**
5.1 Bodem: antibiotica 37
5.2 Plant: antibiotica 37
5.3 Dier: voorkomen en verspreiding van antibiotica resistentiegenen 38
5.4 Mens: antibiotica en resistentiegenen 39

6 Conclusies **40**
6.1 Conclusies naar aanleiding van de vragen uit het plan van aanpak 40
6.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek 45

7 Samenvatting **48**
7.1 Nutriënten 48
7.2 Secundaire metabolieten 49
7.3 Microbioom 50
7.4 Antibiotica 52
7.5 Conclusies 53

Literatuur **53**

1 Inleiding

1.1 Het maatschappelijk thema

In het maatschappelijk debat is de afname in bodemkwaliteit van landbouwgrond en de kwaliteit van producten zoals granen, groente en fruit die hiervan worden geoogst al jaren een veelbesproken onderwerp. In dit debat worden inhoudsstoffen zoals macro- en micronutriënten en secundaire metabolieten (waaronder antioxidanten) genoemd en het microbioom, naast een voor consumenten grijpbaarder onderwerp als de smaak van geoogste producten. Het maatschappelijke thema strekt zich verder uit dan de landbouw, bodem en gewas alleen en wordt vaak direct gelinkt aan de gezondheid van ons als mens.

Dit thema komt ook terug in het wetenschappelijk onderzoek. Onderwerpen die worden onderzocht zijn bijvoorbeeld de relatie tussen bodemkwaliteit/bodemleven en ziektewerendheid voor gewas en vee, nutriëntengehalte van nieuwe en oude rassen en historische ontwikkeling van bodemvruchtbaarheid. Maar ook bijvoorbeeld de afbraak van antibiotica door het bodemleven, en de relatie tussen voeding en de gezondheid van de mens via het darmbioom.

Het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit wil weten of er een relatie is te leggen tussen een gezonde bodem, een gezond gewas, gezonde voeding en uiteindelijk gezondheid bij de mens. Om met die kennis desgewenst haar beleidsinstrumentarium aan te vullen.

1.2 Uit de opdracht van LNV

'In Nederland zijn de thema's voedselzekerheid en -veiligheid redelijk goed op orde. Er is discussie over humane gezondheid: verschillende onderzoeken wijzen uit dat de gehalten aan inhoudsstoffen (vitaminen, mineralen, micronutriënten) van producten uit de intensieve landbouw de afgelopen decennia sterk zijn terug gelopen. Consumenten moeten steeds meer groenten (o.a.) eten om benodigde hoeveelheid vitaminen en micronutriënten binnen te krijgen. In het onderzoek naar gezonde voeding is de relatie bodem (bodemvruchtbaarheid en -gezondheid, gezondheid gewas (inhoud stoffen, micronutriënten e.a.)) en gezondheid mens, een onderbelicht thema. Naast het belang van gezonde producten voor de volksgezondheid is een belangrijke vraag hoe ondernemers de waardenpropositie en verdienmodellen van deze productstrategie zien. De beoogde transitie van het verdienmodel van de landbouw is een beweging van schaal en prijs gedreven naar een kwaliteit gedreven landbouw die produceert voor kwaliteitsmarkten in binnen en buitenland. Humane Gezondheid als basis en driver voor de transitie naar meer duurzame landbouw, geworteld in een gezonde bodem, met aantoonbaar hogere productkwaliteit in termen van inhoudsstoffen en smaak. Kortom, producten met een goed en gevalideerd verhaal. Wat is er nodig om een goed verdienmodel voor deze product-markt strategie te ontwikkelen? Wat zijn de belemmeringen?

Het Ministerie heeft belang bij kennis over dit thema om meer zicht te krijgen op de potentie van humane gezondheid als basis en driver voor de transitie van schaal en prijs gedreven landbouw naar een landbouw die produceert voor kwaliteitsmarkten.

Het onderzoek naar dit thema bevindt zich in een pril stadium. Er zijn verschillende publicaties geschreven over dit thema, maar er bestaat geen goed overzicht van de kennis c.q. onderzoek naar de relatie tussen kwaliteit bodem, kwaliteit gewas en gezondheid. Over de potentie van het verdienpotentieel (waardenproposities en verdienmodellen) is nog minder bekend.'

Binnen de opdracht verzoekt het ministerie van LNV het Louis Bolk Instituut een literatuurstudie te verrichten naar de relatie tussen een gezonde (landbouw)bodem, gezonde gewassen en vee daarop, gezonde voeding daaruit voortkomend en leidend tot meer gezondheid bij de mens. Daar gaat voorliggend document over.

Het andere deel van de opdracht, een inventarisatie van gebruikte drivers en waardenproposities bij ondernemers in de keten die een gezonde bodem als uitgangspunt en/of doel hanteren in hun businessmodel is verricht door Zsuzsan Proos van Future Food Next en wordt separaat van deze literatuurstudie gerapporteerd.

1.3 Ons vertrekpunt

Het onderzoek naar de relatie tussen humane gezondheid en de gezondheid en vitaliteit van de bodem bevindt zich in een beginnend stadium, ondanks dat er al jaren over wordt gesproken en in beperkte mate gepubliceerd. Deze relatie gaat in onze visie verder dan puur een fysieke gezondheid of 'afwezigheid van ziekte' (Huber *et al*, 2011).

In het maatschappelijk debat blijkt al snel een Babylonische spraakverwarring te ontstaan omdat sprekers vertrekken vanuit eigen wereldbeelden en opvattingen die soms sterk uiteenlopen. Dat is niet bevorderlijk voor het onderling begrip. Om spraakverwarring naar aanleiding van dit rapport te voorkomen beginnen we met enkele definities, die onze visie op 'gezondheid' nader omschrijven.

Definitie gezonde bodem

Bodemkwaliteit werd voor het eerst officieel gedefinieerd als "**de capaciteit van een bodem om te functioneren binnen de grenzen van een ecosysteem, waarbij de biologische productiviteit wordt ondersteund, de kwaliteit van de omgeving wordt behouden en de gezondheid van planten en dieren wordt bevorderd**" (Doran and Parkin, 1994). Als de chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen in evenwicht zijn kan worden gesproken van een 'gezonde' bodem.

Definitie gezond gewas

Een gezond gewas is meer dan een gewas vrij van ziekten en plagen. De definitie van plantgezondheid loopt in de literatuur nogal uiteen. Döring (2012) geeft een uitgebreid overzicht van hoe deze definitie vanuit verschillende invalshoeken kan variëren.

Door een aantal van deze benaderingen bij elkaar te voegen komen wij tot onze eigen definitie: **Een gezond of vitaal gewas groeit optimaal binnen lokale randvoorwaarden en beperkingen van bodem, vocht, nutriënten, licht en ruimte zodanig dat de planten tot normale wasdom en ontwikkeling komen en zo nodig zelf in staat zijn aanvallen van ziekten en plagen af te slaan.**

Definitie gezond vee

De definitie van dierenwelzijn is in 1965 door de Brambellcommissie geformuleerd met de aanname dat dierenwelzijn was gediend wanneer dieren gevrijwaard zijn van: honger, dorst of onjuiste voeding, thermaal en fysiek ongerief, verwonding of ziekten, angst en chronische stress en dieren vrij zijn om een normaal, soorteigen gedragspatroon te vertonen. In de diergeneeskunde word het concept dierenwelzijn en diergezondheid vanuit een (patho)biologisch perspectief (het continuüm van gezond en ziek) in relatie tot ethische waarden en normen (bijvoorbeeld het erkennen van een intrinsieke waarde van dieren) bekeken. Definitie: **Een individu verkeert in een staat van welzijn wanneer het in staat is zich actief aan zijn levensomstandigheden aan te passen en daarmee een toestand kan bereiken die he*t als* positief ervaart.**

Definitie humane gezondheid

Vanuit het Louis Bolk Instituut houden wij graag voor humane gezondheid de definitie aan zoals die is omschreven door Huber *et al* (2011) ***'Gezondheid als het vermogen zich aan te passen en een eigen regie te voeren, in het licht van de fysieke, emotionele en sociale uitdagingen van het leven.'*** Zeker gezien het feit dat we in de Westerse wereld nu vooral te kampen hebben met chronische welvaartsziekten. Op dit moment gaat in Nederland 95% van het zorgbudget naar het bestrijden van ziekte. Het is niet wenselijk dat patiënten en de gezondheidszorg hun focus vrijwel uitsluitend op ziekte houden, terwijl - ondanks ziekte - een kwalitatief hoogwaardig en zinvol leven mogelijk is.

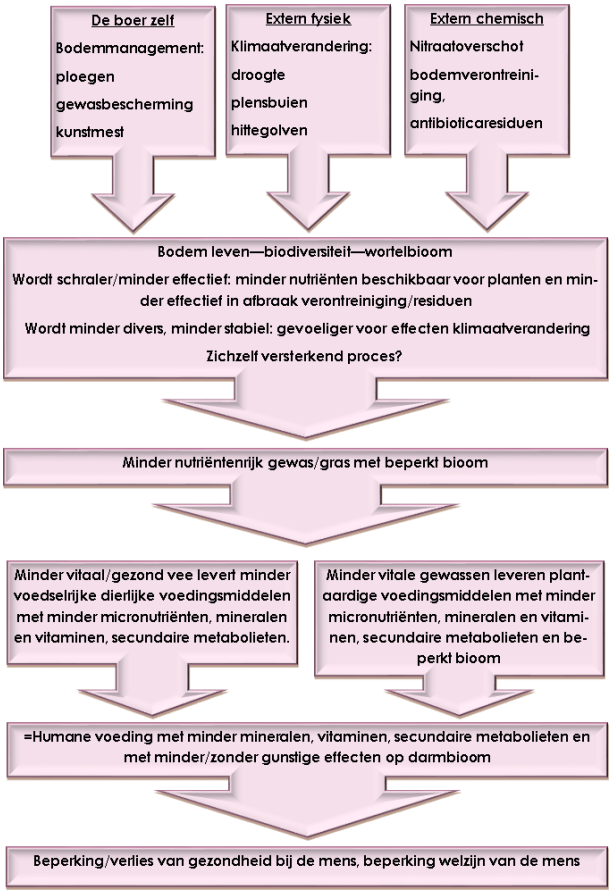
Hierbij omarmen we het concept **Positieve Gezondheid** (Huber *et al*, 2011) wat staat voor een brede kijk op gezondheid en welbevinden. Belangrijk is dat gezondheid niet meer als een statische conditie wordt beschouwd, maar als het dynamische vermogen van mensen om zich met veerkracht (*resilience*) aan te passen, en zelf regie te voeren over hun welbevinden. Onder deze bredere gezondheid van de mens valt ook de beleving van onze omgeving en de natuur. Een groene omgeving biedt rust, nodigt uit tot beweging en kan bijdragen aan herstel en behoud van gezondheid (Brindley *et al*, 2018; Mills *et al*, 2019). Er zijn voldoende

aanwijzingen dat groen en leefbaarheid goed samen gaan (LBI positieve-gezondheid-en-leefomgeving).

De recente crises, zoals de Covid- en stikstof-crisis, laten zien dat ons huidig voedselsysteem onder druk staat en er is toenemende interesse in duurzamere en gezondere voedingspatronen, wat ook bleek uit onze eigen Louis Bolk enquête (LBI Vragenlijstonderzoek-COVID-19-en-de-toekomst-van-Nederland). Circa 9,9 miljoen Nederlanders hebben één of meerdere chronische aandoeningen (RIVM 2018). Leefstijlinterventies tonen aan dat mensen gezonder kunnen eten, bijvoorbeeld meer en meer diverse groenten en fruit, en daarmee hun gezondheid kunnen verbeteren (Duijzer *et al*, 2017; Sun *et al*, 2017; Pot *et al*, 2020) . Een spoor daarin is wellicht startend bij een gezonde bodem levert een gezond gewas, gezondere voeding en bijdrage aan gezondheid voor de mens.

1.4 De aanpak

Met bovenstaande definities is gericht gezocht naar literatuur om de hypothetisch veronderstelde negatieve effecten van bodemuitputting, verschraald bodemleven, minder vitaal gewas en vee, minder gezonde voeding en uiteindelijk minder gezondheid bij de mens te onderbouwen dan wel te ontkrachten. Daarvoor is een cascade van veronderstelde negatieve effecten gebruikt om de gedachten te ordenen (Figuur 1).



Figuur 1. Hypothetisch veronderstelde cascade van negatieve 'gezondheids'effecten in de keten van bodem via gewas en vee via voeding naar gezondheid bij de mens.

Globaal hebben we telkens ingezoomd op achtereenvolgens 'bodem', 'plant' en 'mens', om op die manier zoveel als mogelijk binnen het bescheiden budget en vooral korte tijdsframe toch zoveel mogelijk helderheid te verschaffen.

Daarbij hebben we keuzes moeten maken om ons onderzoek in te perken. We kijken daarom wel naar antibiotica maar niet naar (residuen van) gewasbeschermingsmiddelen of bodemverontreiniging. Naar de effecten van gewasbeschermingsmiddelen op het milieu en de gezondheid van de mens ging dit jaar in Wageningen het vijfjarige internationale onderzoeksproject SPRINT-project-van-start .

2 Macro- en micronutriënten

2.1 Bodem: Macro- en micronutriënten

Bodemkwaliteit

De aandacht voor een goede of gezonde bodemkwaliteit neemt toe. Afhankelijk van de functie die we aan een bodem toewijzen, kunnen de criteria om bodemkwaliteit te beoordelen nogal verschillen, variërend van draagkracht tot waterbergend vermogen, CO_2 vastlegging of nutriëntengehalte. Een uitgebreide definitiestudie is mede door het Louis Bolk uitgevoerd waarin de belangrijkste aspecten van een gezonde bodem zijn toegelicht (Cuijpers *et al*, 2008). Over het algemeen is bodemkwaliteit onlosmakelijk verbonden met de dynamiek van koolstof (C) in de bodem en organische stof, die op hun beurt een directe invloed hebben op de fysische, chemische en biologische samenstelling van de bodem. Als de chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen in evenwicht zijn kan gesproken worden van een 'gezonde' bodem.

Fysische eigenschappen van de bodem

Fysische eigenschappen van de bodem zoals structuur, porositeit en dichtheid hebben een directe invloed op de diepte en intensiteit van beworteling door planten en de beschikbaarheid van water en beluchting, wat weer invloed heeft op een gezonde groei bij planten. Wanneer de porositeit van de bodem vermindert is er sprake van verdichting. Bodemverdichting verhoogt de benodigde druk die de plantenwortel moet uitoefenen om te groeien en tegelijkertijd neemt de bodembeluchting af wat een direct negatief effect heeft op de wortelgroei (Reeve *et al*, 2016). Een verminderde wortelgroei beperkt de plant in zijn zoektocht naar nutriënten en water in de bodem en kan de effecten van concurrentie door onkruid vergroten. Daarnaast zorgt bodemverdichting voor een verminderde waterinfiltratie en watervasthoudend vermogen van de bodem. Minder vocht in de bodem heeft een negatief effect op de nutriëntenopname van planten. Meer organische stof in de bodem, meer vruchtwisseling en het gebruik van bodembedekkers verlaagt de dichtheid van de bodem en laat de porositeit toenemen (Seiter en Horwath, 2014). Grondbewerking beïnvloedt de fysische bodemstructuur en wordt toegepast om een goede omgeving te creëren voor optimale plantengroei.

Er lijken aanwijzingen te zijn dat de fysische bodemstructuur in Nederland gemiddeld genomen verslechtert. Oorzaken van deze achteruitgang zouden kunnen liggen enerzijds in natuurlijke processen (inklinking, rijping e.d.), maar daarnaast ook in economische processen waardoor korte termijn rendement prevaleert boven lange-termijn zorg voor de bodem (Hospers-Brands *et al*, 2016; Staps *et al*, 2015) en/of sociale frames waarin bijvoorbeeld 'vooruitgang' wordt geassocieerd met mechanisatie met steeds meer vermogen, maar daarbij ook steeds meer gewicht van machines, met extra verdichting als gevolg.

Chemische eigenschappen van de bodem

Organische stof (SOM=Soil Organic Matter) is een directe bron met langzaam afgevende nutriënten, verbetert de chelatie van micro-elementen, helpt de pH van de bodem te bufferen en verhoogt de uitwisselingscapaciteit tussen kationen- en anionen in de bodem die de beschikbaarheid van plantvoedingsstoffen verbetert (Weil en Magdoff, 2004). De hoeveelheid aanwezige SOM in de bodem is een belangrijke factor voor de chemische eigenschappen van de bodem en is van belang voor een goede, gezonde plantengroei en gewasopbrengst. Bij de afbraak van organische stof door het bodemleven worden de nutriënten vrijgemaakt die essentieel zijn voor de groei van het gewas. Deze afbraak door het microbiële bodemleven komt tot stand in samenwerking met grotere bodemorganismen zoals regenwormen.

Planten kunnen de afbraak van organische stof actief stimuleren door vanuit hun wortels signaalstoffen of exudaten af te geven in het wortelmilieu (Moore *et al*, 2019, Kuzyakov *et al*, 2000). Deze wortelexudaten bevatten suikers en andere stoffen zoals aminozuren die de groei van de microben in de nabijheid van de plant, de rhizosfeer, stimuleren (Hu *et al*, 2018). Deze microben worden hierdoor aangezet tot de afbraak van SOM. Dit fenomeen wordt ook wel '*priming*' genoemd (Kurzyakov *et al*, 2010). Daarnaast is er ook competitie tussen de microbiële gemeenschap en de plant voor de vrijkomende stikstof uit afbraak (Kurzyakov *et al*, 2013). Dat laatste heet ook wel 'biological nitrification inhibition'(BNI) en kan helpen in de reductie van broeikasgasemissies. Het is dan ook belangrijk dat planten dit op een zo efficiënt mogelijke manier doen. Selectie van planten (door middel van verdeling) met een efficiëntere BNI zou uitkomst kunnen bieden voor optimale plantengroei en milieu (Subbarao *et al,* 2009).

Biologische eigenschappen van de bodem

Het bodemleven beslaat ongeveer 5% van de SOM. Op een melkveebedrijf zit in en onder de graszode ongeveer 4.500 kg levend gewicht aan bodemleven per hectare. Dat is gelijk aan het gewicht van 7 melkkoeien op diezelfde graszode. Grootste organismen in het bodemleven zijn de regenwormen. Daarnaast bestaat het bodemleven uit bacteriën, schimmels, protozoën, nematoden (aaltjes), springstaarten, mijten en potwormen. Qua gewicht bestaat het bodemleven voor 15% uit regenwormen en ongeveer 70% uit bacteriën.

Bodemleven maakt nutriënten beschikbaar. Regenwormen trekken takjes en blaadjes de grond in. Grazers zoals bacteriën en schimmels leven van dood organisch materiaal, en vormen op hun beurt weer voedsel voor predatoren zoals protozoën, nematoden, springstaarten en mijten. Op hun beurt worden deze predatoren ook weer gegeten. Bij elke stap in de voedselketen wordt mest/poep geproduceerd, wat bijdraagt aan de mineralisatie en de beschikbaarheid van nutriënten voor planten.

Bodemleven is ook belangrijk voor de bodemstructuur. Bacteriën plakken als het ware met slijmvorming gronddeeltjes aan elkaar en schimmels houden met hun schimmeldraden bodemdeeltjes vast. Bodembewonende regenwormen eten elke dag hun lichaamsgewicht aan grond en mengen hiermee bodemdeeltjes. Door het mengen wordt de organische stof beter verdeeld. De activiteit van regenwormen zorgt voor toename van het luchtvolume in de grond en een afname van de indringingsweerstand. Hierdoor kan de beworteling en de nutriëntenopname van het gewas verbeteren.

Afname bodemvruchtbaarheid van landbouwbodems in de tijd: organische stof

Het Louis Bolk heeft in 2016 een literatuurstudie uitgevoerd naar 'Trends in bodem- en gewaskwaliteit' (Hospers-Brands *et al*, 2016). Hier werd geen eenduidige trend gevonden dat het organische stofgehalte in Nederlandse landbouwbodems in de loop van de tijd afneemt, hoewel er meetreeksen op diverse proefbedrijven zijn die individueel wel een afname laten zien. Ook uit het buitenland zijn er uiteenlopende berichten. Met name in intensieve gewasrotaties met hoofdzakelijk minerale bemesting staat het organische stofgehalte vaak wel onder druk. Toepassing van organische mest is een belangrijke maatregel om het organische stofgehalte op peil te houden. Onderzoek in Duitsland door Weismeijer *et al* (2016) laat een afname in organisch koolstof in de bodem zien, maar blijkt dit vooral afhankelijk te zijn van temperatuur en bodemvochtigheid. Met behulp van modellen werd vervolgens berekend dat de verwachte klimaatverandering een afname van organische koolstof in de bodem zal teweegbrengen. Het model toont een afname van 11–16% onder een verwachte gemiddelde temperatuurstijging van 3,3 ° C bij ongewijzigde C-input. Voor het scenario van 20% verminderde C-input zullen de voorraden naar verwachting met 19–24% afnemen. Opmerkelijk genoeg leidde zelfs het optimistische scenario van 20% verhoogde C-inputs nog steeds tot een verlaging van 3-8% organische koolstof (Wiesmeier *et al*, 2016). Verschillen in bijvoorbeeld grondsoorten in Duitsland en Nederland maakt dat gegevens uit Duitsland niet 1-op-1 van toepassing hoeven te zijn op de Nederlandse situatie.

Afname bodemvruchtbaarheid van landbouwbodems in de tijd: nutriënten

Ten aanzien van diverse macro- en micronutriënten in de bodem zijn er wel duidelijke aanwijzingen dat deze in diverse regio's in de wereld een duidelijke afname laten zien. Wereldwijd komen er tekorten in landbouwbodems voor. Met name in Azië, Afrika en Zuid-Amerika ziet men tekorten in zink, borium en molybdeen (Voortman, 2012). Bij langjarige bemestings- en rotatie- experimenten in China werd zichtbaar dat er tussen 1984 en 2001 van alle micronutriënten de beschikbaarheid is afgenomen (Zang *et al*, 2015). Daarentegen laat onderzoek van Fan en coauteurs uit 2008 aangehaald in Marles (2017) aan de hand van gearchiveerde en vers genomen bodemmonsters van steeds overeenkomstige locaties in Groot-Brittannië van het Broadbalk Wheat Experiment met elk een eigen consistent intensief bemestingsregime geen afname van beschikbare nutriënten zien (Lovegrove *et al*, 2020).

In Nederland ziet Eurofins in hun historische analysegegevens uit bemesting-adviseringsonderzoek deze tekorten wel optreden. Een aantal door Eurofins genoemde voorbeelden daarvan zijn (aangehaald in Hospers-Brands *et al*, 2016):

- **Zink** is afgenomen door strengere bemestingsnormen, minder depositie, minder zink in veevoer en daardoor minder in mest. Zink wordt voornamelijk aangevoerd met bemesting.

- **Borium** is een zeer mobiel element dat weinig gebonden wordt aan bodemdeeltjes. Het is daardoor gevoelig voor uitspoeling. Een boriumtekort verslechtert de efficiëntie van fosfaat. De hoeveelheid borium die in Nederlandse landbouwbodems beschikbaar is voor de gewassen is in de periode 2005 - 2013 met 10% afgenomen. Borium wordt onder meer aangevoerd door dierlijke mest. Ook kan het vrijkomen door mineralisatie van organische stof.

- **Fosfaat** is door de import van grote hoeveelheden veevoer in Nederlandse bodems zo sterk toegenomen dat op vele plaatsen sprake was van een overschot. 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 2014. Fosfaat wordt aangevoerd met bemesting, en komt vrij door mineralisatie uit bodemorganische stof.

- **Kalium** in Nederlandse landbouwbodems neemt af. Doordat er minder drijfmest wordt toegepast wordt ook minder kalium aangevoerd. Bovendien neemt het kaliumgehalte in de gebruikte mest af en spoelt kalium snel uit. Niet alleen de hoeveelheid plantbeschikbaar kalium neemt af, ook de hoeveelheid kalium die gebonden is aan de kleimineralen in de bodem (kali in CEC). Teeltmaatregelen om dit te ondervangen zijn onder meer bekalken en het bewust verhogen van het organische stofgehalte. Kalium wordt voornamelijk aangevoerd met bemesting.

- **Zwavel** depositie is drastisch afgenomen, van 45 tot 50 kg S/ha in 1981 naar 8 kg S per ha in 2010. Zwavel komt met name beschikbaar voor planten door mineralisatie uit organische stof maar kan ook via minerale bemesting worden aangevoerd.

- **Calcium** wordt steeds vaker in te lage gehaltes gevonden in Nederlandse landbouwbodems. Calcium kan via minerale bemesting worden aangevoerd.

Vaak wordt bemesting en irrigatie gericht toegepast voor een snelle gewasgroei en resulteert dit in het optreden van andere gemaskeerde tekorten van nutriënten; het zogenoemde verdunningseffect. Bovendien is er interactie tussen de verschillende nutriënten bij opname in de cellen van de plant en wordt de opname beïnvloed door verschillen in floëemtransport. Bijvoorbeeld hoge doses stikstof-meststof beperken de opname van calcium waardoor de kwaliteit van appels (stevigheid vruchtvlees) vermindert (Marcelle, 1995).

De laatste decennia zijn er veel langlopende studies over landbouw- en bemestingssystemen gestart, waarvan sommige nog lopen. Bij deze studies wordt zichtbaar dat een ruime en diverse vruchtwisseling, toepassing van groenbemesters en dierlijke mest positieve effecten hebben op bodemvruchtbaarheid, plantengroei en plantgezondheid (Reeve *et al*, 2016).

2.2 Plant: Macro- en micronutriënten

Functie van macro- en micronutriënten in de plant

Planten hebben nutriënten nodig om te groeien en gezond te blijven. De bekendste voorbeelden zijn stikstof, fosfor, kalium, magnesium, zwavel en calcium, en de sporenelementen ijzer, mangaan, koper, boor, silicium, zink en molybdeen. Mineralen zijn voor een plant noodzakelijk voor de groei (P), aanmaak van eiwitten en DNA (S, N), fotosynthese (N, K, Cu), energievoorziening, transport, wortelontwikkeling (Zn), stevigheid cel (Ca, Si, Zn) vochthuishouding (K, Na), droogteresistentie (K), aanmaken van bladgroen (Fe) en celstrekking en deling (B).

Mineralentekort

Een tekort van mineralen vermindert de gezondheid van de plant wat weer effect heeft op het oogstbare product. Wanneer er nutriënten ontbreken, kunnen belangrijke moleculen zoals chlorofyl, DNA, RNA, eiwitten en vetten niet worden opgebouwd. In het algemeen remt een mineralentekort de groei van de plant en neemt de gevoeligheid voor ziektes toe. Een tekort aan mineralen laat zich vaak zien door chlorose van de bladeren, kleinere bladeren of algehele dwerggroei. Naast de beschikbaarheid van deze mineralen in de bodem, hebben de bodemomstandigheden effect op de opname van de mineralen door de plant. Zo wordt bijvoorbeeld de opname van ijzer voor de plant beïnvloed door de pH van de bodem (Hochmuth, 2011). Ook voldoende beluchting van de bodem en de gezondheid van de wortel speelt een rol bij de opname van mineralen.

Een voorbeeld van een mineralentekort op het eindproduct van een gewas is calcium gebrek bij aardappel. Dit veroorzaakt bruine vlekken in de knol, waardoor de geoogste knollen onverkoopbaar worden (Kleinhenz *et al*, 1999).

Mineralenovermaat

Niet alleen tekorten, maar ook een overmaat aan nutriënten kan schadelijk zijn voor de plant. Hogere concentraties zouten kunnen een slechtere plantengroei en productiviteit veroorzaken. Hoge zoutconcentraties kan interfereren met opname en transport van N, P, K, Fe, Mn, Mg, Zn, en Cu (Ashraf *et al*, 2016). Teveel aan calcium en kalium interfereert met de opname van magnesium. Hoge concentraties van ammonium interfereert dan juist weer met calcium. Een gebalanceerde bodem is dus van groot belang voor een gezonde plantengroei, weerbaarheid en uiteindelijk een gezond oogstbaar product.

Afname van macro- en micronutriënten en mineralen in gewassen?

De laatste jaren zijn individuele elementen vrij gemakkelijk (en relatief goedkoop) meetbaar in laboratoria, dus zijn er behoorlijk wat onderzoeken uitgevoerd op dit vlak. Meerdere literatuurstudies hebben zich gericht op de afname van mineralen in plantaardig voedsel door de tijd (Mayer, 1997; Thomas, 2003; Davis *et al*, 2004; White en Broadley, 2005; Marles, 2017; Griffioen, 2018). De resultaten zijn echter niet consistent.

Aan de hand van voedingsmiddelentabellen

Vaak worden in dit soort studies voedingsmiddeltabellen vergeleken van vroeger en nu (oudere en nieuwe edities van deze tabellen worden met elkaar vergeleken). Eén van de eerste en meest geciteerde onderzoeken is afkomstig van Mayer (1997). Zij toonde aan door het vergelijken van voedingstabellen (Groot-Brittannië) dat de gehalten van Ca, Mg, Cu en Na in groenten significant zijn afgenomen en Mg, Fe, Cu en K in fruit in een periode van 50 jaar (1930-1980). Mayer kon geen duidelijke oorzaak geven voor deze afname. Een aantal suggesties die ze aangaf voor de gevonden verschillen waren onregelmatigheden in metingen of bemonstering, veranderingen in de geteelde rassen of veranderingen in teeltwijze.

Uit onderzoek gedaan door Davis in de Verenigde Staten (2004) bleek dat door de grote onzekerheden in de verkregen getallen de data per gewas niet voldoende betrouwbaar rechtstreeks konden worden vergeleken. Door het groeperen van de data werden er alsnog significante verschillen gevonden: afname van Ca (–16%), P (–9%) en Fe (–15%) in enkele groenten van 1950 tot 1999. Davis opperde voor deze afname de volgende mogelijke oorzaken: geografische plaats van monstername, verschillende rassen, verschillende analysemethodes, klimaat en bron van verkregen data. De auteur concludeerde op grond van deze data dat nutriëntenafname in de geoogste voedingsmiddelen niet wordt veroorzaakt door afname van beschikbare mineralen in de bodem, maar dat er andere factoren moeten zijn die de afname in macro- en micronutriënten in geoogste voedingsmiddelen verklaren, zoals bijvoorbeeld ras- of teeltmaatregelen.

Onderzoek in Nederland

In Nederland is weinig onderzoek uitgevoerd naar het verloop van macro- en micronutriënten over de jaren in groenten en fruit. Door Griffioen (2018) zijn in een literatuurstudie uitgevoerd in een samenwerking van WUR en RIVM de gehalten van nutriënten van 22 in Nederland geconsumeerde groenten tussen 1941 en 2016 vergeleken voor wat betreft gehalten aan calcium, fosfor, ijzer, natrium, kalium, koper en zink en koolhydraten, eiwitten en vetten. Hieruit bleek het natrium- en kopergehalte in groente daalde tussen 1941 en 2016. Overige nutriëntengehaltes bleken onveranderd. Ook hier werd benadrukt dat achtergrondinformatie over de nutriëntgehaltes maar zeer beperkt aanwezig was, dat het aantal datapunten gering was en dat met een groot aantal mogelijke variabelen geen rekening kon worden gehouden.

Oud en nieuw: teeltwijzen en rassen

Naast het vergelijken van voedingsmiddelentabellen zijn de afgelopen 20 jaar ook onderzoeken uitgevoerd naar het verschil van macro- en micronutriënten van oude (land)rassen en moderne rassen met hogere opbrengst geteeld onder dezelfde omstandigheden. Dat is vaak maar niet altijd een vergelijking van (oude) zaadvaste en (moderne) hybride rassen. Er werd een verschil (vermindering) in nutriënten waargenomen in moderne rassen in vergelijking met oudere rassen bij tarwe (Monasterio & Graham, 2000; Garvin *et al*, 2006; Murphy *et al*, 2008), mais (Scot *et al*, 2006), rijst (Ananden *et al*, 2011), broccoli (Farnham *et al* 2000) en kool (Singh *et al*, 2013), maar niet bij aardappel (White *et al*, 2009).

Voor zover er sprake is van een lager gehalte aan mineralen in moderne rassen hangt dat samen met een verhoogde biomassa/koolhydraten opbrengst zonder gelijk oplopende verhoging van mineralen, waardoor (voor de mineralen) een verdunningseffect optreedt, wat niet kan worden verklaard uit een eventuele afname aan mineralen in de bodem (Marles, 2017). Dit wordt verder versterkt door hogere kunstmestgiften met vooral macronutriënten en meer irrigatie. Ogenschijnlijk grote relatieve afnames voor bijvoorbeeld koper (Cu) van -34 tot -81% vallen binnen de spreiding aan gehaltes op drooggewicht basis van 0,11 – 1,71 mg/100 g drooggewicht groenten (spreiding van 1.555%), 0,10 – 2,06 mg/100 g drooggewicht fruit (spreiding 20.600%) en 0,1-1,4 mg/100 g drooggewicht granen (spreiding 140%) (Marles, 2017). Met name het kopergehalte wordt sterk beïnvloed door het verdunningseffect (Marles, 2017).

Bijdrage van veredeling

Maar zoals hierboven beschreven zijn daarnaast hogere opbrengsten van het eindproduct ook het gevolg van selectieve veredeling met bijvoorbeeld hybriden (Davis, 2011) en dan dus juist niet veroorzaakt door alleen omgevingsfactoren. Dit zou een genetisch verdunningseffect kunnen worden genoemd, naast het vaker genoemde omgevingsverdunningseffect. Een driejarige studie in Groot-Brittannië waarin oude en moderne tarwerassen werden vergeleken voor nutriënten en voedingsvezel gehalten leverde geen bewijs voor een algemene daling als gevolg van de veredeling van moderne rassen. Moderne tarwerassen bleken in hun witte bloem voor enkele nutriënten juist een hoger gehalte te hebben dan de oude rassen (Lovegrove et al., 2020).

Omgekeerd kan veredeling worden ingezet om mineralenconcentraties juist te verhogen door geniteurs (=ouders gebruikt in kruisingen) met extreem hoge concentraties aan micronutriënten in te kruisen en te selecteren voor verhoogde micronutriëntgehalten. Dat kan bijdragen aan een toekomstige hogere inname van die specifieke micronutriënten. Veredelingsbedrijven hebben interesse en de analysetechnieken om op deze manier in nieuwe rassen met steeds hogere biomassaopbrengst de gehaltes aan micronutriënten op peil te houden (Singh en Singh, 2019).

Overall conclusie afname nutriënten in de tijd?

Marles *et al* (2017) geeft een uitgebreide meta-analyse van de bekende, betrouwbare en minder betrouwbare onderzoeken uitgevoerd wereldwijd naar de afname van mineralen door de tijd. Zijn conclusie is dat voor een beperkt aantal gewassen het gehalte aan nutriënten inderdaad lijkt te zijn afgenomen. Tegelijk is volgens Marles het vergelijken van gegevens van voedingsmiddelentabellen van overheden van verschillende publicatiejaren geen valide benadering (door verschillen in databronnen, rassen, teeltlocaties, rijpheid, bemonsterings- en analysemethoden en statistische verwerking) en de resultaten verkregen uit deze vergelijkingen zijn dan ook doorgaans misleidend.

Gelijktijdige analyse van bijvoorbeeld verschillende rassen (oud versus nieuw) bevestigt dat sommige moderne soorten groenten en granen lager zitten in sommige voedingsstoffen dan oudere rassen vanwege een verdunningseffect van verhoogde opbrengst door ophoping van koolhydraten (zetmeel, suiker en/of vezel) zonder een evenredige toename in micronutriënten. Er is daarnaast ook aangetoond dat consistente trends van afname van de inhoud van bepaalde voedingsstoffen alleen wordt gezien als gewassen op één hoop worden gegooid. Statistische significantie gaat verloren bij het proberen historische afnames aan te tonen door variëteiten te vergelijken binnen een enkel gewas vanwege een hoge mate van variabiliteit. Moderne cultivars kunnen daarentegen ook juist hogere concentraties van geselecteerde nutriënten bevatten dan oudere cultivars (Marles *et al*, 2017). Kortom, een dalende trend is slechts in een aantal gewassen zichtbaar en niet voor alle inhoudsstoffen.

Bovendien benadrukt Marles *et al* (2017) dat de geringe inname (van groenten en fruit) een groter probleem vormt dan de door sommigen veronderstelde afname van nutriënten in de tijd.

Tenslotte: Biologisch versus gangbaar

Ook bij biologische groenten die op hetzelfde moment in de supermarkt liggen worden verschillen in gehalten aan nutriënten gevonden, waarbij de verschillen vooral zijn gekoppeld aan de herkomst van de betreffende groente (Spiegel *et al*, 2009). Het Louis Bolk Instituut heeft in de afgelopen jaren in een aantal projecten gekeken naar voedselkwaliteit bij pompoen en rode biet onder biologisch teeltmanagement. Hier worden grote verschillen gevonden in concentratie nutriënten in het verse eindproduct, wat te herleiden is naar de teler met zijn eigen specifieke bodem en teeltwijze en niet zozeer naar het ras (Van Malland, 2020). Daarnaast bleek tevens dat het drogestofgehalte van het eindproduct niet alleen invloed heeft op de gemeten concentratie nutriënten, maar vooral ook op de smaakbeoordeling van het product.

2.3 Dier: Macro- en micronutriënten

De macro- en micronutriënten spelen via het voer en het rantsoen een belangrijke rol in vee gezondheid, met name bij dieren die enkel op gras grazen en geen krachtvoeders met

mineralen worden bijgevoerd. De gehalten van koper en selenium zijn op de meeste grondsoorten in Nederland te laag om uitsluitend via gras de behoefte van melkkoeien en met name jongvee te dekken. Een zogenoemde 'koperbril' rond de ogen is bij rundvee een signaal van kopergebrek. Hoge zwavel- en molybdeengehalte in het gras op veengronden kunnen juist de koperabsorptie in runderen verlagen. Ook het calciumgehalte in vers gras van kleigronden is vaak hoger dan dat in gras geteeld op zandgronden. Naast bemesting, botanische samenstelling en groeistadium van het gras speelt pH van de bodem een belangrijk rol en kan de mineralensamensteling van het gras verlagen (mangaan) en verhogen (molybdeen) (CVB, 2005).

2.4 Mens: Macro- en micronutriënten

Als mens hebben wij onze macro- en micronutriënten nodig, namelijk eiwit, vet en koolhydraten naast vitaminen en mineralen. Eiwitten en aminozuren zijn nodig voor celprocessen zoals reparatie, vernieuwing en opbouw. Van de 22 benodigde aminozuren kan het lichaam er 13 zelf maken. Er zijn 9 zogenaamde essentiële aminozuren en 6 semi-essentiële aminozuren. Onder bepaalde omstandigheden, zoals bij sommige aandoeningen en ziekten, kan het lichaam meer eiwit nodig hebben of mogelijk meer van specifieke aminozuren. Dan is aanvulling via het dieet essentieel.

Ons eetpatroon levert eiwitten vanuit verschillende bronnen; vlees, vis, eieren, zuivel, peulvruchten en noten. In sommige plantaardige eiwitten zitten minder essentiële aminozuren of in een verkeerde verhouding. Daarnaast zijn de eiwitten uit verschillende plantaardige producten moeilijker te verteren en zijn de aminozuren niet altijd beschikbaar voor ons lichaam. Voldoende essentiële aminozuren en goede verteerbaarheid bepalen samen de eiwitkwaliteit. De aanbevolen hoeveelheid eiwit is in principe 0,8 gram per kilo lichaamsgewicht, maar onder condities van ziekte, herstel of bepaalde vormen van eetpatroon (vegetariërs en veganisten) is de eiwitbehoefte hoger.

De vetten in onze voeding zijn een bron van energie, essentiële vetzuren en diverse vet-oplosbare vitaminen. Vet in voedingsmiddelen bestaat altijd uit een combinatie van diverse vetzuren van verschillende lengte en verzadiging. Vet blijft relatief lang in de maag en zorgt daarom voor en lang gevoel van verzadiging. Wij verteren praktisch alle vetzuren uit onze voeding. In de ontlasting is dan ook bijna geen vet aanwezig. Cellen hebben vetzuren nodig als bouwstenen en vetzuren beschermen lichaamscellen tegen ongewenste indringers. Het lichaam kan de meeste vetzuren zelf maken, maar een aantal niet: de essentiële vetzuren. Linolzuur en alfalinoleenzuur zijn twee essentiële vetzuren.

Vet en met name de vetzuren vervullen verschillende functies in het lichaam en zijn van invloed op de ontwikkeling van een aantal chronische ziekten zoals hart- en vaatziekten, overgewicht en mogelijk kanker. Omega 3-vetzuren uit bijvoorbeeld vette vis verlagen de kans op hart- en vaatziekten. Daarnaast spelen de omega 3-vetzuren DHA en EPA een belangrijke rol bij de hersenontwikkeling en het gezichtsvermogen van ongeboren baby's.

Suikers, zetmeel en vezels zijn vormen van koolhydraten in onze voeding. Suikers en zetmeel zijn koolhydraten als bron van energie voor het lichaam. In voedingsmiddelen zitten meerdere bronnen van koolhydraten: verteerbare en niet-verteerbare. Verteerbare koolhydraten kan het lichaam opnemen en gebruiken als energiebron. Alle monosachariden en koolhydraten die in de dunne darm kunnen worden afgebroken tot monosachariden vallen onder de verteerbare koolhydraten. Niet-verteerbare koolhydraten zijn onze voedingsvezels (vezels) en zijn belangrijk voor onze algemene gezondheid. Ze dragen bij aan een goede spijsvertering, geven een verzadigd gevoel na spelen een rol bij de ontwikkeling van ons darmmicrobioom. In groente, fruit, aardappelen, volkorenbrood, ontbijtgranen, peulvruchten en noten zitten veel voedingsvezels. Vezels hebben allerlei verschillende metabole eigenschappen. Sommige zijn oplosbaar, sommige onoplosbaar en dragen bij aan het vormen van de ontlasting. Verder zijn er vezels die worden afgebroken door de bacteriën in onze darmbioom, de zogenaamde fermenteerbare vezels. Bij fermentatie komen ook stoffen en energie vrij die ons lichaam kan gebruiken. Deze fermenteerbare vezels worden ook wel prebiotica genoemd.

Mensen hebben een aantal micronutriënten (o.a. mineralen en andere sporenelementen) nodig voor een goede stabiele gezondheid. Het is belangrijk dat men alle elementen in een bepaalde hoeveelheid binnenkrijgt. Bij een gebalanceerd dieet zou men geen tekort hoeven hebben van deze stoffen. Helaas heeft tegenwoordig ongeveer de helft van de wereldbevolking enige vorm van een deficiëntie heeft ('*malnutrition*'); meer dan 25% een ijzerdeficiëntie, ongeveer 17% een zinkdeficiëntie en daarnaast komen jodium, selenium, calcium, magnesium en koper deficiënties ook steeds vaker voor. Deficiënties van calcium, magnesium en koper komen zowel vaak voor in minder ontwikkelde als goed ontwikkelde landen (Welch & Graham, 2002; Kassebaum *et al*, 2014; Wessells & Singh, 2012). Sommige deficiënties zijn te duiden naar een tekort of afwezigheid van deze elementen in de bodem per se. Een groot aantal heeft te maken met een (beperkt) voedingspatroon waaruit minder van deze elementen te absorberen is.

De vraag die vervolgens opkomt: is er een relatie tussen de inhoudsstoffen van onze voeding met gezondheid? En wat is dan de definitie van gezonde voeding? Voor de leesbaarheid van dit rapport dienen we te definiëren wat voeding is. Het overgrote deel van de landbouwproductie zijn voedingsmiddelen, gewassen c.q. ingrediënten. Deze kunnen zowel plantaardig als dierlijk zijn. Wat wij als mensen vervolgens consumeren is voeding. De voedingsmiddelen/ingrediënten worden hiertoe bewerkt voor consumptie. Minimale bewerking als wassen/schoonmaken en rauwe consumptie, via koken/stomen/bakken, tot aan *ultra-processed* als extraheren, uitmalen, scheiden en samenstellen. Gezien het feit dat overmatige bewerking leidt tot verlies van inhoudsstoffen, is het stoppen met bewerken van landbouwproducten tot concentraten de grootst denkbare stap naar gezonde voeding.

Bij optimalisatie van de inhoudsstoffen lopen we tegen een volgende uitdaging aan; de consumptie door ons mensen. Als we naar de Voedsel Consumptie Peiling (VCP) van het

RIVM (van Rossum *et al* 2020) kijken zien we dat wij gemiddeld in Nederland 131g groente per dag (advies 250g/d), 5g peulvruchten (advies 25g/d) en 130g fruit (advies 200g/d) consumeren. Hieruit valt enkel te concluderen dat een optimalisatie van de inhoudsstoffen een beperkte impact kan hebben op onze gezondheid wanneer deze niet of onvoldoende geconsumeerd wordt.

Een rationale voor de focus op optimalisatie van inhoudsstoffen zou kunnen zijn dat wij als consumenten te weinig van bepaalde inhoudsstoffen zouden binnen krijgen. Weer kijkende naar de VCP kunnen we het volgende waarnemen:

Tabel 1. *Deze tabel geeft een korte samenvatting van enkele micronutriënt-inname zoals deze geanalyseerd is binnen de Voedsel Consumptie Peiling van 2018 (VCP-2018) door het RIVM. Dit zijn gemiddelde innames berekend uit de rapportage van voedselinnames bij >4000 Nederlanders. De laatste kolom laat zien wat onze aanbevolen hoeveelheid inname van deze micronutriënten zou 'moeten' zijn volgens de richtlijnen van de Gezondheidsraad en het Voedingscentrum.*

Vitamine/mineraal	**Gemiddelde inname volgens VCP-2018**	**Aanbevolen dagelijkse inname (Voedingscentrum, Gezondheidsraad)**
Vitamines (µg/d)		
Vitamine A (RAE equivalent)	858	800 – 1000
Vitamine B12	9,7	2,8
Vitamine C	139	70
Vitamine D	4,9	2,5
Mineralen (mg/dag)		
Calcium	993	750-860
Koper	1,4	0,9
Magnesium	341	300 – 350
Zink	11,3	7 – 9
Fosfor	1430	550
Selenium	50	70
IJzer	11,3	11 – 16

Er wordt gekeken naar de totale consumptie inclusief supplementen. Volgens de VCP-2018 komt 5-10% van de dagelijks gerapporteerde inname uit supplementen gebruik. 75 – 85% van de dagelijkse inname komt uit de consumptie van landbouwproducten vanuit de volledige range (plantaardig tot dierlijk). De bijdrage van plantaardige voedingsmiddelen aan onze vitamine inname is 20-40%. Enkele vitaminen als Vitamine B12 en Vitamine D komen uitsluitend van dierlijke bron via de voeding (of supplementen uiteraard). De bijdrage van plantaardige voedingsmiddelen aan onze mineraleninname varieert tussen de 10 en 30%. Van onze vitamine en mineraal inname volgt 10 tot 15% uit de consumptie van (ultra) bewerkte en verrijkte voeding (zoals ontbijtgranen).

Met in achtneming van de randvoorwaarden van de VCP als 4000 – 4500 respondenten, 'gezonde' Nederlanders, 1 dag rapportage etc., kunnen we concluderen dat gemiddeld gezien (met een kanttekening dat 'gemiddeld' een lastig begrip is) er voldoende inhoudsstoffen worden geconsumeerd 'ondanks' de beperkte inname van groenten, fruit en

peulvruchten. Dit brengt ons tot de vraag: is de eventuele verminderde nutriëntsamenstelling van onze landbouwproducten onderliggend aan ongezondheid? Of omgekeerd, zou een verhoogde nutriëntsamenstelling van onze landbouwproducten leiden tot verhoging van onze gezondheid?

Gezien het feit dat de VCP uitgaat van een 'gezond' persoon zouden we richting bepaalde doel- en risicogroepen andere conclusies kunnen trekken. Inname van calcium, ijzer, vitamines A, B2, B6, C en folaat is laag bij een deel van de volwassenen en dan met name bij vrouwen zou dit problematisch kunnen zijn vooral tijdens de zwangerschap. Voor vitamines A en C wordt een lage inname gezien vanaf 14 jaar. Vrouwen hebben een lage inname van B6, en meisjes/vrouwen in vruchtbare leeftijd van ijzer. Maar vanuit oogpunt van volksgezondheid worden deze (nog) niet als zorgelijk geacht.

3 Secundaire metabolieten

Secundaire metabolieten zijn stoffen die worden geproduceerd door planten, maar niet betrokken zijn bij de groei en reproductie (PSC = *plant secondary compounds*). Ze zijn verantwoordelijk voor veel verschillende functies bij een plant. Een aantal voorbeelden van bekende PSC's zijn: flavonoïden, fenolen, terpenen, vitamines, anthocyanidinen en alkaloïden. Vaak worden secundaire metabolieten gebruikt in de voedingsindustrie (smaakstoffen), parfumerie (geurstoffen), chemische industrie (kleurstoffen) en in de farmacie (geneesmiddelen).

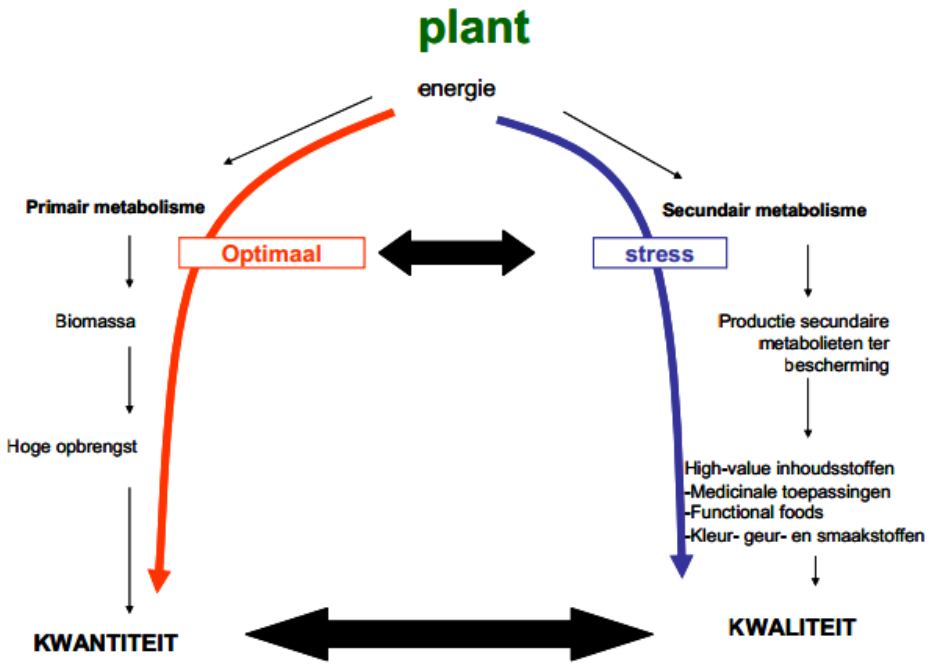
De concentratie van secundaire metabolieten binnen een plant kan sterk variëren in de tijd, afhankelijk van de omstandigheden waarin de plant zich bevindt (Van der Aa en Zijlstra, 2012). Onderzoeken zijn uitgevoerd naar de aanwezigheid van deze stoffen in groente en fruit en de invloed van de bodem en teelt op deze stoffen. Ook kennis over de invloed op de gezondheid van de mens neemt toe.

3.1 Bodem: secundaire metabolieten

Omstandigheden in de bodem (droogte, zout, mineralentekort) kunnen het metabolisme van planten in de richting van secundaire metabolieten sturen (Van Asseldonk, 2007; Van Dam, 2010), wat de plant wel energie kost (Korthout, 2012). Daarnaast kan een plant secundaire metabolieten inzetten om de symbiose met microben in de rhizosfeer te sturen (Rudrappa *et al*, 2008).

De afweging tussen het aanmaken van uitsluitend primaire plantenstoffen en het produceren van secundaire plantenstoffen staat in onderstaande afbeelding op een simpele wijze weergegeven. Hierbij hebben de primaire plantenstoffen een direct effect op het overleven van de plant en de secundaire plantenstoffen een indirecte invloed.

Globaal maakt een plant onder stress meer secundaire metabolieten aan. Dat betreft dan die secundaire metabolieten met een overlevingsfunctie voor de plant of een afweerfunctie tegen bijvoorbeeld een ziekte of plaag.



Figuur 2: De keuze tussen primair en secundair metabolisme. Wanneer de plant onder optimale omstandigheden groeit, vindt vooral primair metabolisme plaats. Er ontstaat een hoge opbrengst. Wanneer de plant last heeft van stress (bijvoorbeeld droogte of insecten), vindt meer secundair metabolisme plaats. In dit geval kunnen allerlei interessante stoffen gevormd worden (Heijden van der W. en Leeuwen van A., 2010).

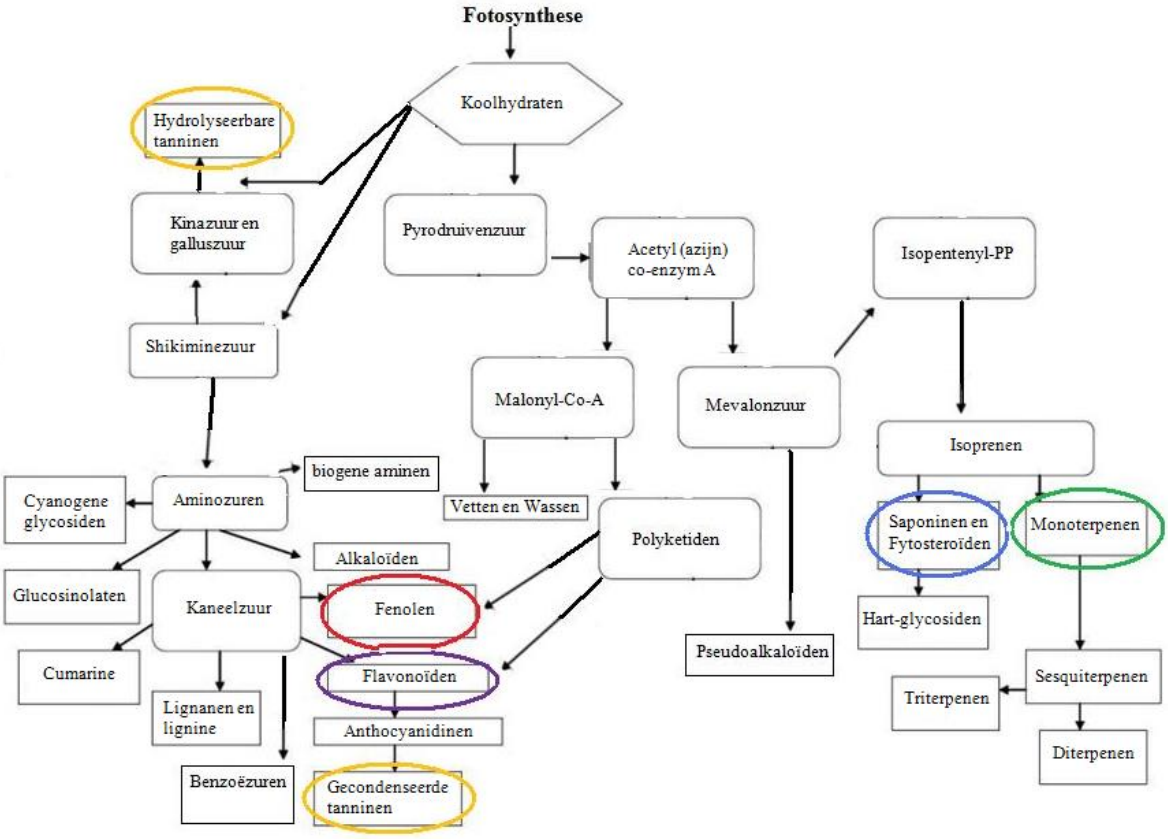
3.2 Plant: secundaire metabolieten

Secundaire metabolieten in planten (PSC: *plant secondary metabolites*) zijn aanwezig in verschillende plantenweefsels. Deze stoffen zijn onderdeel van het afweermechanisme van een plant tegen herbivoren, zoals schade door insecten, vogels en zoogdieren. De stoffen zorgen ervoor dat er zo weinig mogelijk vraat plaats kan vinden (vaak door een bittere of giftige eigenschap). Daarnaast zijn PSC's essentieel voor de plant voor bijvoorbeeld het aantrekken van bestuivers en verspreiders van zaad, helpt het bij herstel van verwonding, beschermt het planten tegen UV-straling en is het nuttig bij de verdediging van ziektes en plagen (Palo & Robbins, 1991; Cheeke, 1998, Rosenthal & Berenbaum, 1992). Verschillende aspecten kunnen invloed hebben op de hoeveelheid en aanwezigheid van secundaire metabolieten in groenten en fruit.

Omgevingsfactoren zoals temperatuur en licht kunnen effect hebben op de chemische samenstelling van het weefsel bij de ontwikkeling van vruchten. Hoge temperatuur (25-30 °C) verhoogt bijvoorbeeld de activiteit van antioxidanten en vergroot de hoeveelheid anthocyanen en fenolzuur bij aardbeien (Wang & Zheng, 2001). Ook hogere anthocyaan concentraties werden gevonden in druiven- en appelschillen wanneer ze groeiden bij lage nachttemperatuur en veel zon tijdens de afrijping van de vruchten (Mori *et al*, 2005).

Te weinig licht heeft ook een negatief effect op de concentraties vitamine C en anthocyanen in fruit (Harris, 1975). Verschil in geografische hoogte tussen de regio's waar kersen worden

geproduceerd lieten ook een verschil zien in mate van aanwezigheid van antioxidanten; toename bij hogere geografische hoogte (Faniadis, 2010). Daarnaast kunnen teeltwijze en bemesting ook een grote invloed hebben op de aanwezige hoeveelheid van secundaire metabolieten bij planten (Wang en Malhi, 2008; Brandt *et al*, 2011).



Figuur 3: Overzicht biosynthese van de secundaire metabolieten. Omcirkeld zijn de secundaire metabolieten die verder in dit hoofdstuk worden behandeld. (Van der Heijden & Van Leeuwen, 2010), (Genderen et al, 1996).

In bovenstaande afbeelding (Figuur 3) staat een overzicht van de biosynthese van secundaire metabolieten bij planten weergegeven. Alle secundaire metabolieten worden gevormd uit de door fotosynthese gevormde koolhydraten, deze groep staat bovenaan in de figuur weergegeven. De tussenstoffen worden in deze figuur aangegeven met een afgerond vakje en de secundaire metabolieten staan weergegeven in de hoekige vakjes. Secundaire metabolieten die een positief effect kunnen hebben op de gezondheid (zoals bijvoorbeeld glucosinolaten) zijn in figuur 3 aangeduid met een gekleurde cirkel. De andere secundaire plantenstoffen kunnen een negatieve werking hebben op de gezondheid van vee en mens, zoals cyanogene glycosiden, ook bekend als blauwzuur. Ook de alkaloïden kunnen voor ongewenste effecten zorgen. Verder zijn er secundaire plantenstoffen die een neutraal effect hebben op de gezondheid of het effect op de gezondheid van mens en vee is nog niet onderzocht.

Veredeling van landbouwgewassen heeft ervoor gezorgd dat in 2/3 van deze gewassen effecten op secundaire metabolieten zijn opgetreden, met name op het gebied van smaak (b.v. zoetere en minder bittere producten), pigmentatie en toxiciteit (Meyer *et al*, 2012). Veel van deze secundaire metabolieten hebben buiten de bittere smaak ook een versterkend effect op ons immuunsysteem (Lee *et al*, 2014; Blum *et al*, 2019). De gerealiseerde afname van deze stoffen in nieuwe rassen heeft mogelijke gevolgen voor de kwaliteit van deze voedingsmiddelen en effecten op humane gezondheid (Blum et al., 2019).

Biologisch versus gangbaar

Biologisch geteeld voedsel wordt vaak verondersteld hogere concentraties PSC te bevatten. Dit zou dan twee oorzaken hebben in het biologische teeltsysteem: meer stress voor de plant en lagere beschikbaarheid van macronutriënten (met name stikstof) voor de plant. Uit een langdurig onderzoek aan de Universiteit van Californië bleek dat biologisch geteelde tomaten bijna tweemaal zoveel antioxidanten (flavonoïden) bevatten als conventioneel geteelde tomaten (gemiddeld 97% meer kaempferol en 79% meer quercetine). Tevens steeg de concentratie van beide flavonoïden in de tijd bij de biologische producten vergeleken met de conventioneel geteelde tomaten, waar de concentratie gelijk bleef. Ze schrijven dit verschil toe aan de toenemende hoeveelheden organische stof in de bodem bij organische percelen, maar ook hierdoor verminderde mestafgiftesnelheden zodra de bodems in de organische systemen een evenwichtsniveau van organische stof hebben bereikt (Mitchell *et al*, 2007). Een ander onderzoek laat zien dat stikstof bij appelbomen snelle groei bevordert terwijl de gehalten aan fenolen juist afnemen, waardoor de bomen vatbaarder zijn voor schimmelziektes (Rühmann *et al*, 2002).

Meer recente onderzoek heeft onderzocht of biologisch voedingsmiddelen gezonder zijn dan gangbare. Barański *et al* (2014) toonden aan dat biologische producten in vergelijking met gangbare meer secundaire metabolieten te bevatten zoals antioxidanten, vitamine C en polyfenolen, terwijl Heimler *et al* (Heimler, Vignolini, Arfaioli, Isolani, & Romani, 2012) bij vergelijking van gangbaar, biologisch en biodynamisch alleen verschillen vonden voor gehalten aan polyfenolen, niet voor flavonoïden en antioxidanten.

Ook ander auteurs spreken elkaar op onderdelen tegen dat biologische teelt altijd resulteert in hogere concentraties aan secundaire metabolieten in de plant (Reganold *et al*, 2010; Lima & Vianello, 2011; Smith-Spangler *et al*, 2012; Johansson *et al*, 2014). Een verklaring zou hier kunnen zijn de genetische variatie in rassen gebruikt in biologisch en gangbaar.

3.3 Dier: secundaire metabolieten

Hoewel secundaire metabolieten deels bedoeld zijn om planten te beschermen tegen vraat, kunnen planteneters ook profiteren van hun aanwezigheid. Secundaire metabolieten kunnen in dieren in twee richtingen werken: aan de ene kant speelt het toxische en anti-nutritionele effect voor dieren door hun rol als plantbeschermer. Aan de andere kant kunnen secundaire

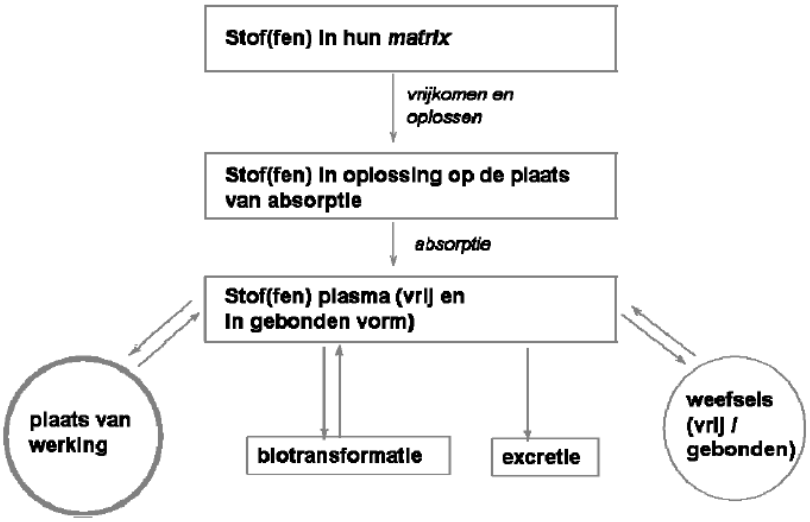
metabolieten een medicinale werking uitoefenen. Onderzoek bij schapen en geiten heeft laten zien dat deze een voorkeur krijgen voor tanninerijk materiaal op het moment dat ze met darmparasieten zijn geïnfecteerd. Zodra de infectie over is verdwijnt ook hun voorkeur voor dergelijk voer (Juhnke *et al*, 2012; Vilalba *et al*, 2010; Vilalba *et al*, 2016). Dit gedrag zou kunnen wijzen in de richting van zelfmedicatie door herbivoren; gedrag dat bij schapen veroorzaakt zou kunnen worden door verminderde neofobie (het maar in kleine hoeveelheden eten van nieuwe soorten voedsel). Onderzoek heeft laten zien dat onbekende plantensoorten aantrekkelijker worden voor lammeren, wanneer ze geïnfecteerd zijn door parasieten (Egea *et al*, 2014).

3.4 Mens: secundaire metabolieten

Het consumeren van verse groenten en fruit heeft positieve effecten voor onze gezondheid. Hiervoor zijn de aanwezige macro- en micronutriënten van belang, naast secundaire metabolieten die ontstaan in de wisselwerking van de plant en haar omgeving. Onder secundaire metabolieten vallen bijvoorbeeld antioxidanten, terpenen, glucosinolaten, flavonoïden. Een bekend voorbeeld is de relatie tussen secundaire metabolieten in bijvoorbeeld kool op de kans op darmkanker bij de mens (Verhoeven *et al*, 1996; Fang *et al*, 2019).

Het bewerken van bijvoorbeeld groente en fruit leidt tot een verlies van (een deel van) deze metabolieten. Hoewel de diverse stoffen uit onze voeding hun werking kunnen hebben in ons lichaam moeten ze daartoe wel eerst worden opgenomen uit de darmen (absorptie). Zeker bij inname via de mond moeten hiervoor een aantal barrières worden overwonnen. Op weg naar de juiste plek in het darmkanaal worden primaire en secundaire metabolieten blootgesteld aan maagzuur, diverse enzymen, galzouten etc. Veel voedingsstoffen kunnen in het eerste deel van de darm worden opgenomen. Biobeschikbaarheid van dergelijke stoffen kan afhankelijk zijn van de manier van inname: als natuurlijk onderdeel van geoogst voedsel of in geïsoleerde vorm toegevoegd onderdeel van een voedingsmiddel. Lycopeen in tomaat bleek remmend te werken op prostaatkanker in muizen alleen wanneer het als gedroogd tomatenpoeder aan het muizenvoer werd toegevoegd, niet als geïsoleerd lycopeenpoeder (Applegate et al., 2019).

Darmbacteriën kunnen ook stoffen afbreken, terwijl omgekeerd bepaalde inactieve metabolieten door de passage door ons maagdarmstelsel juist worden omgezet naar bioactieve stoffen. Na absorptie uit de darm volgt er transport via ons bloed door het lichaam en daarbij ook een passage door de lever, één van de belangrijkste organen in diverse metabolisme en biotransformatie processen. Een belangrijk functie van de lever is detoxificatie en uitscheiden van (mogelijk) schadelijke stoffen. Er is in de lever echter ook sprake van bredere biotransformatie bij passage door de lever en worden ook actieve stoffen geproduceerd. De wateroplosbare daarvan worden vaak via de urine uitgescheiden. Meer vetoplasbare stoffen worden soms minder goed uitgescheiden en kunnen zich vervolgens ophopen in onder andere ons vetweefsel.



Figuur 4. *Passage en omzettingen van secundaire metabolieten door het lichaam (uit: https://edepot.wur.nl/188621)*

4 Microbioom

4.1 Bodem: Microbioom

Biologische samenstelling van de bodem

Bodems behoren tot de meest biologisch diverse habitats op aarde. Er wordt geschat dat 1 gram aarde tot 1 miljard bacteriën bevat, bestaande uit tienduizenden soorten, met daarnaast nog tot 200 meter schimmeldraden en een breed scala aan nematoden, regenwormen en geleedpotigen (Rillig *et al*, 2018).

Het microbioom is van cruciaal belang in de bodem. Bodemorganismen spelen een centrale rol bij de afbraak van organische stof, de mineralisatie en immobilisatie van voedingsstoffen in de bodem en bij het in stand houden van de bodemstructuur. Daarom zijn bodemorganismen cruciaal voor de bodemfunctie van landbouwbodems en de gezondheid van planten. Hun rol wordt vaak gemarginaliseerd in de huidige aanbevelingen voor bodemvruchtbaarheid.

Micro-organismen in de bodem maken een belangrijk deel uit van de totaal levende bodembiomassa. Veel processen in de stikstof cyclus worden uitsluitend door micro-organismen uitgevoerd. Deze processen zijn een belangrijk onderdeel in het functioneren van het ecosysteem, omdat de beschikbaarheid van stikstof de productiviteit van een plant bepaalt. In de biologische teelt is alles er op gericht de diversiteit en activiteit van het bodemleven te stimuleren. Hierbij kan men denken aan het gebruik van compost en dierlijke mest, toepassen van groenbemesters en bodembedekkers en ruimere en meer diverse vruchtwisseling. Hierbij laten biologische systemen doorgaans zien dat de landbouwgrond meer microbiële biomassa bevat en een grotere diversiteit en activiteit van het microbioom heeft dan gangbare systemen bij granen, groenten en fruit productie (Widmer *et al*, 2007; Reeve *et al*, 2010; Gomiero *et al*, 2011; Reeve *et al*, 2016; Lori *et al*, 2017).

Een heel ander aspect van microbioom in de bodem betreft de buffer en (fysische en chemische) filtercapaciteit bij afvoer van overtollig regenwater of infiltratie van regen- of oppervlaktewater bij de productie van drinkwater uit grondwater (Wall *et al*, 2015).

Interacties tussen bodemmicroben en het gewas

Het bodemmicrobioom speelt een cruciale rol in de groei van het gewas (Berendsen *et al*, 2012). Deze plant-microbe interacties kunnen zowel positief als negatief zijn voor de plant als ook effect hebben op de inhoudsstoffen van de plant (Mendes *et al*, 2013, Hassani *et al*, 2018). Hieronder zullen we een aantal voorbeelden geven van plant-microbe interacties.

Mutualistische bodeminteracties

Mutualistische interacties tussen het bodemmicrobioom en de plant komen veel voor en zijn essentieel voor veel gewassen. Bijvoorbeeld 80% van de plantensoorten op aarde hebben

een symbiose met mycorrhiza (Peterson *et al*, 1984) - die helpen de plant om belangrijke voedingsstoffen zoals fosfaat uit de bodem te halen in ruil voor plantsuikers (Peterson *et al*, 1984). Vlinderbloemigen maar ook grassen kunnen interacteren met stikstofbindende *Rhizobia* en een breed scala aan bacteriën en schimmels kunnen de groei van het gewas stimuleren (Stewart *et al*, 1977; van der Heijden, 2016).

PGPR (Plant growth promoting Rhizobia)

Rhizobacteriën zijn bacteriën de het worteloppervlak kunnen koloniseren. Een deel van deze kolonisten kan de groei van de plant stimuleren (Backer *et al*, 2018). Enkele bekende manieren zijn het vrijmaken van nutriënten voor de plant, zoals ijzer (Crowley *et al*, 2006) of het maken van planthormonen die de groei van het wortelstelsel of de plant stimuleren (Spaepen, 2015; Zhang *et al*, 2015). Deze fytohormonen zoals auxinen, cytokinen, gibberelinen en ethyleen kunnen door bacteriën geproduceerd worden (Spaepen, 2015; Zhang *et al*, 2015). Zo verhogen dergelijke rhizobacteriën de mineraalgehalten van ijzer en zink in tarwe en stikstof, en fosfaat en kalium gehalte in rijst in een tarwe-rijst wisselteelt systeem (Rana *et al*, 2015).

BNF (Biological Nitrogen fixation)

Stikstof is essentieel voor de groei van het gewas. Vlinderbloemigen kunnen zorgen voor extra stikstof in de grond door een symbiose aan te gaan met *Rhizobia* (Vance, 1998). Deze vastlegging van stikstof in wortelknolletjes kan oplopen tot 65 kg per hectare per jaar bij erwten en 103 kg bij sojabonen (Stewart, 1977). Hoeveel stikstof *Rhizobia* kunnen binden varieert sterk en is afhankelijk van de plant, cultivar en klimaat en bodem (Stewart, 1977) Naast de vorming van wortelknolletjes kunnen 'vrijlevende' rhizobia ook bijvoorbeeld in de rhizosfeer stikstof binden (Moreau *et al,* 2019).

Mycorrhiza

Naast interacties met 'vrijlevende' bodemmicroben kunnen planten ook een relatie aangaan met microben die de wortel van de plant binnengaan. Het grootste deel van de gewassen vormt een symbiose met mycorrhiza schimmels (Bonfante en Anca, 2009). De schimmel vergroot het worteloppervlak en kan nutriënten absorberen. Door deze symbiose kan de plant in ruil voor door de plant gemaakte suikers toegang krijgen tot stikstof, fosfaat, en andere nutriënten plus water uit de bodem die door de plantenwortels niet zelf bereikt of vrijgemaakt kunnen worden (Peterson *et al* 1984; Chen *et al*, 2018). Zo verhogen arbusculaaire mycorrhizae de gehalten aan stikstof, fosfaat en koper in tomaat (Hart *et al*, 2015), de gehalten aan suikers en vitamine C in aardbeien en tomaat (Bona *et al*, 2015; Bona *et al*, 2017), het gehalte aan foliumzuur in aardbeien (Bona *et al*, 2015) en vitamine B1 in ui (Rozpadek *et al*, 2016). Verder verhogen arbusculaire mycorrhizae de gehalten aan antioxidanten en carotenoïden in tomaat (Hart *et al*, 2015), antioxidanten, anthocyanine en rozemarijnzuur in basilicum (Battini *et al*, 2016), antioxidanten en fenolen in artisjok (Ceccarrelli *et al*, 2010) en fenolen, flavonoïden en fenolzuren in spinazie (Khalid *et al*, 2017).

Naast verhoging van gehalten aan mineralen, primaire en secundaire metabolieten in gewassen kunnen arbusculaire mycorrhizae ook een rol spelen op het vlak van voedselveiligheid. In paksoi geteeld op met zware metalen vervuilde grond zorgen mycorrhizae voor een verminderde opname van lood en cadmium door de plant (Wu *et al*, 2016). Werd paksoi geteeld op grond met daarin neonicotiden (insecticiden) dan zorgden mycorrhizae opnieuw voor een verminderde opname door de plant (Zhang *et al*, 2017).

Tenslotte kunnen arbusculaire mycorrhizae infectie van aardappel met de plantpathogene schimmel *Fusarium sambucinum* sterk verminderen, waarbij dan ook de aanmaak van het voor mensen schadelijke mycotoxine sterk wordt gereduceerd (Ismail *et al*, 2013).

Plantenrassen verschillen onderling sterk voor hun vermogen met mycorrhiza een symbiose aan te gaan (Easton, 2007; Taylor et al., 2015). Dat betekent dat om voordeel te halen uit een gezondere bodem de teler wel de beschikking moet hebben over plantenrassen die in staat zijn met de aanwezige mycorrhiza een symbiose aan te gaan (Easton, 2007).

Plantpathogenen

Naast mutualistische interacties tussen bodemmicroben en planten is er ook een breed scala aan microben die een negatieve invloed hebben op de groei en ontwikkeling van de plant (Oerke, 2006; van Agtmaal, 2015). In verschillende groeistadia van de plant kunnen pathogenen vanuit de bodem de plant infecteren. Bekende voorbeelden hiervan zijn Rhizoctonia, Fusarium, Pythium en Sclerotinia soorten. In een onderzoek naar 50 akkers verspreid over Nederland bleek dat elk perceel een reservoir aan plantpathogenen bevatte (Van Agtmaal *et al*, 2018). Of een aanwezige plantenziekte echter daadwerkelijk het gewas infecteert is afhankelijk van de bodem omgeving, de interactie met het bodem microbioom en de gevoeligheid van het gewas (Van Agtmaal, 2015).

Rhizosfeer, de interactiezone tussen plant en bodemmicroben

Planten interacteren met de bodemmicroben die in de wortelomgeving leven (Bais *et al* 2006; Dennis *et al*, 2010). In deze rhizosfeer worden miljoenen signaalstoffen uitgewisseld tussen de plant en de microbiële wortelomgeving (Mhlongo *et al*, 2018).Planten en microben in de rhizosfeer zijn sterk verweven. Planten zijn (deels) afhankelijk van de microben in de rhizosfeer en *vice versa*. De evolutie van planten kan daarom niet los gezien worden van de evolutie van zijn microbiële gemeenschap. Deze diepgewortelde interacties met de microbiële gemeenschap kunnen bijdragen aan de plantgezondheid, groei van de plant en ziekte onderdrukking (Berendsen *et al*, 2012; Mendes *et al*, 2011; Chapelle *et al*, 2016).

Rekrutering door de plant

De microbiële gemeenschap in de rhizosfeer wordt gerekruteerd uit de samenstelling van microben in de bodem (Berg & Smalla, 2009). Omdat bodemeigenschappen zoals pH en organische stof bepalend zijn voor de microbiële gemeenschap en diversiteit geven ze daardoor mede de rhizosfeer samenstelling vorm (Garbeva *et al*, 2008; Lundberg *et al*, 2012).

Naast bodemeigenschappen speelt de plant een essentiële rol, bijvoorbeeld bij stress veranderen de wortelexudaten wat ook direct impact heeft op de rhizosfeer. Dit kan de plant ook gebruiken: een plant kan door het veranderen van de exudaten specifieke microben selecteren. Rudrappa *et al* (2008) lieten zien dat planten actief hulptroepen kunnen inschakelen bij een infectie door pathogenen. Arabidopsis planten die werden geïnfecteerd door *Pseudomonas syringae* scheidden hoge hoeveelheden appelzuur uit in de rhizosfeer. Dit zuur stimuleerde specifieke *Bacillus* soorten. Deze kunnen op hun beurt een immuunrespons van de plant induceren die beschermende werkt tegen de infectie door *Pseudomonas syringae*. Dit gebeurt ook in ziektewerende bodems: dit is een situatie waarin de planten niet ziek worden ondanks de aanwezigheid van een virulent pathogeen (Van Agtmaal, 2015).

Uitwisselingen tussen planten en microben in de rhizosfeer

De grootste bron van signaalstoffen vanuit de plant zijn de wortelexudaten. Deze exudaten bevatten suikers en andere stoffen die als voedingsbron voor de rhizosfeer microben dienen. Een deel van deze wortelexudaten zijn 'bulk' stoffen die uit de wortels lekken. Echter de plant kan ook signaalstoffen uitscheiden, de zogenaamde infochemicals. De invloed die deze signaalstoffen hebben op de omgeving is afhankelijk van de diffusiesnelheid van de infochemicals, de gasvormige signalen (VOC's = *volatile organic compounds*) hebben een veel grotere actieradius dan signaalstoffen met een hoger molecuulgewicht (De la Porte *et al*, 2020). Deze gradiënt kan leidend zijn in het aantrekken van microben die bijdragen aan de groei en ontwikkeling van de plant (Schulz-Bohm *et al*, 2018) en als een schild dienen voor pathogenen (Weisskopf, 2013; Raza *et al*, 2016). Hieronder zullen we een aantal soorten signaalstoffen en hun functie uiteenzetten.

Infochemicals

De signaalstoffen die uitgewisseld worden in de rhizosfeer verschillen in molecuulgewicht (laag of hoog) en kunnen ook gasvormig zijn (VOC's) (Ortíz-Castro *et al*, 2009; Schenkel *et al*, 2015; Tyc, *et al*, 2017). Moleculen met een laag molecuulgewicht zoals suikers, aminozuren, fenolen en andere secundaire metabolieten die door de wortel worden uitgescheiden kunnen als voedsel dienen voor microben maar ook als signaalstoffen of bijdragen aan de nutriënten opname door de plant (Bais *et al*, 2006). Een voorbeeld van het laatste zijn siderophoren die bijdragen aan de oplosbaarheid en opname van ijzer door de plant (Aznar & Dellagi, 2015). Moleculen met een hoog molecuulgewicht zoals eiwitten en slijmvormende polysacchariden kunnen als voedsel dienen voor microben maar ook bijdragen aan de selectie en activiteit van microben in de rhizosfeer (Bais *et al*, 2008; Mendes *et al*, 2013). Gasvormige moleculen kunnen de plantengroei bevorderen en resistentie geven tegen pathogenen (Kong *et al*, 2018; Meldau *et al*, 2013; Chinchilla *et al*, 2019).

Rhizosfeer effecten op planthormoonlevels

Behalve dat signaalstoffen of door de plant of door een rhizosfeermicrobe worden geproduceerd heeft de aanwezigheid van rhizosfeermicroben ook invloed op door de plant

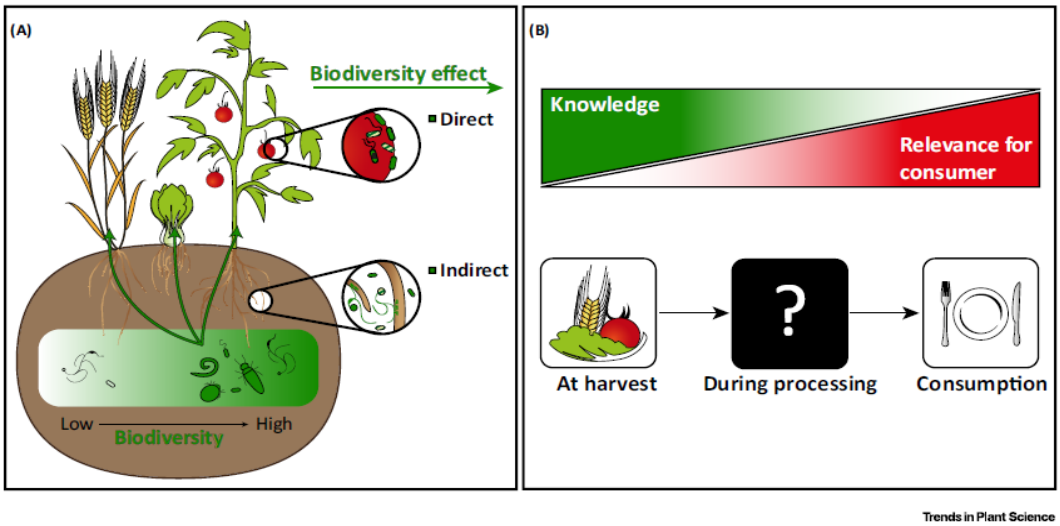
geproduceerd signaalstoffen en hormonen. Door het produceren of 'namaken' van plantsignalen kunnen microben signaalstoffen van planten en planthormonenlevels beïnvloeden (Ravanbakhsh *et al*, 2018). Als voorbeeld kan de aanwezigheid van microbiële VOC's zoals acetoin de planthormoon signalen salicylzuur en jasmonzuur beïnvloeden en zo de verdediging van de plant door de plant zelf activeren (Sharifi & Ryu, 2018). Op een zelfde manier kunnen ook de plantenhormonen auxine en cytokininen worden getriggerd door de aanwezigheid van infochemicals zoals indole. (Ryu *et al*, 2003; Bailly *et al*, 2014; Bhattacharyya *et al*, 2015).

Bodem-gewas-voeding

Zoals hierboven in een aantal voorbeelden is omschreven zijn er veel interacties tussen het gewas en de bodemmicroben. Dit vertaalt zich ook in gehalten aan nutriënten in die gewassen en de delen die als voedsel dienen. Een uitbundige rhizosfeer met veel diversiteit aan microben verhoogt de voedingskwaliteit van het voedsel / gewas, inclusief (macro- en micro)nutriëntgehalten en secundaire plantmetabolieten zoals vitamines, polyfenolen, carotenoïden, flavonoïden, fyto-oestrogenen die gunstig zijn voor de menselijke gezondheid (Giovanetti *et al*, 2013; Pedone-Bonfim *et al*, 2015; Rillig *et al*, 2018). Echter ook hier weer weinig tot geen aandacht voor eventuele verhoging van gehalten van voor humane gezondheid <u>on</u>gunstige stoffen.

Door de toegenomen interesse in nutritionele kwaliteit van voedsel wordt er steeds meer specifiek onderzoek gedaan naar het effect van verschillende wortelsymbioses op de nutritionele kwaliteit van het gewas bij oogst (Giovanetti *et al*, 2013; Lehman *et al*, 2014). Een overzichtsstudie is gedaan naar het effect bij het toevoegen van verschillende soorten micro-organismen aan het wortelmilieu op de opbrengst en aanwezigheid van gewenste secundaire metabolieten bij aromatische en medicinale planten (Ioana *et al*, 2018). Hierbij werd ook zichtbaar dat mechanismen die verantwoordelijk zijn voor verandering in chemische samenstelling van de plant vaak in relatie staan tot het microbioom rondom de plant.

Bovenstaande onderzoeken laten zien dat het functioneren van mycorrhizae (als onderdeel van microbioom in de bodem) van invloed is op gehalten van macro- en micronutriënten en secundaire metabolieten in ons voedsel. Daarbij loopt geen strakke scheidslijn tussen biologisch en gangbaar; de invloed van mycorrhizae is eerder afhankelijk van teeltmaatregelen. Ook in gangbare teeltsystemen met prioriteit voor bodemkwaliteit en aangepast management (bijvoorbeeld niet-kerende-grondbewerking) worden gewassen geproduceerd met hoge gehalten aan nutriënten en secundaire metabolieten.



Figuur 5. (A) Effecten van bodembiodiversiteit worden doorgaans onderzocht aan een individuele plant ten tijde van de oogst. Vooral relevant zijn de te oogsten plantendelen bestemd voor consumptie (al zijn dan niet noodzakelijkerwijs de onderdelen waarvoor de meeste onderzoeksdata beschikbaar zijn). Effecten van bodembiodiversiteit kunnen direct of indirect worden veroorzaakt door de bodemorganismen. Onderscheid van verschillende mechanismen daarbij is van belang voor mogelijkheden voor gerichte teeltmaatregelen. (B) Hoewel kennis over biodiversiteitseffecten ten tijde van de oogst toeneemt, kennis over dergelijke effecten in de periode na de oogst of bij consumptie is vrijwel afwezig. En juist dat laatste is vooral relevant voor consumenten (uit Rillig et al, 2018).

De analogie van het wortelbioom en het darmbioom en de vergelijkbare omstandigheden waaronder dat bioom leeft en functioneert werd in de eerste jaren van het bioomonderzoek genoemd als reden voor veronderstelde causaliteit tussen die twee door bijvoorbeeld Blum en coauteurs (2009). Later is die causaliteit afgewezen (Rillig *et al*, 2018).

4.2 Plant: Microbioom

Ook op de plant kunnen microben aanwezig zijn op de bovengrondse delen, voornamelijk op de bladeren, de zogenaamde fyllosfeer, in de wortelzone en op de wortels, de zogenaamde rhizosfeer, en in de plant zelf, de zogenaamde endosfeer (Rillig *et al*, 2018). Plant-geassocieerde microben kunnen op verschillende manieren bijdragen aan de groei en ontwikkeling van de plant, bijvoorbeeld door ziekteonderdrukking, *boosten* van het plant immuunsysteem en het induceren van resistentie, maar ook door hulp bij opname van mineralen en nutriënten helpen de microben uit de rhizosfeer, fyllosfeer en endosfeer (Hassani *et al*, 2018). Echter, er zijn ook plant-geassocieerde microben die pathogeen zijn. De interacties tussen plant-geassocieerde microben in de fyllosfeer, rhizosfeer en endosfeer komen sterk overeen en zijn beschreven voor de rhizosfeer in paragraaf 4.1.

Schadelijk?

Microben die schadelijk zijn voor de humane gezondheid komen ook voor in de fyllosfeer en endosfeer. Bijvoorbeeld bladgroenten die geteeld op grond verrijkt met dierlijke mest en vervolgens rauw worden geconsumeerd kunnen zijn besmet met schadelijke bacteriën zoals bijvoorbeeld *E.coli*. Echter, met goed wassen zijn de bacteriën verwijderd, wat ook geldt voor

groenten die niet rauw worden gegeten maar eerst gekookt, gestoomd of heet gewokt voor consumptie.

Overigens is het goed te bedenken dat ontwikkelingen in de voorbije eeuw op het gebied van hygiëne, antibiotica en intensieve landbouw beslist hebben bijgedragen aan een sterke reductie van ziektedruk en sterfte door een sterke reductie van microbiële aanwezigheid in onze directe levenssfeer.

Nuttig?

Microben nuttig in de zin van humane gezondheid bevorderend kunnen wel op en in planten aanwezig zijn, maar bereiken de maag en darm grotendeels slechts bij ongewassen rauwe consumptie of na milde bereiding. Vervolgens zal een deel van de beschikbare microben passage door de maag niet overleven. Daardoor is een directe positieve invloed van het microbioom op en in de plant op humane gezondheid via het darmbioom slechts mogelijk voor dat deel wat eventuele bereiding en passage door de maag overleeft.

Informatie over een directe invloed van het microbioom in de plant zelf op darmbioom en humane gezondheid is niet gevonden. Beschreven gunstige effecten worden gerelateerd aan het microbioom in de rhizosfeer, zoals uitgebreid beschreven in §4.1.

Biologisch versus gangbaar?

De invloed van teeltmanagement op abundantie en diversiteit van het microbioom in planten wordt momenteel onderzocht in het project Apfelmikrobiom Projekt van de Universiteit van Graz (Oostenrijk). Bij een vergelijking van in de winkel gekochte biologische en gangbare appels werd de grootste abundantie en diversiteit van microbioom aangetoond in de pitten van biologische appels (Wassermann *et al*, 2019). Als hetzelfde zou worden gevonden in bijvoorbeeld graan en peulvruchten, waarvan de zaden worden geconsumeerd, zou er sprake kunnen zijn van een extra divers microbioom beschikbaar in biologische voedingsmiddelen met mogelijk gunstige effecten op menselijke gezondheid.

4.3 Dier: Microbioom

Landbouwhuisdieren dragen een grote diversiteit aan microben met zich mee. Deze zitten zowel extern, bijvoorbeeld op de huid en uiers als intern, bijvoorbeeld in het darmstelsel. Deze laatste zullen we voornamelijk behandelen: met name in de melkveehouderij speel het darmmicrobioom een essentiële rol. Dit heeft niet alleen voordelen: door het darmmicrobioom van koeien wordt er bijvoorbeeld ook methaan geproduceerd. Het dieet van de koeien bepaalt hierbij voor een groot deel hoe groot de methaan productie in het darmstelsel is (Maciorowski *et al*, 2007) . Daarnaast spelen er andere factoren mee zoals huisvesting en erfelijkheid.

Schadelijk?

Het dieet van dieren heeft invloed op het microbioom in het darmstelsel. Dit zorgt ervoor dat verschillende voerstromen schadelijke microben kunnen dragen. Deze kunnen op verschillende manieren in het voer terechtkomen. Een van de routes is via 'besmetting' met grond of feces, een andere route is dat ze bij opslag of bewaring in het voer kunnen komen (Newbold *et al*, 2020). Verschillende pathogenen maar ook opslagschimmels kunnen zo in het dier terechtkomen en dit kan onder andere in koeien voor ontstekingen, diarree, vruchtbaarheidsstoornissen en een verminderde pensfunctie zorgen. Daarnaast kunnen toxinen geproduceerd door schimmels in het voer weer in de melk terechtkomen (Fink-Gremmels, 2008) en zo voor risico's voor humane consumptie zorgen.

Nuttig?

Voor melkproducie is het pensmicrobioom essentieel. Hierin bevindt zich een breed scala aan micro organismen die een symbiose vormen met het dier. Het darmmicrobioom in melkvee zet namelijk plantenvezels (lignocellulose) dat onverteerbaar is voor mensen, om in aminozuren en eiwitten. Daarnaast speel het microbioom in de pens een essentiële rol in diergezondheid.

Biologisch versus gangbaar?

Er is weinig bekend over verschillen op microbieel niveau tussen biologisch en gangbaar gehouden dieren. De studie van Gomes *et al* (2020) laat wel verschillen zien in zowel bacteriën en schimmels tussen biologisch en gangbaar gehouden koeien in Nederland. In dit onderzoek is in verschillende productiestadia (bodem, kuilgras, mest en melk), het microbioom van 10 gangbare en 10 biologische bedrijven onderzocht. Hierin kwam naar voren dat het darmmicrobioom van biologische koeien significant verschilde van gangbare koeien, voor zowel de schimmel- als de bacteriepopulaties. Ook in de melk werden er verschillen gevonden tussen de schimmelpopulaties in gangbare en biologische melk (Gomes *et al*, 2020). Verder onderzoek moet uitwijzen of dit ook consequenties heeft van dierenwelzijn en -gezondheid en daarnaast of en zo ja hoe de melkkwaliteit hierdoor wordt beïnvloed.

4.4 Mens: Darmmicrobioom en gezondheid

Er wordt geschat dat het microbioom van de mens uit 100 miljard bacteriële cellen bestaat. Dat is ongeveer 3 keer zoveel als de hoeveelheid menselijke cellen waaruit ons lichaam bestaat. Daarnaast bevat het microbioom ook nog virussen, gisten en andere micro-organismen. Deze zitten in en op ons lichaam, huid, luchtwegen, urinewegen, maagdarmstelsel. Elk van de locaties in en op ons lichaam heeft dus een microbioom. Afhankelijk van de locatie heeft elk microbioom zo zijn specifieke functies. Voor deze verkenning richten we ons op het microbioom in onze darmen: het darmbioom. Dat is beslist niet statisch maar juist erg dynamisch: het ververst zichzelf elke 7 dagen. Er ontstaat steeds

beter inzicht in de relatie tussen de ontwikkeling van het darmmicrobioom in het vroege leven en gezondheid later. Begonnen met onderzoek met bacterievrije muizen (geen microbioom en een steriele omgeving) waaruit bleek dat darmbacteriën cruciaal zijn voor een goede ontwikkeling en functioneren van de darm, het immuunsysteem en metabolisme. Een belangrijke functie van het microbioom is de bescherming tegen ziekteverwekkers. Door bijvoorbeeld de aanwezigheid in de darmen zorgt ons darmmicrobioom ervoor dat ziekteverwekkers daar minder makkelijk een plek vinden. Het microbioom in de darmen speelt daarnaast nog een belangrijke rol in de vertering van ons voedsel. Voedingsvezels zijn koolhydraten die het menselijk lichaam niet kan verteren. De micro-organismen in de dikke darm spelen een belangrijke rol in de vertering van deze voedingsstoffen en zorgen ervoor dat energie en actieve stoffen beschikbaar komen. De aanwezigheid van met name bepaalde koolhydraten en met name de onverteerbare koolhydraten, vezels, bepalen de aanwezigheid/afwezigheid van bepaalde darmbacteriën. Een aantal bacteriën in onze dikke darm produceren bijvoorbeeld vitamine K. Vitamine K is belangrijk voor onder andere bloedstolling. De micro-organismen in de darm produceren een grote verscheidenheid aan metabolieten die door de darmwand weer kunnen worden opgenomen en zo in het lichaam terechtkomen. Butyraat, een korte keten vetzuur bijvoorbeeld, wat ontstaat uit het fermenteren van voedingsvezels, is een energiebron voor de cellen in de darmwand. Er zijn verbanden gevonden tussen de samenstelling van het darmmicrobioom en bepaalde aandoeningen. Verschillende studies tonen aan dat de samenstelling van het microbioom in de darmen anders is bij bijvoorbeeld mensen met darmaandoeningen , astma , obesitas en type 2 diabetes (Frati *et al,* 2019; Aoun *et al*, 2020; Sharma en Tripathi, 2019). Het is nog grotendeels onduidelijk op welke manieren het microbioom precies verschilt tussen zieke en gezonde mensen. Het is echter niet duidelijk of er een oorzakelijk verband is en wat dat dan zou zijn. Is het veranderde microbioom (deels) de oorzaak van de conditie, of juist het gevolg van de ziekte of de veranderde omstandigheden die daarmee samenhangen? Verder is er nog onvoldoende bekend over de variatie van ons darmbioom over de tijd, dagen, weken, maanden en mogelijk jaren en in hoe verre deze variatie onafhankelijk is van onze voeding en mogelijk te maken heeft met bijvoorbeeld het bioom van onze bodem?

De normale ontwikkeling van het darmmicrobioom in het vroege leven kan bijvoorbeeld verstoord worden door geboorte via een keizersnede, stevige antibioticakuur of door het opgroeien in een super schone omgeving. Het eten van veel vezelrijke voeding zoals groente, fruit en volkoren producten lijkt positieve effecten op het darmmicrobioom te hebben. Recent is ook aangetoond dat het microbioom geassocieerd met consumptie van meer dierlijke producten geassocieerd is met een verlaging van een risico op hart- en vaatziekten. Dat een gezonde microbioom samenstelling een gunstig effect heeft op het immuunsysteem, is bijvoorbeeld aangetoond bij kinderen met allergisch eczeem. Moedermelk met een mix van beschermende stofjes van de moeder en een bioom schijnt de beste bescherming tegen allergische aandoeningen te geven. Studieresultaten met pro- en prebiotica (specifieke microben respectievelijk specifieke voeding ten gunste van specifieke microben) zijn lang

niet altijd eenduidig. Mensen verschillen nogal van elkaar, gezondheid wordt door veel factoren bepaald en de effecten van microbioom manipulatie zijn vaak subtiel. Dit zou kunnen komen door voeding of leefstijl. Het is ondertussen duidelijk dat de ontwikkeling van ons microbioom in ons vroege leven van invloed is op onze gezondheid op lange termijn. De basis wordt dus gelegd in de eerste maanden van ons leven. Dit is een cruciale periode waarbinnen het darmmicrobioom met gezonde voeding de goede kant op kan bewegen. Het is niet bekend of blootstelling aan bodem- of plantbiomen een bijdrage heeft aan de opbouw van ons darmbioom op deze jonge leeftijd.

5 Overige factoren

Bij overige factoren van invloed op de keten van bodem, gewas/vee, voeding, humane gezondheid valt te denken aan bijvoorbeeld antibiotica, residuen van gewasbeschermingsmiddelen en bodemverontreiniging. Om dat in detail te onderzoeken en beschrijven is een aparte en uitgebreidere literatuurstudie vereist. We beperken ons in dit verband tot effecten van antibiotica om twee redenen. Ten eerste omdat bij antibiotica in die keten sprake is van genenoverdracht, en ten tweede omdat we op het Louis Bolk Instituut daar ook zelf onderzoek aan verrichten.

5.1 Bodem: antibiotica

Routes voor antibiotica residuen en resistentiegenen naar het bodemmilieu

Antibiotica komen voornamelijk via mest in de bodem terecht. Hoe lang ze in de grond blijven en hoe goed en snel ze worden afgebroken is gerelateerd van de aard van de stof maar ook aan de bodemomgeving zoals de pH, het organische stofgehalte, bodemmineralen en het kleigehalte en ook afhankelijk van weersinvloeden (Thiele-Bruhn, 2003; Sarmah *et al*, 2006). In landbouwbodems worden antibiotica tot op 10 meter diep aangetroffen (Aminov, 2007).

Invloed van antibiotica op het bodemmicrobioom

Microbiële biomassa in de bodem nam toe na toediening van mest zonder antibiotica, en nam af na toediening van mest met antibioticum (Hammesfahr *et al*, 2008). Opslag van mest met antibiotica residuen gedurende 6 maanden vóór gebruik verkleinde dat effect (Hammesfahr *et al*, 2011).

Ontwikkeling van antibiotica resistentie in de bodem

Door aanwezigheid van antibiotica residuen in mest neemt de hoeveelheid resistentiegenen in de bodem toe. Met name door horizontale (=tussen vergelijkbare species) genenoverdracht zoals met plasmiden die resistentiegenen bevatten (Seveno *et al*, 2002). Dit werd bevestigd in een Nederlands onderzoek. Hierin werd de aanwezigheid van resistentiegenen tegen verschillende antibiotica getest in een historische serie bodemmonsters van 1940 tot 2008 van vijf locaties. Alle geteste resistentiegenen namen significant toe (Knapp *et al*, 2010). Overdracht van antibiotica resistentiegenen is het hoogst in de wortelzone (Seveno *et al*, 2002)

5.2 Plant: antibiotica

Opname van antibiotica door planten

Opname door planten van antibiotica uit opzettelijk wel of niet verontreinigde grond is vastgesteld in sla, mais en aardappel (Dolliver *et al*, 2007), in peen en sla (Boxall *et al*, 2006) en mais, ui en kool (Kumar, 2005). Accumulatie in deze gewassen was afhankelijk van de

concentratie van antibiotica in de bodem (Kumar, 2005). Opname verloopt voornamelijk via transport van water in de bodem en passieve opname door de plant, gevolgd door een gedeeltelijke relocatie van blad naar stengel naar wortel (Hu *et al*, 2010).

Effecten van antibiotica in de bodem op de plantengroei

Antibiotica remde de lengtegroei van de wortel, het hypocotyl, de cotyllen en het aantal en lengte van de bladeren in komkommer, sla, boon en radijs (Migliore *et al*, 2003). Ook de fotosynthese in tarwe werd door antibiotica afgeremd direct via verlaagde elektron transport snelheid en via een vermindering van bladgroen, en indirect via verdere sluiting van de huidmondjes (Ocsana, 2013).

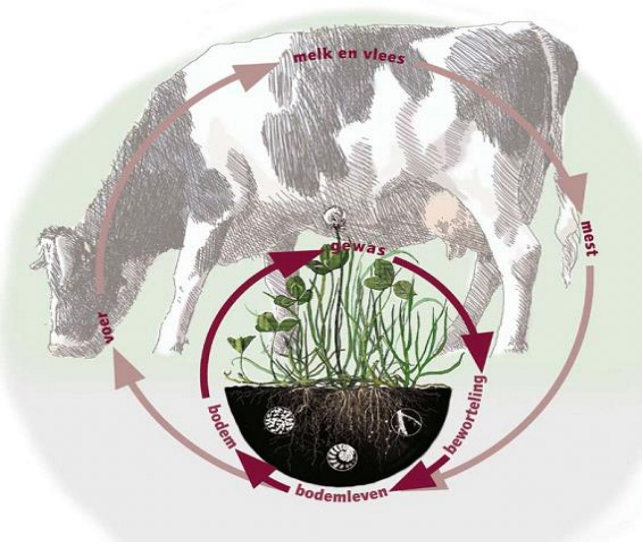
Overdracht van resistentiegenen van bacteriën naar planten

Overdracht van antibiotica resistentiegenen vanuit oxidase-positieve bacteriën naar groenten die doorgaans rauw worden geconsumeerd is aangetoond in sla, spinazie en taugé (Bezanson *et al*, 2008).

5.3 Dier: voorkomen en verspreiding van antibiotica resistentiegenen

Dieren kunnen antibiotica of antibiotica resistente bacteriën binnen krijgen via inademing, water, gronddeeltjes of veevoer (planten, melk, vismeel). Verspreiding van antibiotica resistente bacteriën en daarmee antibiotica resistentiegenen kan plaats vinden via regenwormen (Aira, 2008), vogels (Blanco, 2009), vis en schaaldieren (Allen, 2010; Taylor, 2011).

Ook aan de binnenkant van bijvoorbeeld rioolbuizen, irrigatieleidingen en drainagesystemen komen biofilms voor waarin antibiotica resistente bacteriën kunnen voorkomen en zich zo verder verspreiden naar een omgeving waarin dieren deze bacteriën kunnen opnemen (Veldman, 2012).



Figuur 6. *Verspreiding in het ecosysteem van antibiotica residuen, antibiotica resistente bacteriën en antibiotica resistentiegenen afkomstig uit veterinair gebruik van antibiotica.*

5.4 Mens: antibiotica en resistentiegenen

Medewerkers op veehouderijbedrijven kunnen relatief makkelijk worden blootgesteld aan antibiotica resistente bacteriën via stofdeeltjes in de lucht en direct fysiek contact met het vee. MRSA besmetting bij personeel is vastgesteld in de melkveehouderij (Feßler, 2012) en varkenshouderij (Rahamat-Langendoen, 2008).

Ook via antibiotica resistente bacteriën in vlees (Cohen Stuart, 2012; Zdragas, 2012) en kaas (Perreten, 1997) of gefermenteerde producten (Ruimy, 2010) kunnen mensen worden besmet. Deze bacteriën overleven passage door de maag en kunnen resistentiegenen doorgeven aan het humane darmbioom (Devirgiliis, 2011). Goede hygiëne in zowel voedingsindustrie en bij bereiding kunnen risico's afdoende inperken (Phillips, 2004).

Antibiotica resistentie van gram-negatieve bacteriën is zowel in biologische als gangbare veehouderij aangetroffen, en in daaruit voortgebrachte voedingsmiddelen (Ruimy, 2010).

6 Conclusies

6.1 Conclusies naar aanleiding van de vragen uit het plan van aanpak

Om op basis van de bevindingen in de hoofdstukken hiervoor conclusies te kunnen trekken gaan we terug naar de vragen zoals geformuleerd in ons plan van aanpak. Daarna volgen nog ter afsluiting in §6.2 aanbevelingen voor verder onderzoek.

Dit literatuuronderzoek spitste zich toe op drie vragen of aandachtsvelden :

1) de relatie tussen bodem en gewas/vee?

i) de relatie tussen bodemvruchtbaarheid enerzijds en inhoudsstoffen en antioxidanten in plantaardige en dierlijke producten van die bodem anderzijds

De notie dat gemiddeld de bodemvruchtbaarheid voor wat betreft micronutriënten is afgenomen in de laatste decennia wordt in de geraadpleegde literatuur zowel onderschreven als tegengesproken. Waarnemingen in Nederland door Eurofins lijken die notie echter wel te onderschrijven.

Onderzoek naar een veronderstelde afname aan inhoudsstoffen in landbouwproducten gedurende de afgelopen decennia is even divers in opzet als tegenstrijdig in uitkomsten. Daarbij is de vraag in hoeverre resultaten van buiten Nederland, met afwijkende bodem en teeltmethoden, relevant zouden zijn voor de situatie in Nederland. Rapportages over producten voortgebracht buiten Nederland lijken wel te wijzen op een verdunningseffect, dat wil zeggen dat producten uit hoog opbrengende intensieve landbouwsystemen relatief minder nutriënten bevatten. Toch is ook hier het bewijs dun en is de vraag of resultaten uit afwijkende landbouwsystemen van toepassing zijn op de situatie in Nederland. Rapportages over nutriëntengehalten in landbouwproducten voortgebracht in Nederland zijn schaars en niet eenduidig. Het onderzoek van Griffioen uit 2018 baseerde zich noodgedwongen op een zeer beperkte dataset.

Ook de veronderstelde afname van inhoudsstoffen in moderne rassen in vergelijking met oude rassen wordt niet eenduidig ondersteund door resultaten uit onderzoek. Hier lijkt ook weer eerder sprake van een verdunningseffect: weliswaar meer biomassa met relatief minder inhoudsstoffen, maar niet zozeer als gevolg van een verminderde beschikbaarheid in de bodem.

Uitsluitend gras gevoerde dierhouderijsystemen zijn in Nederland doorgaans extensief natuurinclusief of agro-ecologisch of biologisch van opzet, en gericht op een gezonde bodem. Nutriëntendeficiënties bij het vee worden niet via samengesteld krachtvoer voorkomen, maar vormen vanwege die expliciete aandacht voor een gezonde bodem toch geen grote bedreiging.

De interactie met het microbiële bodemleven kan een directe impact hebben op welke metabolieten er gevormd worden in het gewas en die door vee of mens worden geconsumeerd. Ondanks dat er een directe link is tussen de bodemvruchtbaarheid, de activiteit van het microbiële bodemleven en de aanwezigheid van metabolieten in het gewas is het niet bekend in welke mate dit een rol speelt. Een eenduidig overzicht van de rol van de bodemvruchtbaarheid, het type landbouwsysteem en de hoeveelheid en samenstelling van secundaire metabolieten ontbreekt op dit moment nog.

ii) de relatie tussen bodemleven/wortelbioom enerzijds en gezondheid van gewas en vee anderzijds;

Een uitbundig en divers bodembioom is onmisbaar voor een gezonde bodem. Het microbioom in de bodem en op en in planten is van belang voor voldoende opname van nutriënten door gewassen, en zorgt in interactie met gehanteerde teeltmaatregelen voor nutriëntenrijke voeding of voer. Daarmee draagt het microbioom ook bij aan goede groei en ontwikkeling van planten, en daarmee aan de oogstzekerheid van gewassen. Vitale gewassen zijn bovendien weerbaarder tegen ziekten en plagen. Dat betekent omgekeerd dat alles wat het bodembioom beperkt (teeltmaatregelen, antibiotica) zowel nutriëntenrijkdom van voeding als vitaliteit van gewassen en vee kan verminderen. Of en in welke mate bodemvruchtbaarheid van landbouwbodems in Nederland afneemt in de tijd en op die manier nutriëntenrijkdom van voeding en voer onder druk zet is niet bekend.

2) de relatie tussen gewas/vee en humane gezondheid?

iii) de relatie tussen inhoudsstoffen en anti-oxidanten in plantaardige en dierlijke producten enerzijds en humane gezondheid anderzijds met aandacht voor bereiding en inname

De gehalten aan nutriënten en secundaire metabolieten van geoogste planten(delen), geslacht vlees of geproduceerde zuivel wordt beïnvloedt door interacties tussen bodembioom, teeltmaatregelen en plant en in de veehouderij door het darmbioom van de dieren. Verwerking en bereiding vermindert doorgaans de voor onze gezondheid gunstige stoffen, tenzij ze bij verder processing juist worden toegevoegd.

Er lijkt sprake te zijn van een verdunningseffect in producten afkomstig uit moderne intensieve landbouw (meer biomassa, minder inhoudsstoffen). Dat betekent dat consumenten meer product zouden moeten consumeren om de benodigde hoeveelheid nutriënten binnen te krijgen. De gemiddelde inname in Nederland van de belangrijkste nutriënten met uitzondeling van selenium en ijzer vormt geen probleem. Echter, slechts 10% Nederlandse bevolking eet daadwerkelijk volgens de Richtlijnen Goede Voeding aanbevolen hoeveelheden groente en fruit. We zien dus aan de ene kant een inname tekort van groente en fruit terwijl er geen direct tekort aan nutriënten wordt waargenomen. Inname en mogelijke tekorten bij bepaalde risico groepen of personen met een verhoogd verbruik of behoefte van nutriënten kunnen een ander beeld geven. Naast deze bekende nutriënten die blijkbaar geen tekorten laten zien zijn er geen data over de inname van diverse secundaire

metabolieten waaronder bijvoorbeeld antioxidanten onder druk staat. Vanuit het oogpunt van gezondheidswinst valt dus in eerste instantie veel te behalen bij het verhogen van inname van gezonde volwaardige producten zoals groente en fruit.

Uiteraard dient onze voeding van (hoge) kwaliteit te zijn waarbij voldoende gunstige, gezonde inhoudsstoffen (micronutriënten en secundaire metabolieten) aanwezig zijn. Gezien echter de geringe consumptie van nutriëntrijke voeding is het pas in tweede instantie nuttig te kijken naar de invloed van verhoging van deze inhoudsstoffen via specifieke teeltmaatregelen voor gewassen, specifieke rassen van gewassen of mogelijk dierhouderij systemen op onze gezondheid. De gezondheidswinst daar te behalen kan slechts worden gecasht als de inname op orde is.

Microbioom in dieren uit biologische veehouderij of producten uit biologische teelt vertonen in sommige gevallen wel verschillen, maar onbekend is nog of dat gunstige effecten heeft op humane gezondheid.

de relatie tussen het microbioom in plantaardige en dierlijke producten enerzijds en het humaan darmbioom anderzijds;

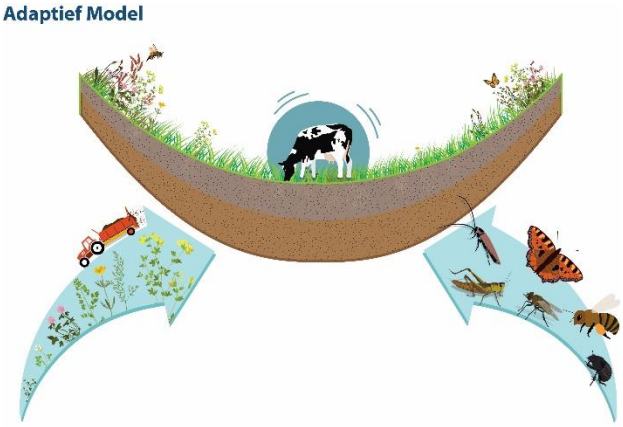
Slechts weinig van het in en op planten en dieren aanwezige bioom komt functioneel in onze darmen beschikbaar. Een directe link tussen bioom op en in planten en vee enerzijds en het humane darmbioom is dan ook vooralsnog niet aangetoond. De relaties zijn wel indirect doordat het bioom op en in planten en vee de specifieke nutriënten en secundaire metabolieten in die voedingsmiddelen beïnvloeden die op hun beurt weer van invloed kunnen zijn op het humane darmbioom. Er is overigens op dit moment weinig bekend over wat überhaupt een "gezond darmbioom" nou feitelijk is. Ook kan door de ziekte-onderdrukkende capaciteit van het plantbioom, plantenziekten worden voorkomen waardoor inname van potentieel schadelijk mycotoxinen worden voorkomen.

3) en afsluitend de helikopter analyse van de relatie tussen de bodem en humane gezondheid.

Bodemmanagement, bodemvruchtbaarheid, bodembioom

De landbouw heeft zich in Nederland in de laatste 5 à 6 decennia snel ontwikkeld qua schaalgrootte, kapitaalintensiviteit, uniformering, bouwplanversmalling, dalende rentabiliteit en groeiende afhankelijkheid van enerzijds een zeer beperkt aantal gewassen en anderzijds een hechte schil van toeleveranciers en afnemers. Daarmee neemt de handelingsvrijheid van boeren in het algemeen af.

Bouwplanversmalling en minder rustgewassen, samen met meer en zwaardere mechanisatie zet de bodemkwaliteit onder druk. De fysische kwaliteit (structuur) van de landbouwbodems neemt gemiddeld af. Bodemvruchtbaarheid (chemische kwaliteit) kan met gerichte minerale bemesting nog wel min of meer op peil blijven, maar door minder aandacht voor organisch stofgehalte en bodembiodiversiteit (biologische kwaliteit) neemt de kwetsbaarheid van het landbouwproductiesysteem toe. Andersom zijn landbouwbodems met een hoger organische stofgehalte en een rijker bodemleven inclusief microbioom robuuster in het licht van de klimaatverandering. Transitie naar een adaptief model van landbouw met een gezonde, levende bodem maakt ons voedselsysteem robuuster.



Bij de ontwikkeling van kringlooplandbouw ligt het voor de hand dat de voedselproductie ook meer regionaal wordt. Dat betekent dat voedsel minder van over de hele wereld naar ons toe komt, en dus gemiddeld ook vanuit minder verschillende landbouwsystemen en bodems. Dat betekent dat het belang van een gezonde, levende bodem hier in ons eigen land belangrijker wordt voor ons eigen voedingspatroon. Immers, minder variatie in bodems van herkomst betekent ook minder uitmiddelen van een mogelijke deficiënties op een bepaalde bodem ergens ter wereld.

Dus zowel uit oogpunt van klimaatverandering als voor de uitwerking van kringlooplandbouw is een gezonde, levende bodem van groot belang. Immers, een gezonde, levende bodem versterkt de weerbaarheid en robuustheid van de Nederlandse voedselproductie bij toenemende extremen in neerslag en temperatuur, en verzekert een gebalanceerde samenstelling van nutriënten in lokaal geteelde voedingsmiddelen. En via bodembioom en secundaire metabolieten in gewassen (en vee?) is er ook een (indirecte) relatie met humane gezondheid.

Er liggen hier dus kansen voor gezondheid als driver voor verbetering van bodemkwaliteit en bodembiodiversiteit als onderdeel van verduurzaming van ons voedselproductiesysteem.

Ontwikkeling in gewassen en wat zit er op en in voedsel?

De notie dat de huidige gewassen minder nutriënten zouden bevatten is niet of nauwelijks te onderbouwen met de huidige literatuurgegevens. Onderzoek aan de hand van historische voedingsmiddelentabellen is onbetrouwbaar. De notie dat moderne rassen altijd minder nutriëntrijk zouden zijn dan oude rassen is aantoonbaar onjuist.

Dat er veranderingen en/of verschuivingen, en doorgaans verlagingen hebben plaats gevonden in de gehalten aan secundaire metabolieten in planten is wel duidelijk. Simpelste voorbeeld is het verdwijnen van bitterstoffen in bijvoorbeeld moderne niet-bittere witlof en spruitjes rassen. Tegelijk neemt abiotische stress door klimaatverandering toe, wat planten en hun wortelbioom prikkelt om daarop te reageren met meer en of andere secundaire metabolieten. Of dat gunstig of ongunstig is in de zin van humane gezondheid is onbekend.

Rassen verschillen in hun vermogen om succesvol van het bodembioom gebruik te maken, maar die verschillen worden gemaskeerd in intensieve teeltsystemen met een gereduceerde invloed van het bodembioom. In een systeem van kringlooplandbouw waarbinnen minder externe inputs kunnen worden ingezet is een optimale samenwerking van plantenrassen met het bodembioom van groot belang. Veredeling van rassen aangepast op hun vermogen om optimaal met bodembioom te interacteren is van belang bij het succesvol implementeren van kringlooplandbouw.

Microbioom op geoogste gewasdelen die ons tot voedsel dienen verdwijnen doorgaans bij wassen, bewaring, bereiding enz. uitgezonderd producten zoals aardbeien die doorgaans vers en ongewassen worden gegeten. Microbioom in de plant is afhankelijk van teeltmanangementsysteem (biologisch versus gangbaar), en zou in die gevallen waarin dat diversere microbioom zich in een door mensen gegeten onderdeel van de plant bevindt aanleiding kunnen zijn om teeltmanagementsysteem te koppelen aan humane gezondheid. Vraag daarbij is of bewaring en bereiding de mogelijke positieve effecten op humane gezondheid niet weer teniet doen en daarmee de gezondheidswinst ook weer weg is.

Voedsel en effect op gezondheid

Onze moderne leefstijl, voeding en omgeving draagt bij aan onze algemene gezondheid. Tevens wordt ons darmmicrobioom beïnvloed door wat wij doen, eten en waar wij aan blootgesteld worden (met name in onze eerste levensjaren). Welke van deze drivers de belangrijkste beïnvloeders zijn van ons darmbioom is nog onduidelijk. En moet in het perspectief gezien worden van de ontwikkeling van ons darmmicrobioom is de eerste dagen van ons leven. Tegelijk moet worden vastgesteld dat de dynamiek van het darmbioom na die eerste jaren ook nog onvoldoende is onderzocht.

Er zijn voorzichtige aanwijzingen dat er effecten zijn van het microbioom van de bodem op de diversiteit van ons darmmicrobioom. De aanwezigheid van met name de onverteerbare koolhydraten (voedingsvezels) bepalen de aan-/afwezigheid van bepaalde darmbacteriën. Ook de aanwezigheid van diverse secundaire metabolieten in ons voedsel die door de interactie bodembioom met plantbioom zijn ontstaan hebben een indirect effect op onze darmmicrobioom diversiteit. De manier van het verbouwen van ons voedsel, het verwerken en verpakken heeft effecten op met name de hoeveelheid stofjes in de voedingsmatrix die een positief effect hebben op ons darmbioom. Onze huidige globale voedselvoorziening,

onze manier van bereiden en eten, en onze leefstijl zijn van groot belang voor onze darmmicrobioom diversiteit en de mogelijk effecten op onze gezondheid.

Maatschappelijk perspectief

De gevleugelde uitspraak '*je bent wat je eet'* is met de inzichten van nu op zijn minst deels te herformuleren tot '*je bent wat je darmbioom je laat zijn'*. Dat betekent weer dat voedsel (uit een voedselproductiesysteem) wat je tot je neemt een effect heeft op je darmbioom en daarmee van invloed is op wie je bent, in de zin van wat kun je en wat kun je niet (persoonlijk en maatschappelijk). Afwezigheid/beperking van gezondheid beperkt een mens in zijn functioneren en welbevinden, en brengt maatschappelijk kosten met zich mee.

Dat 'gezondheid' als een pijler onder een businesscase in de voedselketen kan worden ingezet zien we doorgaans indirect, waar naast zaken als smaak, kleur, originaliteit, diversiteit zeker ook gezondheid een onuitgesproken onderdeel vormt van de propositie naar de consument.

Voor een overheid en maatschappij is de notie dat via gezonde voeding afkomstig uit een gezond, levendig landbouwsysteem gezondheid kan worden bevorderd een interessante gedachtegang.

- Is het huidige aanbod aan voedsel dan niet goed (genoeg)? Dat blijkt niet uit deze studie.
- Zijn er opties om via voedsel gezondheid te bevorderen? Dat blijkt wel uit deze studie.
- Is het dan een kwestie van 'beter' voedsel produceren en dan zijn 'we' er? Nee, daarvoor eten we te weinig volgens de Richtlijnen Gezonde Voeding. Daar moet in de eerste plaats actie op komen.

Neemt niet weg dat aanvullend daarop mogelijkheden kunnen worden verkend om ons voedsel nog meer bij te laten dragen aan onze gezondheid. Bovendien kan 'gezondheid' dan ook als één van de drivers worden ingezet in beleid gericht op klimaatadaptatie en de realisatie van duurzame kringlooplandbouw, in lijn met wat niet alleen burgers maar (belangrijker nog) ook consumenten op dit moment willen en zoeken.

6.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

De hoofdvraag, hangen een gezonde bodem, gezonde gewassen en vee daarop, gezonde voeding daaruit voortkomend en gezondheid bij de mens samen, is met de kennis van nu niet in alle schakels hard te maken. Relaties zijn soms slechts indirect of simpelweg (nog) niet bewezen.

In het verlengde van deze literatuurstudie zijn een aantal lacunes in onze kennis opgemerkt die om aanvullend onderzoek vragen:

Teeltsystemen

Voor een gezonde bodem is het van belang dat de fysische, chemische en biologische kwaliteit in balans is. Nog onbeantwoord is de vraag of de bodemvruchtbaarheid de afgelopen decennia in Nederland is afgenomen. Ook de vraag wat teeltmaatregelen zoals ploegen versus niet-kerende grondbewerking in relatie tot het bodembioom enerzijds en de nutriëntgehalten, secundaire metabolieten en microbioom in gewassen en vee anderzijds kunnen betekenen. Ook de vraag of verschillen in management zoals bijvoorbeeld hoogintensief versus biologisch structurele effecten hebben op bodembioom, darmbioom bij landbouwhuisdieren, product- en voedselkwaliteit en humane gezondheid vraagt om nader onderzoek.

Om daar helderheid in te verschaffen is langjarig landbouwkundig, microbiologisch onderzoek nodig samen met analytisch onderzoek van de voortgebrachte voedingsmiddelen en effecten op humane gezondheid.

Veredeling

De rol van veredeling in de trits gezonde bodem… gezond gewas… gezonde voeding… gezonde mens in de afgelopen halve eeuw is niet duidelijk. Interessanter nog is de vraag wat veredeling kan gaan betekenen hierin. Daarvoor is echter eerst nodig dat onderliggende relaties helder in beeld worden gebracht. De interactie tussen bodembioom, plantenrassen en rijkdom aan nutriënten en secundaire metabolieten in de geoogste producten, het vermogen van planten om daarin te excelleren en vervolgens het instrumentarium voor veredelaars om daarop te selecteren vraagt om nader onderzoek om het genetische potentieel van gewassen in te zetten voor bevordering van humane gezondheid.

Microbioom

Kennis van het microbioom in gewassen en vee en effecten op onze gezondheid enerzijds, en effecten van bewaring en bereiding op dat microbioom anderzijds is op dit moment zeer beperkt en gefragmenteerd. Terwijl hier juist het systemische perspectief nodig is om resultaten uit de verschillende disciplines en onderzoeksgebieden bijeen te brengen om de verbanden met onze gezondheid, waar aanwezig, te kunnen leggen. Op dit terrein is vooral behoefte aan meer verbinding in de komende jaren. Daarnaast is een interessante vraag of biologisch en agro-ecologisch structureel een meer divers bioom in bodem en producten heeft, en of dat wellicht gunstig is voor humane gezondheid.

Secundaire metabolieten en gezondheid

Kennis over de rol van secundaire metabolieten op humane gezondheid of ons darmbioom is nu nog beperkt. Kennis over mogelijke sturing via bijvoorbeeld teelt- of houderijmaatregelen ontbreekt. Dit vraagt om aanvullend onderzoek gericht op specifieke doelgroepen qua levensfase of ziektebeeld naar de dynamiek van het humane darmbioom en de invloed van bijvoorbeeld secundaire metabolieten in plantaardige en dierlijke voedingsmiddelen daarbij, gekoppeld aan de mogelijkheden om daar via teelt van planten en houderij van dieren

positief aan bij te dragen. Nieuwe kennis en inzichten op dit gebied vormen uiteindelijk het fundament onder nieuw beleid waarin gezondheid kan wordt ingezet voor de verdere verduurzaming van de Nederlandse landbouw.

7 Samenvatting

Een veronderstelde afname in bodemkwaliteit is onderwerp van maatschappelijk debat, vaak direct gelinkt aan de gezondheid van de mens. In de wetenschap wordt onderzoek verricht naar de relatie tussen bodemkwaliteit/bodemleven en ziektewerendheid voor gewas en vee, nutriëntengehalte van nieuwe en oude rassen, historische ontwikkeling van bodemvruchtbaarheid en de relatie tussen voeding en de gezondheid van de mens via het darmbioom.

Het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit wil weten of er een relatie is te leggen tussen een gezonde bodem, een gezond gewas, gezonde voeding en uiteindelijk gezondheid bij de mens. Het Ministerie heeft belang bij kennis over dit thema om meer zicht te krijgen op de potentie van humane gezondheid als basis en driver voor de transitie van schaal en prijs gedreven landbouw naar een landbouw die produceert voor kwaliteitsmarkten.

7.1 Nutriënten

Bodem

Er lijken aanwijzingen te zijn dat de fysische bodemstructuur in Nederland gemiddeld genomen verslechtert. Voor een afname in biologische bodemkwaliteit zijn onvoldoende gegevens beschikbaar. Voor een afname in chemische bodemkwaliteit (bodemvruchtbaarheid) is in de literatuur geen eenduidig bewijs voorhanden, maar historische meetreeksen uit commerciële bodemanalyses wijzen op een teruggang in mineralenrijkdom.

Plant

In de vele onderzoeken naar nutriëntgehalten van geoogste producten zijn de getrokken conclusies tegenstrijdig. Onderzoek aan de hand van voedingsmiddelentabellen lijken op een afname te wijzen, maar dergelijke onderzoeken zijn onvoldoende betrouwbaar omdat de informatie in de tabellen over een lange tijdsperiode met een grote diversiteit aan gebruikte methoden, onderzochte rassen, groei- en bewaaromstandigheden, enz. op de keper beschouwd onvergelijkbaar is.

Effecten van oude en moderne rassen of teeltwijzen op nutriëntgehalte zijn gewas specifiek en in verschillende onderzoeken tegenstrijdig. Soms lijkt er sprake van een genetisch verdunningseffect, maar dan in combinatie met een omgevingsverdunningseffect, zeg maar het teeltmanagement, of sterk verhoogde opbrengst. In ons onderzoek in de huidige biologische groententeelt bleken verschillen tussen telers groter dan verschillen tussen rassen binnen een gewas.

In dit verband wordt ook gewezen op de geringe inname (van groenten en fruit) die waarschijnlijk een groter effect hebben op gezondheid dan een veronderstelde lager gehalte aan nutriënten in het huidige aanbod.

Dier

Gezondheid van vee wordt sterk beïnvloedt door een gebalanceerde inname van nutriënten, vooral in die gevallen waar geen bijvoer met toegevoegde mineralen wordt gevoederd. Natuurlijk beschikbare nutriënten variëren tussen de verschillende typen Nederlandse landbouwbodems.

Mens

Mensen hebben naast eiwitten, koolhydraten en vetten een aantal micronutriënten (o.a. mineralen en andere sporenelementen) nodig voor een stabiele gezondheid. Deficiënties van mineralen kunnen worden veroorzaakt door een tekort of afwezigheid van deze elementen in de bodem, maar ook door een (beperkt) voedingspatroon waaruit minder van deze elementen te absorberen is.

Nie*t al*leen de aanwezigheid van nutriënten in voedingsmiddelen is van belang, ook mate en manier van bereiding kan een grote rol spelen. Daarnaast is inname van voldoende van deze gezonde voedingsmiddelen doorslaggevend voor mogelijke effecten op humane gezondheid. Gemiddeld is er geen reden tot zorg over onvoldoende inname van benodigde nutriënten, maar dat geldt niet à priori voor specifieke doelgroepen.

7.2 Secundaire metabolieten

Secundaire metabolieten zijn stoffen die worden geproduceerd door planten, maar niet betrokken zijn bij de groei en reproductie, afhankelijk van de omstandigheden waarin de plant zich bevindt.

Bodem

Ongunstige omstandigheden in de bodem (droogte, zout, mineralentekort) sturen het metabolisme van planten doorgaans via het bodembioom in de richting van secundaire metabolieten. Tegelijk zetten planten naast suikers secundaire metabolieten in om het bodembioom in de rhizosfeer te beïnvloeden.

Plant

Secundaire metabolieten in planten spelen een rol in het afweermechanisme tegen herbivoren, verdediging tegen ziekten en plagen, herstel van verwonding, bescherming tegen UV-straling en het aantrekken van bestuivers en verspreiders van zaad. Temperatuur, hoeveelheid licht en bemesting hebben invloed op secundaire metabolieten in groenten en fruit.

Veredeling heeft in 2/3 van de onderzochte landbouwgewassen gehalten en samenstelling van secundaire metabolieten beïnvloed op het gebied van smaak , kleur en toxiciteit. Omdat

veel van deze secundaire metabolieten ook een versterkend effect op ons immuunsysteem hebben, heeft een gerealiseerde afname in nieuwe rassen mogelijk effecten op humane gezondheid.

Verschillende onderzoeken naar gehalten aan secundaire metabolieten in biologisch geteelde producten in vergelijking met niet-biologisch geteelde wijzen niet altijd uit dat biologisch altijd hogere gehalten laat zien. Mogelijk veroorzaakt doordat in biologisch en niet-biologisch vaak verschillende rassen worden gebruikt.

Dier

Bij vee is de rol van secundaire metabolieten in planten tweeledig. Enerzijds kunnen zij opname of vertering remmen als toxisch en anti-nutritioneel effect, anderzijds kunnen secundaire metabolieten medicinaal werken. Vrije keus in voer wijst in de richting van natuurlijke zelfmedicatie door herbivoren.

Mens

Inname van secundaire metabolieten kan positieve effecten hebben op humane gezondheid. Het bereide van groente en fruit leidt tot een verlies van (een deel van) deze metabolieten. Biobeschikbaarheid van dergelijke stoffen is afhankelijk van de manier van inname: als natuurlijk onderdeel van geoogst voedsel of in geïsoleerde vorm toegevoegd aan een voedingsmiddel. Secundaire metabolieten kunnen in onze darm worden afgebroken of juist geactiveerd. Ook in de lever vindt metabolisme en biotransformatie plaats.

7.3 Microbioom

Bodem

Het bodemleven is zeer divers en bestaat naast microben uit nematoden, regenwormen en geleedpotigen, en speelt een cruciale rol bij de afbraak van organische stof, de mineralisatie en immobilisatie van voedingsstoffen in de bodem en bij het in stand houden van de bodemstructuur. Het bodemmicrobioom heeft een groot effect op de groei van het gewas en gehalten en samenstelling van inhoudsstoffen van de plant.

Plantenrassen verschillen onderling sterk in hun vermogen met bodemmicrobioom om te gaan bij de opname van nutriënten en afweer van bedreigingen. Specifiek aangepaste plantenrassen zijn in staat voordeel te halen uit een gezondere bodem: verhoogde gehalten aan nutriënten in die gewassen en de delen die als voedsel dienen, en een verbeterde plantgezondheid en robuustheid tegen ongunstige abiotische factoren. Een scheidslijn tussen gemiddelde en verhoogde gehalten van macro- en micronutriënten en secundaire metabolieten in ons voedsel loopt niet tussen biologisch en gangbaar, maar veeleer langs aandacht voor bodemkwaliteit en –management.

De analogie van het wortelbioom en het darmbioom en de vergelijkbare omstandigheden waaronder dat bioom leeft en functioneert werd aanvankelijk genoemd als reden voor veronderstelde causaliteit tussen die twee, maar nu is die causaliteit afgewezen.

Plant

Op en in planten zijn ook microben aanwezig, zowel op en in de wortel als op en in bovengrondse delen. Deze microben dragen bij aan opname van mineralen en nutriënten, groei en ontwikkeling van de plant, versterken van het immuunsysteem en het induceren van resistentie. Microben in de fyllosfeer en endosfeer kunnen ook schadelijk zijn voor de humane gezondheid. Microben nuttig in de zin van humane gezondheid bevorderend zijn wel op en in planten aanwezig zijn, maar bereiken de maag en darm niet of slechts moeizaam. Een directe invloed van het microbioom in de plant zelf op darmbioom en humane gezondheid is nog niet gevonden, die is eerder indirect via aanwezige nutriënten en secundaire metabolieten.

Verschillen tussen biologisch en gangbaar hierin worden nu eerst onderzocht.

Dier

Het microbioom op en in landbouwhuisdieren is zeer divers. Ook in het voer is microbioom aanwezig en speelt een rol bij diergezondheid, voerderconversie en uitstoot van bijvoorbeeld methaan door het vee, maar kan ook rechtstreeks een risico's voor humane consumptie vormen.

In het onderzoek naar verschillen in Nederlandse biologische en gangbare melkveehouderij worden wel verschillen gevonden voor het darmmicrobioom van de koeien als in de melk. Verder onderzoek moet uitwijzen welke consequenties dit heeft op diergezondheid en melkkwaliteit.

Mens

Ook het microbioom op en in mensen is zeer divers. Het darmbioom is dynamisch: het ververst zichzelf elke 7 dagen. Het microbioom in de darmen speelt een belangrijke rol in de vertering van ons voedsel. Daarnaast biedt het darmbioom directe bescherming tegen ziekteverwekkers, en zijn er verschillen gevonden tussen mensen met of zonder darmaandoeningen, overgewicht, astma en diabetes. Het is echter nog grotendeels onduidelijk of er een oorzakelijk verband is en wat dat dan zou zijn. Verder is er nog onvoldoende bekend over de variatie van ons darmbioom over de tijd en in hoeverre deze variatie onafhankelijk is van onze voeding, en nog helemaal niets over een eventuele invloed over het bioom van de bodem daarbij.

Wel aangetoond is een verband tussen een gezonde microbioom samenstelling en een gunstig effect heeft op het immuunsysteem bij kinderen met allergisch eczeem. Moedermelk met een mix van beschermende stofjes van de moeder en een bioom schijnt de beste bescherming tegen allergische aandoeningen te geven. Het is bovendien duidelijk dat de

ontwikkeling van ons microbioom in ons vroege leven van invloed is op onze gezondheid op lange termijn. De invloed van blootstelling aan bodem- of plantbioom juist op deze jonge leeftijd bij de opbouw van ons darmbioom is niet bekend.

7.4 Antibiotica

Bij overige factoren van invloed op de keten van bodem, gewas/vee, voeding, humane gezondheid valt te denken aan bijvoorbeeld antibiotica, residuen van gewasbeschermingsmiddelen en bodemverontreiniging. We beperken ons in deze studie tot effecten van antibiotica.

Bodem

Antibiotica komen in de bodem terecht voornamelijk via mest. Afbraak is afhankelijk van de aard van de stof, de bodemomstandigheden en weersinvloeden. In landbouwbodems worden antibiotica tot op 10 meter diep aangetroffen. Microbiële biomassa in de bodem nam toe na toediening van mest zonder antibiotica, en nam af na toediening van mest met antibioticum. Opslag van mest met antibiotica residuen vóór gebruik verkleinde dat effect.

Door aanwezigheid van antibiotica residuen in mest neemt de hoeveelheid resistentiegenen in de bodem toe. Uit analyse van historische series bodemmonsters blijkt de aanwezigheid van resistentiegenen toe te nemen.

Plant

Planten nemen antibiotica op uit verontreinigde grond. Antibiotica remt de groei en ontwikkeling, en de fotosynthese. Ook vindt overdracht plaats van antibiotica resistentiegenen vanuit bacteriën naar groenten die doorgaans rauw worden geconsumeerd.

Dier

Dieren kunnen antibiotica of antibiotica resistente bacteriën binnen krijgen via lucht, water, grond of voer. Dieren verspreiden ook antibiotica resistente bacteriën en daarmee antibiotica resistentiegenen in het milieu.

Mens

Medewerkers op veehouderijbedrijven kunnen relatief makkelijk worden blootgesteld aan antibioticaresistente bacteriën. MRSA besmetting bij personeel is vastgesteld.

Ook via antibioticaresistente bacteriën in vlees en kaas of gefermenteerde producten kunnen mensen worden besmet. Deze bacteriën overleven passage door de maag en kunnen resistentiegenen doorgeven aan het humane darmbioom. Antibioticaresistentie is zowel in biologische als gangbare veehouderij aangetroffen, en in daaruit voortgebrachte voedingsmiddelen.

7.5 Conclusies

Hier volgen we de drie hoofdvragen met subvragen uit de inleiding:

7.5.1) de relatie tussen bodem en gewas/vee.

i) de relatie tussen bodemvruchtbaarheid enerzijds en nutriënten en secundaire metabolieten in plantaardige en dierlijke producten van die bodem anderzijds

De notie dat gemiddeld de bodemvruchtbaarheid voor wat betreft micronutriënten is afgenomen in de laatste decennia wordt in de geraadpleegde literatuur zowel onderschreven als tegengesproken. Waarnemingen in Nederland door Eurofins lijken die notie echter wel te onderschrijven. Nutriënten in planten en (via planten in) dieren kunnen rechtstreeks uit de bodem worden opgenomen, al dan niet na beschikbaar maken door het bodemmicrobioom. De rol van het microbiële bodemleven is hierin essentieel.

Onderzoek naar een veronderstelde afname aan inhoudsstoffen in landbouwproducten gedurende de afgelopen decennia is even divers in opzet als tegenstrijdig in uitkomsten. Rapportages over nutriëntengehalten in landbouwproducten voortgebracht in Nederland zijn schaars en niet eenduidig. Rapportages over producten voortgebracht buiten Nederland lijken wel te wijzen op een verdunningseffect, dat wil zeggen dat producten uit hoog opbrengende intensieve landbouwsystemen relatief minder nutriënten bevatten. Toch is ook hier het bewijs dun en is de vraag of resultaten uit afwijkende landbouwsystemen van toepassing zijn op de situatie in Nederland.

Ook de veronderstelde afname van inhoudsstoffen in moderne rassen in vergelijking met oude rassen wordt niet eenduidig ondersteund door resultaten uit onderzoek. Hier lijkt ook weer eerder sprake van een verdunningseffect: weliswaar meer biomassa met relatief minder inhoudsstoffen, maar niet zozeer als gevolg van een verminderde beschikbaarheid in de bodem.

De bodem kan direct van invloed zijn op de aanwezigheid van secundaire metabolieten in het gewas. Ondanks dat er een directe link is tussen de bodemvruchtbaarheid, de activiteit van het microbiële bodemleven en de aanwezigheid van metabolieten in het gewas is het niet bekend in welke mate dit een rol speelt. Een eenduidig overzicht van de rol van de bodemvruchtbaarheid, het type landbouwsysteem en de hoeveelheid en samenstelling van secundaire metabolieten ontbreekt op dit moment nog.

ii) de relatie tussen bodemleven/wortelbioom enerzijds en gezondheid van gewas en vee anderzijds

Het microbioom in de bodem en op en in planten is van belang voor voldoende opname van nutriënten door gewassen, en zorgt in interactie met gehanteerde teeltmaatregelen voor nutriëntenrijke voeding of voer. Daarmee draagt het microbioom ook bij aan goede groei en ontwikkeling van planten, en daarmee aan de oogstzekerheid van gewassen. Vitale gewassen zijn bovendien weerbaarder tegen ziekten en plagen. Dat betekent omgekeerd

dat alles wat het bodembioom beperkt (teeltmaatregelen, antibiotica) zowel nutriëntenrijkdom van voeding als vitaliteit van gewassen en vee kan verminderen. Of en in welke mate bodemvruchtbaarheid van landbouwbodems in Nederland afneemt in de tijd en op die manier nutriëntenrijkdom van voeding en voer onder druk zet is niet bekend.

7.5.2) de relatie tussen gewas/vee en humane gezondheid,

iii) de relatie tussen nutriënten en secundaire metabolieten in plantaardige en dierlijke producten enerzijds en humane gezondheid anderzijds met aandacht voor bereiding en inname

De gehalten aan nutriënten en secundaire metabolieten van geoogste planten(delen), geslacht vlees of geproduceerde zuivel wordt beïnvloedt door interacties tussen bodembioom, teeltmaatregelen en plant en in de veehouderij door het darmbioom van de dieren. Zoals hiervoor vermeld lijkt er sprake te zijn van een verdunningseffect in producten afkomstig uit moderne intensieve landbouw (meer biomassa, minder inhoudsstoffen). Dat betekent dat consumenten meer product zouden moeten consumeren om de benodigde hoeveelheid nutriënten binnen te krijgen. Op basis van gemiddelde innamepatronen lijkt er in Nederland met uitzondering van inname van selenium en ijzer geen probleem te zijn voor nutriënten. Echter vanuit het besef dat slechts 10% van de Nederlandse bevolking daadwerkelijk eet volgens de Richtlijnen Goede Voeding is het maar de vraag of een 'gemiddelde inname' relevant is. Inname en mogelijke tekorten bij bepaalde risico groepen of personen met een verhoogd verbruik of behoefte van nutriënten kunnen een ander beeld geven. Naast deze nutriënten zijn er geen data over de inname van diverse secundaire metabolieten.

Vanuit het oogpunt van gezondheidswinst valt dus in eerste instantie veel te behalen bij het verhogen van inname van gezonde volwaardige producten zoals groente en fruit. Uiteraard dient onze voeding van (hoge) kwaliteit te zijn waarbij voldoende gunstige, gezonde inhoudsstoffen (micronutriënten en secundaire metabolieten) aanwezig zijn. Gezien echter de geringe consumptie van nutriëntrijke voeding is het pas in tweede instantie nuttig te kijken naar de invloed van verhoging van deze inhoudsstoffen via specifieke teeltmaatregelen voor gewassen, specifieke rassen van gewassen of mogelijk dierhouderij systemen op onze gezondheid. De gezondheidswinst daar te behalen kan slechts worden gecasht als de inname op orde is.

iv) de relatie tussen het microbioom in plantaardige en dierlijke producten enerzijds en het humaan darmbioom anderzijds

Een directe link tussen bioom op en in planten en vee enerzijds en het humane darmbioom is vooralsnog niet aangetoond. De relaties zijn wel indirect doordat het bioom op en in planten en vee de specifieke nutriënten en secundaire metabolieten in die voedingsmiddelen beïnvloeden die op hun beurt weer van invloed kunnen zijn op het humane darmbioom. Er is overigens op dit moment weinig bekend over wat überhaupt een "gezond darmbioom" nou

feitelijk is. Ook kan door de ziekte-onderdrukkende capaciteit van het plantbioom, plantenziekten worden voorkomen waardoor inname van potentieel schadelijk mycotoxinen worden voorkomen.

7.5.3) en afsluitend de helikopter analyse van de relatie tussen de bodem en humane gezondheid.

Bodemmanagement, bodemvruchtbaarheid, bodembioom

De landbouw heeft zich in Nederland in de laatste 5 à 6 decennia snel ontwikkeld. Bouwplanversmalling en minder rustgewassen, samen met meer en zwaardere mechanisatie zet de bodemkwaliteit onder druk. De fysische kwaliteit (structuur) van de landbouwbodems neemt gemiddeld af. Bodemvruchtbaarheid (chemische kwaliteit) kan met gerichte minerale bemesting nog wel min of meer op peil blijven, maar door minder aandacht voor organisch stofgehalte en bodembiodiversiteit (biologische kwaliteit) neemt de kwetsbaarheid van het landbouwproductiesysteem toe.

Andersom zijn landbouwbodems met een hoger organische stofgehalte en een rijker bodemleven inclusief microbioom robuuster in het licht van de klimaatverandering. Bij de ontwikkeling van kringlooplandbouw ligt het voor de hand dat de voedselproductie ook meer regionaal wordt. Dat betekent dat het belang van een gezonde, levende bodem hier in ons eigen land belangrijker wordt voor ons eigen voedingspatroon. Dus zowel uit oogpunt van klimaatverandering als voor de uitwerking van kringlooplandbouw is een gezonde, levende bodem van groot belang. En via bodembioom en secundaire metabolieten in gewassen (en vee?) is er ook een (indirecte) relatie met humane gezondheid.

Er liggen hier dus kansen voor gezondheid als driver voor verbetering van bodemkwaliteit en bodembiodiversiteit als onderdeel van verduurzaming van ons voedselproductiesysteem.

Ontwikkeling in gewassen en wat zit er op en in voedsel?

De notie dat de huidige gewassen minder nutriënten zouden bevatten is niet of nauwelijks te onderbouwen met de huidige literatuurgegevens. Onderzoek aan de hand van historische voedingsmiddelentabellen is onbetrouwbaar. De notie dat moderne rassen altijd minder nutriëntrijk zouden zijn dan oude rassen is aantoonbaar onjuist.

Dat er veranderingen en/of verschuivingen, en doorgaans verlagingen hebben plaats gevonden in de gehalten aan secundaire metabolieten in planten is wel duidelijk. Of dat gunstig of ongunstig is in de zin van humane gezondheid is onbekend.

In een systeem van kringlooplandbouw met minder externe inputs is een optimale samenwerking van plantenrassen met het bodembioom van groot belang. Rassen verschillen in hun vermogen daarin. Veredeling van rassen aangepast op hun vermogen om optimaal met bodembioom te interacteren is van belang bij het succesvol implementeren van kringlooplandbouw.

Microbioom in de plant is afhankelijk van teeltmanagementsysteem (biologisch versus gangbaar), en zou in die gevallen waarin dat meer diverse microbioom zich in een door mensen gegeten onderdeel van de plant bevindt aanleiding kunnen zijn om teeltmanagementsysteem direct te koppelen aan humane gezondheid.

Voedsel en effect op gezondheid

Onze moderne leefstijl, voeding en omgeving draagt bij aan onze algemene gezondheid. Tevens wordt ons darmmicrobioom beïnvloed door wat wij doen, eten en waar wij aan blootgesteld worden). Welke van deze drivers de belangrijkste beïnvloeders zijn van ons darmbioom is nog onduidelijk.

Er zijn voorzichtige aanwijzingen dat er effecten zijn van het microbioom van de bodem op de diversiteit van ons darmmicrobioom. Ook de aanwezigheid van diverse secundaire metabolieten in ons voedsel die door de interactie bodembioom met plantbioom zijn ontstaan hebben een indirect effect op onze darmmicrobioom diversiteit. De manier van het verbouwen van ons voedsel, het verwerken en verpakken heeft effecten op ons darmbioom. Ook onze manier van bereiden en eten en onze leefstijl zijn van groot belang voor onze darmmicrobioom diversiteit en de mogelijk effecten daarvan op onze gezondheid.

Maatschappelijk perspectief

De gevleugelde uitspraak '*je bent wat je eet'* is met de inzichten van nu op zijn minst deels te herformuleren tot '*je bent wat je darmbioom je laat zijn'*: voedsel wat je tot je neemt heeft een effect op je darmbioom en is daarmee van invloed is op wat je wel of niet kunt.

Dat 'gezondheid' als een pijler onder een businesscase in de voedselketen kan worden ingezet zien we doorgaans indirect, waar naast zaken als smaak, kleur, originaliteit, diversiteit zeker ook gezondheid een onuitgesproken onderdeel vormt van de propositie naar de consument.

Zowel voor een overheid als maatschappij als geheel is de notie dat gezondheid kan worden bevorderd via gezonde voeding afkomstig uit een gezond, levendig landbouwsysteem een interessante gedachtegang.

- Is het huidige aanbod aan voedsel dan niet goed (genoeg)? Dat blijkt **niet** uit deze studie.
- Zijn er opties om via voedsel gezondheid te bevorderen? Dat blijkt **wel** uit deze studie.
- Is het dan een kwestie van 'beter' voedsel produceren en dan 'zijn we er'? Nee, daarvoor eten we te weinig volgens de Richtlijnen Gezonde Voeding.

Maar aanvullende mogelijkheden om ons voedsel nog meer bij te laten dragen aan onze gezondheid kunnen wel verder worden verkend. Daarmee kan 'gezondheid' als één van de drivers worden ingezet in beleid gericht op klimaatadaptatie en de realisatie van duurzame kringlooplandbouw.

Literatuur

Anandan A., G. Rajiv, R. Eswaran, M. Prakash, **2011**. Genotypic variation and relationships between quality traits and trace elements in traditional and improved rice (*Oryza sativa* L.) genotypes J Food Sci, 76, pp. 122-130

Aoun A, Darwish F, Hamod N. The Influence of the Gut Microbiome on Obesity in Adults and the Role of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics for Weight Loss. Prev Nutr Food Sci. **2020** Jun 30;25(2):113-123. https://doi.org/10.3746/pnf.2020.25.2.113

Ashraf, Umair & Anjum, Shakeel & Khan, Imran & Tanveer, Mohsin & Saleem, Farrukh & Noor, Mehmood Ali. (**2016**). Interference of soil salinity with plant nutrition: Impacts and possible solutions.

Applegate, C., Rowles, J., Miller, R., Wallig, M., Clinton, S., O'Brien, W., & Erdman, J. (**2019**). Dietary Tomato, but Not Lycopene Supplementation, Impacts Molecular Outcomes of Castration-resistant Prostate Cancer in the TRAMP Model (P05-015-19). Current Developments in Nutrition, 3(Supplement_1), 438. https://doi.org/10.1093/cdn/nzz030.p05-015-19

Barański, M., Srednicka-Tober, D., Volakakis, N., Seal, C., Sanderson, R., Stewart, G.B., *et al*, **2014**. Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and metaanalyses.Br. J. Nutr. 112, 794–811.

Bastein, T. and Van Bree, T. (**2012**); *Suppletie van micronutriënten uit de mijnbouw*. TNO report for LIS.

Blum, W. E. H., Zechmeister-Boltenstern, S., & Keiblinger, K. M. (**2019**). Does soil contribute to the human gut microbiome? Microorganisms, 7(9). https://doi.org/10.3390/microorganisms7090287

BolkNews: http://www.louisbolk.org/news/490/161/Vragenlijstonderzoek-COVID-19-en-de-toekomst-van-Nederland/d,NLactueel

BolkWeb: http://www.louisbolk.org/nl/voeding-en-gezondheid/positieve-gezondheid/positieve-gezondheid-en-leefomgeving/groen-en-gezond-2

Brandt, K., Leifert, C., Sanderson, R., Seal, C.J., **2011**. Agroecosystem management and nutritional quality of plant foods: the case of organic fruits and vegetables. Crit. Rev. Plant Sci. 30, 177–197.

Brindley, P., Jorgensen, A., Maheswaran, R. (**2018**). Domestic gardens and self-reported health: A national population study. Int. J. of Health Geogr. 17, 1–11. https://doi.org/10.1186/s12942-018-0148-6

Cheeke, P., **1998**. Natural Toxicants in Feeds, Forages and Poisonous Plants. Interstate Publishers, Danville, IL.

Cuijpers, W., Smeding F., Van der Burgt GJ., **2008**. Bodemgezondheid in de biologische kasteelt, Deel 1: definitiestudie. Louis Bolk Instituut, publicatienummer LB24

CVB (**2005**). Handleiding Mineralenvoorziening Rundvee, Schapen, Geiten.

Davis DR, Epp MD, Riordan HD., **2004**. Changes in USDA food composition data for 43 garden crops, 1950 to 1999. Journal of the American College of Nutrition, 23(6):669-82.

Davis, D.R., **2011**. Impact of breeding and yield on fruit, vegetable and grain nutrient content. In: Jenks, M.A., Bebeli, P. (Eds.), Breeding for Fruit Quality. Wiley Blackwell, West Sussex, UK, pp. 127–150.

Doran, J.W., Parkin, T.B., **1994**. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 3–21.

Döring, T.F., Pautasso, M., Finckh, M.R. and Wolfe, M.S. (**2012**), Concepts of plant health – reviewing and challenging the foundations of plant protection. Plant Pathology, 61: 1-15

Duijzer G, Haveman-Nies A, Jansen SC, Beek JT, van Bruggen R, Willink MGJ, Hiddink GJ, Feskens EJM. Effect and maintenance of the SLIMMER diabetes prevention lifestyle intervention in Dutch primary healthcare: a randomised controlled trial. Nutr Diabetes. **2017** May 8;7(5):e268. https://doi.org/10.1038/nutd.2017.21

Easton, H. S. (**2007**). Grasses and Neotyphodium endophytes: Co-adaptation and adaptive breeding. Euphytica, 154(3), 295–306. https://doi.org/10.1007/s10681-006-9187-3

Egea, V.A., J.O. Hall, J. Miller, C. Spackman and J.J. Villalba, **2014**. Reduced neophobia: a potential mechanism explaining the emergence of self-medicative behavior in sheep. Physiology & Behavior 135: 189-197.

Fang W, Qu X, Shi J, Li H, Guo X, Wu X, Liu Y, Li Z. Cruciferous vegetables and colorectal cancer risk: a hospital-based matched case-control study in Northeast China. Eur J Clin Nutr. **2019** Mar;73(3):450-457. https://doi.org/10.1038/s41430-018-0341-5

Faniadis, D., Drogoudi, P.D., Vasilakakis, M., **2010**. Effects of cultivar, orchard elevation, and storage on fruit quality characteristics of sweet cherry (Prunus avium L.). Sci. Hort. 125,301–304.

Farnham *et al*, **2000** Calcium and magnesium concentration of inbred and hybrid broccoli heads J. Am. Soc. Hortic. Sci., 125 (3), pp. 344-349

Fink-Gremmels J., **2008**. Mycotoxins in cattle feeds and carry-over to dairy milk: a review. Food Addit Contam Part A. Chem Anal Control Expo Risk Assess. 25(2):172-80.

Frati F, Salvatori C, Incorvaia C, Bellucci A, Di Cara G, Marcucci F, Esposito S. The Role of the Microbiome in Asthma: The Gut–Lung Axis. Int J Mol Sci. **2018** Dec 30;20(1):123. https://doi.org/10.3390/ijms20010123

Garvin, D.F., Welch, R.M., Finley, J.W., **2006**. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm. J. Sci. Food Agric. 86, 2213–2220.

Giovanetti, M. *et al* (**2013**) Improvement of nutraceutical value of food by plant symbionts. In Natural Products (Ramawat, K.G. and Merillon, J.M., eds), pp. 2641–2662, Springer

Gomes, S. I., van Bodegom, P. M., van Agtmaal, M., Soudzilovskaia, N. A., Bestman, M., Duijm, E., ... & van Eekeren, N. (**2020**). Microbiota in Dung and Milk Differ Between Organic and Conventional Dairy Farms. *Frontiers in microbiology*, *11*, 1746.

Gomiero, T., Pimentel, D., Paoletti, G., **2011**. Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. Crit. Rev. Plant Sci. 30, 95–124.

Griffioen C, **2018**. Evaluation of changes between 1941-2016 in mineral composition of vegetables consumed by the Dutch population 27-08-2018

Haes de U., *et al* (**2012**); *Schaarste van micronutirenten in bodem, voedsel en minerale voorraden – Urgentie en opties voor beleid*.

Harris, R.S., **1975**. Effects of agricultural practices on the composition of foods. In: Harris, R.S., Karmas, E. (Eds.), Nutritional Evaluation of Food Processing. AVI Publishing Co.,Westport, CT, pp. 33–57.

Heimler, D., Vignolini, P., Arfaioli, P., Isolani, L., & Romani, A. (**2012**). Conventional, organic and biodynamic farming: Differences in polyphenol content and antioxidant activity of Batavia lettuce. Journal of the Science of Food and Agriculture, 92(3), 551–556. https://doi.org/10.1002/jsfa.4605

Hochmuth G., **2011**. Iron (Fe) nutrition of plants. SL353, one of a series of the Department of Soil and Water Sciences, UF/IFAS Extension. Publication date August 2011.

Hospers-Brands, M., Staps, S., Voshol, P., **2016**. Trends in bodem- en gewaskwaliteit. Bolk publicatienummer LbP 2016-032

Huber M, Knottnerus JA, Green L, van der Horst H, Jadad AR, Kromhout D, Leonard B, Lorig K, Loureiro MI, van der Meer JW, Schnabel P, Smith R, van Weel C, Smid H. How should we define health? BMJ. **2011** Jul 26;343:d4163. https://doi.org/10.1136/bmj.d4163

Ioana, Roxana VIDICAN1*, Vlad STOIAN1 Induced modifications on secondary metabolism of aromatic and medicinal plants – an endomycorrhizal approach. Hop and Medicinal Plants, Year XXVI, No. 1-2, 2018

Johansson, E., Hussain, A., Kuktaite, R., Andersson, S.C., Olsson, M.E., **2014**. Contribution of organically grown crops to human health. Int. J. Environ. Res. Public Health 11, 3870–3893.

Juhnke, J., J. Miller, J.O. Hall, F.D. Provenza, & J.J. Villalba, **2012**. Preference for condensed tannins by sheep in response to challenge infection with Haemonchus contortus. Veterinary parasitology 188(1): 104-114.

Kassebaum NJ, Jasrasaria R, Naghavi M, Wulf SK, Johns N, Lozano R, Regan M, Weatherall D, Chou DP, Eisele TP, Flaxman SR, Pullan RL, Brooker SJ, Murray CJ., **2014**. A systematic analysis of global anemia burden from 1990 to 2010. Blood. 2014 Jan 30;123(5):615-24. http://doi.org/10.1182/blood-2013-06-508325

Kushwaha, Anamika, *et al* , **2018**. "A critical review on speciation, mobilization and toxicity of lead in soil-microbe-plant system and bioremediation strategies." Ecotoxicology and environmental safety 147: 1035-1045.

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. http://doi.org/10.1172/JCI72094

Lehmann, A. *et al*, **2014**. Arbuscular mycorrhizal influence on zinc nutrition in crop plants – a meta-analysis. Soil Biol. Biochem. 69, 123–131

Lima, G.P.P., Vianello, F., **2011**. Review on the main differences between organic and conventional plant-based foods. Int. J. Food Sci. Technol. 46, 1–13.

Lori M, Symnaczik S, Mäder P, De Deyn G, Gattinger A (**2017**) Organic farming enhances soil microbial abundance and activity—A meta-analysis and meta-regression. PLOS ONE 12(7): e0180442

Lovegrove, A., Pellny, T. K., Hassall, K. L., Pl, A., Wood, A., Bellisai, A., … Shewry, P. R. (**2020**). Historical changes in the contents and compositions of fibre components and polar metabolites in white wheat flour. Scientific Repports, 1–9. https://doi.org/10.1038/s41598-020-62777-3

Maciorowski, K.G., P. Herrera, F.T. Jones, S.D. Pillai, S.C Ricke, **2007**. Effects on poultry and livestock of feed contamination with bacteria and fungi. Animal Feed Science and Technology, Volume 133:109-136.

Malland van F.C., **2020**. Biokwaliteit Gelderland, wordt nog gepubliceerd in 2020, Louis Bolk Instituut

Marcelle, R., **1995**. Mineral nutrition and fruit quality. Acta Hort. 383, 219–226.

Marles RJ. **2017.** Mineral nutrient composition of vegetables, fruits and grains: The context of reports of apparent historical declines Journal of Food Composition and Analysis : an Official Publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems. 56:93-103.

Mayer A.M., **1997**. Historical changes in the mineral content of fruits and vegetables. British Food Journal. 1997;99(6):207-11.

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

Mills, J.G., Brookes, J.D., Gellie, N.J.C., Liddicoat, C., Lowe, A.J., Sydnor, H.R., Thomas, T., Weinstein, P., Weyrich, L.S., Breed, M.F. (**2019**) Relating urban biodiversity to human health with the 'holobiont' concept. Front. Microbiol. 10. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00550

Mitchell, A.E., Hong, Y.J., Koh, E., Barrett, D.M., Bryant, D.E., Denison, R.F., Kaffka, S., **2007**. Ten-year comparison of the influence of organic and conventional crop management practices on the content of flavonoids in tomatoes. J. Agric. Food Chem. 55, 6154–6159.

Monasterio I, Graham RD. **2000**. Breeding for Trace Minerals in Wheat. Food and Nutrition Bulletin 21: 392–396.

Mori, K., Sugaya, S., Gemma, H., **2005**. Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition. Sci. Hort. 105, 319–330.

Murphy, K.M., Reeves, P.G., Jones, S.S., **2008**. Relationship between yield and mineral nutrient concentrations in historical and modern spring wheat cultivars. Euphytica 163, 381–390.

Newbold, C., & Ramos-Morales, E. (**2020**). Review: Ruminal microbiome and microbial metabolome: Effects of diet and ruminant host. *Animal, 14*(S1), S78-S86. https://doi.org/10.1017/S1751731119003252

Palo, R.T., Robbins, C.T., **1991**. Plant Defenses Against Mammalian Herbivory. CRC Press, Boca Raton, FL.

Pedone-Bonfim, M.; Silva, F.; Maia, L., **2015**. Production of secondary metabolites by mycorrhizal plants with medicinal or nutritional potential. Acta Physiol. Plantarum 37: 1.

Pot, G.K., Marieke CE Battjes-Fries, Olga N Patijn, Nynke van der Zijl, Hanno Pijl, Peter Voshol Lifestyle medicine for type 2 diabetes: practice-based evidence for long-term efficacy of a multicomponent lifestyle intervention (Reverse Diabetes2 Now) BMJ Nutrition, Prevention & Health Aug **2020**, bmjnph-2020-000081; https://doi.org/10.1136/bmjnph-2020-000081

Reeve J.R., L.A. Hoagland, J.J. Villalba, P.M. Carr, A. Atucha, C. Cambardella, D.R. Davis, K. Delate, **2016**. Chapter Six - Organic Farming, Soil Health, and Food Quality: Considering Possible Links, Advances in Agronomy, Academic Press, Volume 137, Pages 319-367

Reeve, J.R., Schadt, C.W., Carpenter-Boggs, L., Kang, S., Zhou, J., Reganold, J.P., **2010**. Effects of soil type and farm management on soil ecological functional genes and microbial activities. ISME J. 4, 1099–1107.

Reganold, J.P., Andrews, P.K., Reeve, J.R., Carpenter-Boggs, L., Schadt, C.W., Alldredge, J.R., Ross, C.F., Davies, N.A., Zhou, J., **2010**. Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems. PLoS One 5, 1–27.

Rillig, M.C.; Lehmann, A.; Lehmann, J.; Camenzind, T.; Rauh, C., **2018**. Soil biodiversity efects from field to fork.Trends Plant Sci., 23, 17–24

Rosenthal, G.A., Berenbaum, M.R., **1992**. Ecological and Evolutionary Processes. Herbivores: Their interactions With Secondary Plant Metabolites, vol. 2. Academic Press, San Diego.

van Rossum et al **2020**. The diet of the Dutch Results of the Dutch National Food Consumption Survey 2012-2016. RIVM report 2020-0083)

Rühmann, S., Leser, C., Bannert, M., Treutter, D., **2002**. Relationship between growth, secondary metabolism, and resistance of apple. Plant Biol. 4, 137–143.

Scott MP, Edwards JW, Bell CP, Schussler JR, Smith JSC (**2006**) Grain composition and amino acid content en maize cultivars representing 80 years of commercial maize varieties. Maydica 51:417–423

Seiter, S., Horwath, W.R., **2004**. Strategies for managing soil organic matter to supply plant nutrients. In: Magdoff, F., Weil, R.R. (Eds.), Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 269–293.

Sharma S, Tripathi P. Gut microbiome and type 2 diabetes: where we are and where to go? J Nutr Biochem. **2019** Jan;63:101-108. https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2018.10.003

Singh, B.K., S.R. Sharma, and B. Singh. **2013**. Genetic variability, inheritance and correlation for mineral contents in cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). Journal of Horticultural Research 21(1):91–97

Singh B.K. & Singh B., **2019**. Genotypic and breeding potential to improve mineral content of vegetable crops: an overview, International Journal of Vegetable Science, 25:5, 441-456

Smith-Spangler, C., Brandeqau, L., Hunter, G.E., Bavinger, J.C., Pearson, M., Eschback, P.J., *et al*, **2012**. Are organic foods safer or healthier than conventional alternatives? A systematic review. Ann. Intern. Med. 157, 348–366.

Spiegel, H., Sager, M., Oberforster, M., Mechtler, K., Stu¨ger, H.P., Baumgarten, A., **2009**. Nutritionally relevant elements in staple foods: influence of arable site versus choice of variety. Environ. Geochem. Health 31, 549–560.

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.

Staps, S., M. Zanen en C. ter Berg (**2015**);*Bodemvruchtbaarheid behouden: bijdragen van boer tot burger*. 2015. Brochure Louis Bolk Instituut.

Taylor, A., Pereira, N., Thomas, B., Pink, D. A. C., Jones, J. E., & Bending, G. D. (**2015**). Growth and nutritional responses to arbuscular mycorrhizal fungi are dependent on onion genotype and fungal species. Biology and Fertility of Soils, 51(7), 801–813. https://doi.org/10.1007/s00374-015-1027-y

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 17(2):85-115.

Verhoeven DT, Goldbohm RA, van Poppel G, Verhagen H, van den Brandt PA. Epidemiological studies on brassica vegetables and cancer risk. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev. **1996** Sep;5(9):733-48.

Villalba, J.J., F.D. Provenza, J.O. Hall & L.D. Lisonbee, **2010**. Selection of tannins by sheep in response to gastrointestinal nematode infection. J.Anim.Sci. 88: 2189-2198. https://doi.org/10.2527/jas.2009-2272

Villalba, J.J., M. Costes-Thiré & C. Ginane, **2016**. Phytochemicals in animal health: diet selection and tradeoffs between costs and benefits. Proceedings of the Nutrition Society: 9p. https://doi.org/10.1017/S0029665116000719

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

Wall, D.H., *et al* (**2015**). Soil Biodiversity and Human Health. Nature, vol. 528, no. 7580, 69–76. https://doi.org/10.1038/nature15744

Wang, S.Y., Zheng, W., **2001**. Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry. J. Agric. Food Chem. 49, 4977–4982.

Wang, Z.H., Li, S.X., Malhi, S., **2008**. Effects of fertilization and other agronomic measures on nutritional quality of crops. J. Sci. Food Agric. 88, 7–23.

Weil, R.R., Magdoff, F., **2004**. Significance of soil organic matter to soil quality and health. In: Magdoff, F., Weil, R.R. (Eds.), Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 1–58.

Welch RM, Graham RD. **2002**. Breeding crops for enhanced micronutrient content. Plant and Soil 245: 205–214.

Wessells KR, Singh GM, Brown KH (**2012**) Estimating the Global Prevalence of Inadequate Zinc Intake from National Food Balance Sheets: Effects of Methodological Assumptions. PLOS ONE 7(11): e50565

Wessels & Sungh **2012** Global Burden of Disease Study 2013 Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 301 acute and chronic diseases and injuries in 188 countries, 1990-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. Lancet. 2015 Aug 22;386(9995):743-800. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60692-4

White, P.J., Bradshaw, J.E., Finley, M., Dale, B., Ramsey, G., Hammond, J.P., *et al*, **2009**. Relationships between yield and mineral concentrations in potato tubers. HortScience 44, 6–11

White, P.J., Broadley, M.R., **2005**. Historical variation in the mineral composition of edible horticultural products. J. Hortic. Sci Biotechnol. 80 (6), 660–667.

Widmer, F., Rasche, F., Hartmann, M., Fließbach, A., **2007**. Community structures and substrate utilization of bacteria is soils from organic and conventional farming systems of the DOK long-term field experiment. Appl. Soil Ecol. 33, 294–307.

Wiesmeier, M., Poeplau, C., Sierra, C., **2016**. Projected loss of soil organic carbon in temperate agricultural soils in the 21st century: effects of climate change and carbon input trends. *Sci Rep* 6, 32525.

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