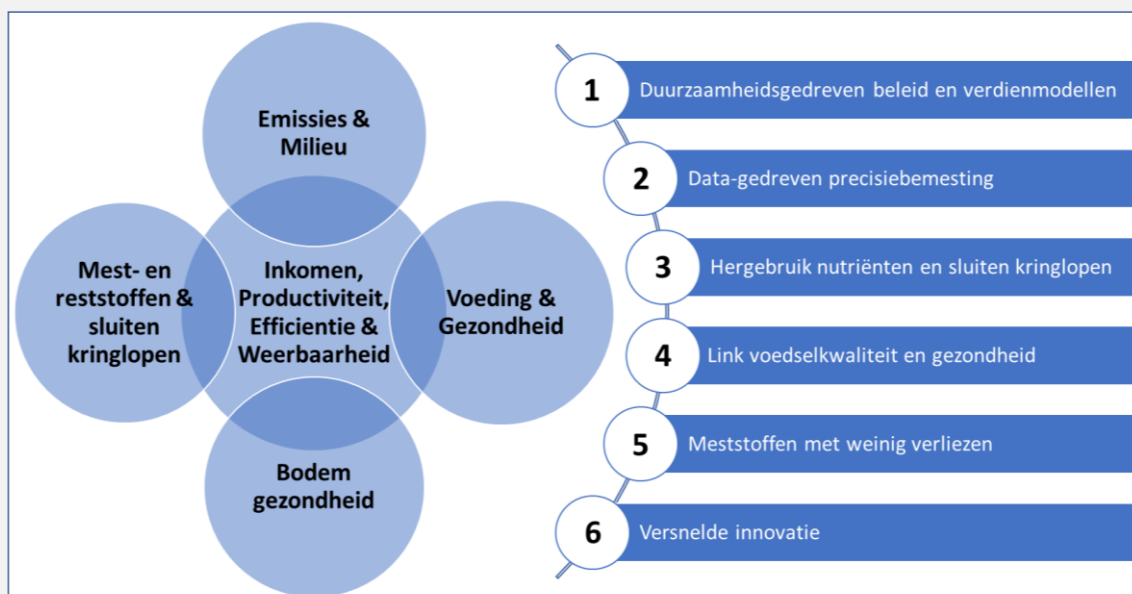


## EEN NIEUW PARADIGMA VOOR PLANTENVOEDING

### KERNPUNTEN

De aanvoer van nutriënten speelt een belangrijke rol in het voedselsysteem, zowel voor de akkerbouw als de veehouderij, en is cruciaal voor voedselzekerheid, voedselkwaliteit en het sluiten van kringlopen in de bio-economie. De productie en het gebruik van meststoffen moet veranderen om effectiever gewassen te voeden, schadelijke impacts op het milieu als gevolg van nutriëntverliezen te verminderen en de bodemgezondheid te herstellen. Dit vereist een nieuw paradigma voor plantenvoeding; een paradigma dat rekening houdt met sociaal-economische, milieukundige en gezondheidsdoelstellingen binnen het hele voedselsysteem (Fig. 1).



*Figuur 1. De vijf onderling verbonden doelen van een verantwoorde wijze van plantenvoeding, en zes belangrijke te ondernemen acties.*

De komende 10-20 jaar zijn cruciaal voor de omschakeling naar een mondiaal voedselsysteem waarin alle belanghebbenden op holistische wijze naar voedsel en nutriënten kijken, met inbegrip van verborgen impacts op het milieu, gezondheid en sociaal-economische factoren. Het is van belang dat consumenten, overheden en andere belanghebbende deze omschakeling steunen, omdat er meer nodig is dan de inzet van boeren en industrie alleen om de gewenste transitie mogelijk te maken.

Het resultaat van deze transitie is een nieuw maatschappelijk gedragen paradigma van voedselproductie, waarbij meer doelen een rol spelen dan alleen economische aspecten. Deze vernieuwde aanpak zal hiermee een integraal onderdeel worden van een milieuvriendelijke en circulaire economie met lage koolstofemissies. Deze draagt bij aan de wereldwijde en groeiende vraag naar gezond voedsel als ook het inkomen en levensonderhoud van boeren. Hoe dit er concreet uitzipt wordt samengevat in negen punten aan het einde van dit document.

## WAT IS HET PROBLEEM?

De wereldwijde landbouwproductie is in de afgelopen 60 jaar met een snelheid van ongeveer 2.2% per jaar toegenomen, zij het met grote verschillen tussen landen (1). Op korte termijn is een vergelijkbare groei nodig om de groeiende wereldbevolking van voedsel te voorzien en de bestaanszekerheid in het landelijk gebied te verbeteren. Op de langere termijn zal de noodzaak om meer voedsel te produceren afvlakken, en daarmee de druk op natuurlijke bronnen verminderen, omdat de groei van de wereldbevolking zal afvlakken, voedselpatronen veranderen, voedselverliezen -en verspilling worden verlaagd en het hergebruik van nutriënten stijgt.

In het verleden was de economische ontwikkeling sneller in gebieden waar een gelijktijdige toename in het gebruik van meststoffen en gewasopbrengsten plaatsvond (2). De toenemende toegankelijkheid tot minerale meststoffen heeft een zeer belangrijke rol gespeeld in de voedselvoorziening van de snel groeiende wereldpopulatie (3). De omzetting van natuur naar landbouwgrond is als gevolg van de snelgroeiende gewasopbrengsten beperkt gebleven en zou zonder die hogere gewasopbrengsten veel groter zijn geweest (4). Anderzijds heeft intensivering van de landbouw als gevolg van veranderende voedselconsumptiepatronen in veel regio's geleid tot moeilijk beheersbare, nutriënten-gerelateerde externe kosten, zoals een achteruitgang van de bodemkwaliteit en biodiversiteit, niet-duurzame wateronttrekking, eutrofiëring van vele zoetwater- en mariene kustecosystemen, verhoogde broeikasgasemissies en een groeiende ongelijkheid tussen boeren (5).

Menselijke invloeden op wereldwijde stikstof- en fosforstromen overschrijden mogelijk al planetaire grenzen die worden beschouwd als grenzen waarbinnen de mens veilig kan opereren (6). Landbouwbedrijven dragen voor 9 tot 14% bij aan de emissie van broeikasgasen uit antropogene bronnen, en deze bijdrage neemt toe tot 21 á 37% wanneer ook rekening wordt gehouden met de impact ervan op het hele voedselsysteem, inclusief de bijdrage veroorzaakt door veranderingen in landgebruik en de productie van meststoffen (7). Antropogene emissie van lachgas (N<sub>2</sub>O), hoofdzakelijk veroorzaakt door de bemesting van bouwland, is sinds de jaren tachtig met 30% toegenomen (8). Binnen huidige voedselsystemen gaat ook de voorkeur uit naar de teelt van enkele commerciële hoofdgewassen en is er minder aandacht voor de teelt van gewassen die van nature rijk zijn aan micronutriënten. Terwijl honger en ondervoeding in de afgelopen decennia aanzienlijk zijn afgenomen, blijft het een hardnekkig probleem in verschillende regio's, in het bijzonder voor Sub-Sahara Afrika. Dit geldt in het bijzonder voor gezondheidsproblemen bij vrouwen en kinderen door tekorten aan micronutriënten (9). Het aantal mensen dat geen toegang heeft tot voldoende en voedzaam voedsel blijft mogelijk toenemen als gevolg van conflicten, klimaatextremen, verslechtering van de economie of het uitbreken van ziekten (10).

De verborgen gezondheids-, milieu- en sociaal-economische kosten die verbonden zijn aan het wereldwijde voedselsysteem worden geschat op 12 biljoen dollar, een bedrag groter dan de totale afzet van producten bij de huidige prijzen (11). Hoewel voedselzekerheid door de verhoging van gewasopbrengst en veeteelt erg belangrijk blijft gegeven de groei van de wereldbevolking tot 9,5 miljard mensen in 2050 (12), is voedselzekerheid niet langer het enige doel. De transitie naar een duurzamer mondiaal voedselsysteem vereist van alle belanghebbenden dat meststoffen en producten op een integrale, holistische aanpak worden ingezet. Toekomstige oplossingen om slimmer om te gaan met meststoffen moeten rekening houden met de mondiale en regionale uitdagingen die samenhangen met het gebruik ervan in het voedselsysteem.

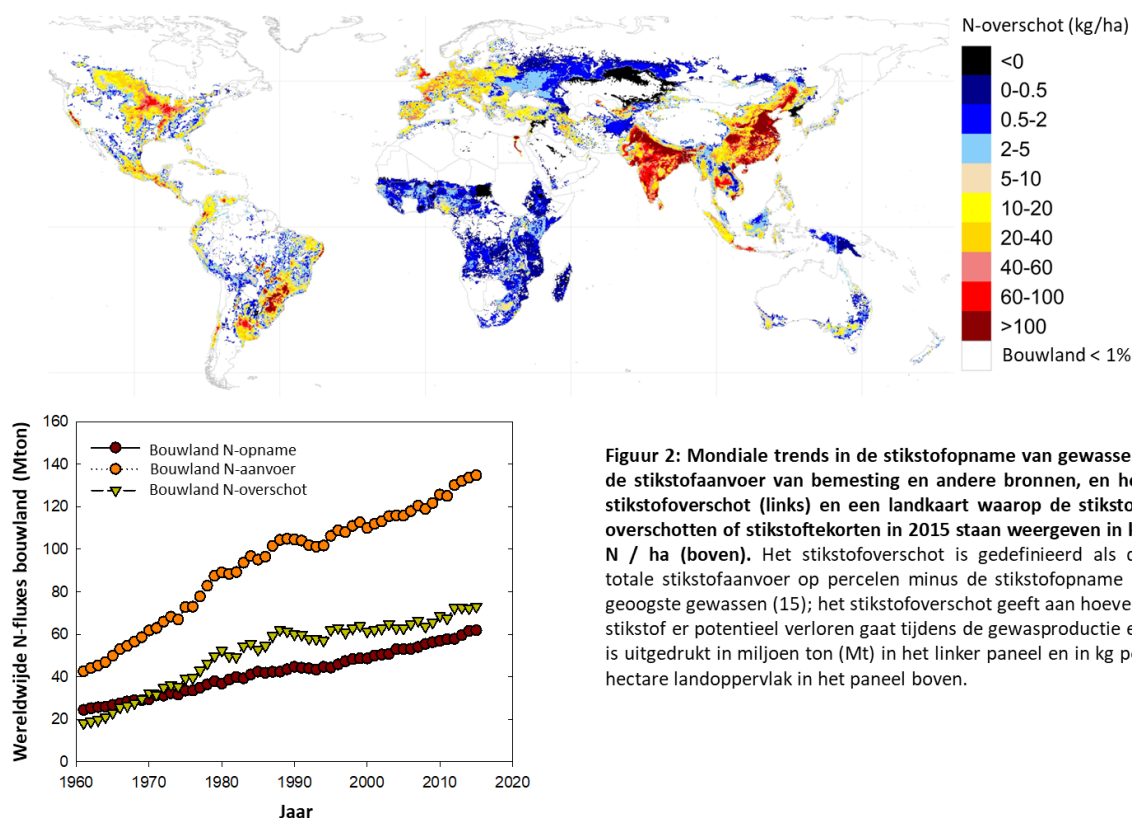
In dat verband zijn er tien kernvragen die de komende 20 jaar moeten worden opgelost:

### 1. Hoe overkomen we de huidige mondiale disbalans in nutriënten?

Gedurende vele decennia is de stijgende gewasproductie en de groeiende veehouderij gepaard gegaan met een toename in het gebruik van stikstof en andere nutriënten, als ook een toename in internationale handel van veevoer en voedsel. Dit heeft geleid tot een mondiale kloof, met in sommige regio's grote nutriëntenoverschotten en milieuverontreinigingen en in andere regio's juist grote nutriëntentekorten (Fig. 2). Hoe kan de toekomstige groei van de primaire gewasproductie op mondiale schaal worden losgekoppeld van de benodigde toename van het meststoffengebruik? En wat zijn dan land-specifieke doelen en strategieën voor het gebruik van meststoffen met een hoge efficiëntie om dit te bewerkstelligen?

### 2. Wat zijn de belangrijkste maatregelen om de gewasopbrengsten in Afrika te verdubbelen of te verdrievoudigen met een verhoogde en gebalanceerde aanvoer van nutriënten?

Afrika heeft enorme nutriëntentekorten. Deze moeten aangepakt worden om gewasopbrengsten te verhogen en de voedselzekerheid binnen één generatie te versterken (13). Het gemiddelde mestgebruik in Sub-Sahara Afrika is ongeveer 20 kg nutriënten/ha en overschrijdt alleen in enkele landen 50 kg/ha, wat na vele decennia van bodemuitputting veel te weinig is om de gewasproductie te verhogen en de bodemvruchtbaarheid te verbeteren. Een focus op bemesting alleen is niet genoeg om gewasopbrengsten te verhogen, maar het is wel van belang om een Afrikaanse Groene Revolutie mogelijk te maken (14), waarbij deze verandering gebaseerd moet zijn op goede informatie, stimulansen voor efficiënt nutriëntengebruik en specifieke maatregelen om de nog steeds hardnekkige ondervoeding aan te pakken.



Figuur 2: Mondiale trends in de stikstofopname van gewassen, de stikstofaanvoer van bemesting en andere bronnen, en het stikstofoverschot of stikstoftekorten in 2015 staan weergegeven in kg N / ha (boven). Het stikstofoverschot is gedefinieerd als de totale stikstofaanvoer op percelen minus de stikstofopname in geoogste gewassen (15); het stikstofoverschot geeft aan hoeveel stikstof er potentieel verloren gaat tijdens de gewasproductie en is uitgedrukt in miljoen ton (Mt) in het linker paneel en in kg per hectare landoppervlak in het paneel boven.

### **3. Welke data-gestuurde technologieën, bedrijfsoplossingen en beleidsmaatregelen versnellen een preciezer nutriëntbeheer door boeren?**

In veel landen voeren boeren te veel nutriënten aan omdat ze relatief goedkoop zijn en omdat ze geen opbrengstverlies willen riskeren. In andere situaties voeren boeren niet genoeg nutriënten aan of in de verkeerde vorm vanwege onvoldoende financiële middelen of een beperkte toegang tot de benodigde kennis of data om duurzaam te bemesten. Wereldwijd zijn er veel goede voorbeelden om dit te verhelpen, maar slechts enkele hebben geleid tot een grootschalige doorbraak om efficiënt te bemesten.

### **4. Kan het verlies van nutriënten en de verspilling van voedsel binnen de hele agrovoedselketen binnen één generatie worden gehalveerd?**

Huidige berekeningen suggereren dat ongeveer 20% van de toegepaste stikstof op wereldschaal eindigt in nuttige producten, waarbij tot 80% in verschillende vormen in het milieu terecht komt (16). De enorme verschillen in nutriëntenverliezen tussen landen en hun voedselsystemen kunnen op meerdere manieren worden aangepakt, onder meer door een verhoogde terugwinning van nutriënten uit diverse afvalstromen, waarvan de herwonnen nutriënten op een veilige manier worden ingezet voor de productie van voedsel.

### **5. Hoe kunnen nutriëntenkringlopen in de akkerbouw en veehouderij worden gesloten?**

Mondiale invloeden op de vraag naar voedsel en de bewerking ervan via productieketens hebben geleid tot een ruimtelijke scheiding en clustering van akkerbouw en veehouderij. Dit heeft als resultaat dat de kringloop van nutriënten op regionale schaal niet is gesloten en er allerlei verliezen optreden. De enorme groei van de veehouderij sector heeft daarnaast voor een lage efficiëntie van nutriënten gezorgd, een toename van afval- of bijproducten in het verwerkingsproces, en hoge broeikasgasemissies. Mondiale voedselketens van de veehouderij zijn anno 2020 verantwoordelijk voor één derde van alle antropogene stikstof emissies (17). Duurzame veehouderij omvat landbouwsystemen met meer beweiding, en een sterkere samenwerking tussen de akkerbouw en veehouderij om dieren te gebruiken voor waar ze goed in zijn: het omzetten van bijproducten van het voedselsysteem en voedergewassen in waardevol voedsel en mest (18). Welke toekomstige landbouwstructuren, technologieën en ketens maken dit mogelijk?

### **6. Hoe kunnen we de bodemgezondheid verbeteren?**

De bodem is van vitaal belang voor de teelt van gewassen, maar levert ook andere essentiële ecosysteemdiensten, zoals waterzuivering, koolstofvastlegging, nutriëntenkringlopen en het voorzien van een habitat voor biodiversiteit. De aanvoer van koolstof en nutriënten is belangrijk om de bodemgezondheid te verbeteren bij het telen van gewassen, en draagt ook bij aan de veerkracht van de landbouw tegen extreme weersomstandigheden. Het vastleggen van atmosferische CO<sub>2</sub> in de bodem kan helpen om de opwarming van de aarde te remmen en de bodemgezondheid te verbeteren, maar de vastlegging van stabiel organisch materiaal in de bodem vereist wel een continue aanvoer van organische stof en nutriënten (vooral stikstof en fosfor). Hoe kan een integrale aanpak van bodembeheer en bemesting bijdragen aan een duurzaam gebruik van macro- en micronutriënten, welke een hoge gewasproductie en een efficiënt gebruik van nutriënten mogelijk maakt, en waarbij slim gebruik wordt gemaakt van

biologische stikstoffixatie, de koolstofopslag in de bodem en de daaraan gekoppelde omzettingen wordt geoptimaliseerd, de biodiversiteit in de bodem wordt verhoogt en andere vormen van degradatie worden voorkomen?

#### **7. Hoe moeten we gewassen bemesten in een veranderend klimaat?**

Klimaatverandering heeft zowel positieve als negatieve gevolgen op de voedselkwaliteit, waarbij veel gevolgen nog niet goed worden begrepen (19). Een stijging van de hoeveelheid koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) in de atmosfeer kan leiden tot hogere gewasopbrengsten, maar ook tot dalende nutriëntengehalten in het gewas en een dalende efficiëntie van meststoffen. De opwarming van de aarde zal daarnaast leiden tot een verhoogd risico op gewasstress door bijvoorbeeld droogte, hitte of hoge straling. Een evenwichtige bemestingspraktijk kan een belangrijke rol spelen om deze effecten van klimaatverandering te mitigeren. Veranderingen in de dynamiek van seizoenen, neerslagpatronen en extreme weersomstandigheden hebben invloed op de timing en effectiviteit van nutriëntenopname. Om hier goed op in te kunnen spelen, is een integratie van bemestingsadviezen met verwachte veranderingen in het weer nodig.

#### **8. Wat zijn realistische mogelijkheden en doelen om kunstmest-gerelateerde broeikasgas-emissies te verlagen?**

Alle scenario's die de opwarming van de aarde beperken tot 1.5°C of ruim onder de 2°C vereisen dat er maatregelen op het land worden genomen als ook een verandering van landgebruik (20). Over de hele meststoffensector biedt het gebruik van lage-emissie "groene" technologieën om meststoffen te produceren en te transporten perspectief, als ook de inzet van innovatieve meststoffen, het gebruik van inhibitors, en specifieke (genetische) aanpassingen aan gewassen zodat zij de omzetting van stikstof in de bodem kunnen remmen dan wel in staat zijn om stikstof uit de lucht te halen. Daarnaast blijft een nauwkeurige toepassing van meststoffen en het landbouwkundig management op perceelsniveau belangrijk omdat daar nog veel mogelijkheden liggen om de door bemesting versterkte emissie van CO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O te verminderen. Dit kan uiteraard alleen als het beleid en de markt het mogelijk maakt om deze innovaties in te zetten.

#### **9. Hoe kunnen teeltsystemen zorgen voor voedzaam voedsel van een hoge kwaliteit?**

Meer dan 2 miljard mensen in de wereld leiden aan een of meerdere vormen van ondervoeding vanwege een tekort aan micronutriënten. De belangrijkste teeltsystemen wereldwijd zijn ontworpen om calorieën, eiwitten en andere diverse nutriënten of bioactieve verbindingen te leveren. Hiermee domineert een handjevol vaak micronutriënt-arme gewassen de wereldwijde keten van voedsel- en voedergewassen. Dit heeft in veel gevallen geleid tot een lagere diversiteit van gewassen of zelfs gezorgd voor een verdringing van traditionele gewassen zoals peulen. Welke landbouwpraktijken kunnen worden ingezet om te zorgen voor zowel voldoende als gezond voedsel, en welke bemestingspraktijken en teelttechnieken zijn hiervoor beschikbaar (21)?

#### **10. Hoe kunnen we nutriënten beter monitoren en de duurzaamheid van het voedselsysteem vergroten?**

Digitale technologieën hebben een grote potentie voor betere monitoring, analyse, benchmarking, rapportage en certificering van duurzaamheidsinspanningen in de hele nutriëntenketen. Dit kan de transparantie, traceerbaarheid, kwaliteitscontrole en duurzaamheidsbeoordeling in de hele voedselsector verbeteren, wat van cruciaal belang is voor de betrokkenheid van de publieke sector en het ontwikkelen van een op feiten gebaseerd beleid.

Hoe kunnen bijvoorbeeld de internationale gedragscodes voor duurzaam gebruik en beheer van meststoffen (22) of criteria voor milieu, maatschappij en bestuur (ESG-criteria) door landen en de industrie worden geïmplementeerd? Is er behoefte aan een nieuwe standaard of norm voor een duurzame productie als ook toepassing van nutriënten?

### WAT KAN ER WORDEN GEDAAN?

De verwachte ontwikkelingen in de wereldbevolking, de benodigde basisvoorwaarden voor biologische processen als gewasgroei, en het principe dat de afgevoerde hoeveelheid nutriënten via gewassen weer aangevoerd moeten worden, maken duidelijk dat minerale nutriënten, waaronder kunstmeststoffen, belangrijk blijven voor de ontwikkeling van ons voedselsysteem. Het is cruciaal om geïntegreerde en gerichte bemestingsstrategieën en toedieningstechnieken voor plantenvoeding te ontwikkelen waarmee de aanwezige trade-offs tussen voedselproductie en het milieu tot een minimum kunnen worden beperkt. Een aanpak die tegelijkertijd inzetbaar is in verschillende landbouw- en bedrijfssystemen, en in verschillende regio's, landen en plaatsen. Een integrale aanpak heeft hierbij meerdere dimensies, inclusief een aanpak waarbij rekening wordt gehouden met de interacties tussen nutriënten, met het gebruik en hergebruik van alle beschikbare nutriëntenbronnen, en een aanpak waarmee bemesting wordt afgestemd op het beheer van bodem, gewas en milieu, en tegelijkertijd voldaan wordt aan hoge duurzaamheidsnormen.

Het nieuwe paradigma van verantwoorde plantenvoeding omvat een breed scala aan wetenschappelijke en technische kennis, technologieën, agronomische praktijken, verdienmodellen en beleid dat direct of indirect de productie en het gebruik van minerale voedingstoffen in agrovoedselsystemen beïnvloedt. Vanuit een voedselsysteembenadering is verantwoorde plantenvoeding gericht op het:

- A. Verbeteren van inkomen, productiviteit, nutriëntenefficiëntie en veerkracht van boeren en bedrijven die hen ondersteunen
- B. Verhogen van de terugwinning en recycling van nutriënten uit afval en andere onbenutte hulpbronnen
- C. Verbeteren en behouden van de bodemgezondheid
- D. Verbeteren van de voeding en gezondheid van de mens door een landbouwpraktijk die zich richt op zowel de hoeveelheid als de kwaliteit dan wel samenstelling van voedsel
- E. Minimaliseren van broeikasgasemissies, nutriëntenverontreiniging en verlies van biodiversiteit

Kortom, een verantwoordelijke wijze van plantenvoeding zal bijdragen aan een meer natuurlijker benadering van voedselproductie -en consumptie. Het is daarbij niet de bedoeling de natuur blindelings te kopiëren, maar wel om op basis van wetenschappelijk onderzoek inzicht te geven in de belangrijkste agro-ecologische principes die de gewasproductie beïnvloeden, en op basis daarvan met maatwerkoplossingen te komen om gewasproductie mogelijk te maken. De uitvoering van het nieuwe paradigma omvat zes onderling afhankelijke acties:

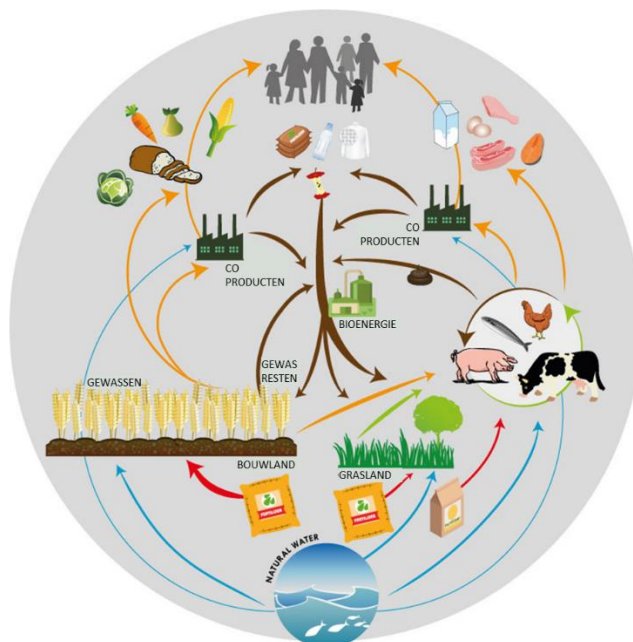
**Actie 1: Duurzaamheids-gedreven nutriëntenbeleid, strategieën, verdienmodellen en investeringen die toegevoegde waarde creëren voor alle actoren en begunstigden in de nutriëntenketen.** Het beleid rondom meststoffen en nutriënten moet worden afgestemd op de specifieke voedselsystemen van elk land, met inbegrip van ambitieuze doelstellingen voor het gebruik, de verliezen en efficiëntie van nutriënten. Concrete doelstellingen en prioriteiten voor nutriëntenmanagement variëren

afhankelijk van de geschiedenis van elk land en de daar aanwezige prioriteiten voor duurzame ontwikkeling. Inzet van innovatieve wetenschappelijk gebaseerde monitoringsystemen, rentmeesterschap (24), en certificeringsregelingen maken het mogelijk om boeren en bedrijven beter te belonen en te ondersteunen om zo beter te presteren op het gebied van innovaties, vermindering van nutriëntverliezen, verbeteren van bodemgezondheid, verhogen van de biodiversiteit en in het leveren van andere ecosysteemdiensten naast voedselproductie. Gedifferentieerde strategieën zullen ook leiden tot regionale verschuivingen in het mondiale meststoffengebruik, waardoor overschotten aan nutriënten worden verminderd en meer nutriënten worden verplaatst naar waar zij het meest nodig zijn, zoals in grote delen van Afrika (25).

**Actie 2: Datagestuurde, preciezere oplossingen voor gewasvoeding.** Kennis-gestuurde digitale oplossingen en vernieuwende technologieën maken het mogelijk om de toepassing van nutriënten steeds nauwkeuriger af te stemmen op de lokale behoefte. Naast hoogtechnologische oplossingen voor de commerciële landbouw zijn ook "low-tech" en locatie-specifieke oplossingen voor duurzaam nutriëntenbeheer inzetbaar. Onderzoek heeft aangetoond dat hiermee een consistente en substantiële toename in gewasopbrengst te realiseren is met positief bedrijfsresultaat en een efficiënt gebruik van meststoffen, ook voor de productie van gewassen door kleine boeren in Azië en Afrika (26, 27). Deze aanpak moet worden opgeschaald naar miljoenen boeren via digitale adviesystemen en bedrijfsoplossingen.

**Actie 3: Oplossingen op het gebied van circulaire economie voor een verhoogde terugwinning en recycling van nutriënten.** Integratie van gewasproductie en veeteelt, minder voedselverspilling, gebruik van bijproducten en een verhoogde terugwinning en recycling van nutriënten zijn belangrijke maatregelen om efficiënt nutriëntengebruik in de hele voedselketen te optimaliseren (Fig. 3). Politieke stimulansen, vernieuwende technologieën en gedragsveranderingen zullen leiden tot meer recycling van nutriënten uit verschillende afvalstromen en daarmee een essentiële bijdrage leveren aan circulaire bio-economie. Dergelijke circulaire systemen moeten veilig en gezond zijn voor dier, mens en milieu, maar ze bieden ook mogelijkheden om nieuwe verdienmodellen te ontwikkelen, waaronder het gebruik van nevenstromen binnen de landbouwsector voor verdere verwaarding van materialen en de nutriënten die deze nevenstromen bevatten. Verbeterde monitoring, levenscyclusanalyses, benchmarking en certificering van nutriëntstromen over de gehele keten zullen de ontwikkeling van dergelijke oplossingen ondersteunen.

**Figuur 3** Belangrijkste nutriëntstromen in een circulair voedselsysteem waarin gewassen, dieren en mensen verbonden zijn. Rode pijlen beschrijven de aanvoer van meststoffen in het systeem. Akkers zijn vooral bedoeld om voedsel voor de mens te produceren en deels voor veevoeding, waarnaast de dieren ook gebruik maken van gewasresten (oranje pijlen). Grasland wordt vooral gebruikt voor veevoer en voor begrazing. Bijproducten en reststromen worden gerecycled in de landbouw of worden gebruikt voor het produceren van nieuwe bio-based producten (bruine pijlen). Verliezen uit het circulaire systeem zijn daarmee minimaal. Bron: Nagetekend en aangepast van (18).



**Actie 4: Voedingsgerichte landbouw – het produceren van voedsel met een hogere voedingswaarde om zowel bestaande als nieuwe tekorten aan minerale nutriënten aan te pakken.** Naast een divers dieet en voedingsinterventies, is een duurzame oplossing er ook op gericht om het drievoudige probleem van ondervoeding, tekort aan micronutriënten, overgewicht/obesitas en andere niet-overdraagbare ziekten tegelijkertijd aan te pakken. Afhankelijk van de lokale context kan gebruik worden gemaakt van slimme gewasrotaties waarmee voldoende diversiteit in het aanbod van gewassen wordt gerealiseerd of kunnen de belangrijkste voedselgewassen worden verrijkt met micronutriënten via bijvoorbeeld gerichte bemesting of door veredeling (28). Via de inzet van meststoffen met micronutriënten kan gericht gestuurd worden op de micronutriënten die belangrijk zijn voor gewas, dier en mens. Naast essentiële nutriënten zoals ijzer of zink die nodig zijn voor gewasgroei kan het ook gaan om nutriënten die van belang zijn voor de gezondheid van dier en mens, zoals jodium (29) en selenium (30).

**Actie 5: Energie-efficiënte, emissiearme meststoffen.** Meststoffen zullen in toenemende mate op een milieuvriendelijke wijze worden geproduceerd en zullen meer en meer in staat zijn om de juiste hoeveelheid nutriënten op het juiste moment beschikbaar te maken om aan de gewasbehoefte te voldoen. Aanzienlijke afname in de uitstoot van broeikasgassen kan worden bereikt door meststoffen te produceren via technieken met weinig koolstofemissie. Er zijn reeds verschillende technologieën in de pilotfase om “groene ammoniak” te produceren uit hernieuwbare, koolstof neutrale energiebronnen, en ook om dit te gebruiken voor energieopslag- en transport. Een nieuwe “ammoniak economie” kan de wereld voeden en van energie voorzien op een nieuwe, gedecentraliseerde manier (31). Innovaties op het gebied van de samenstelling van meststoffen zullen zo leiden tot milieuvriendelijke meststoffen waarmee zoveel mogelijk voedingsstoffen door het gewas wordt opgenomen en het verlies van nutriënten tot een minimum wordt beperkt (32).

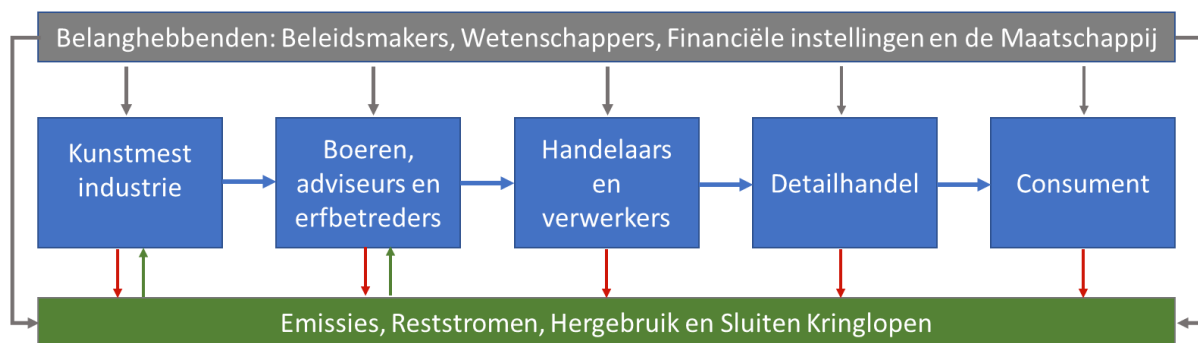
**Actie 6: Versnelde, meer open innovatiesystemen voor een snellere doorloop van nieuwe ideeën naar implementatie in de praktijk.** Toekomstige onderzoeks- en innovatiesystemen moeten co-creatie en kennisdeling stimuleren om een snelle ontwikkeling en toepassing van nieuwe kennis en technologieën mogelijk te maken. Dit vereist meer openheid en gecoördineerde actie van betrokkenen in de publieke en private sector. Een massale cultuurverandering in de wetenschap en



financiering van wetenschappelijke onderzoek is nodig, en daarbij moet de focus liggen op een probleemgerichte en een vereenvoudigde wetenschappelijke aanpak, transdisciplinaire samenwerking, ondernemerschap en het vroegtijdig betrekken van gebruikers – waaronder de verschillende soorten boeren die gebruik maken van de innovaties.

## WIE MOET WAT DOEN?

Verantwoorde plantenvoeding is een complexe en mondiale uitdaging die alleen kan worden aangepakt via concrete acties van alle direct betrokkenen in de kringloop van nutriënten en de stakeholders die invloed hebben op deze kringloop (Fig. 4).



*Figuur 2: De agro-voedselketen vanuit een nutriëntenmanagement perspectief. Blauwe vakken staan voor actoren die direct bijdragen aan nutriëntengebruik en -verliezen. Rode pijlen staan voor broeikasgasemissies, nutriëntverliezen naar het milieu en afval dat kan plaatsvinden in de keten. Alle kansen om emissies en verliezen te verlagen moeten worden benut, terwijl ook de benutting van nutriënten tijdens de voedselproductie als ook het hergebruik binnen de landbouw en de industrie moeten worden vergroot (groene pijlen). Het grijze vak staat voor actoren die de grootste actoren beïnvloeden, innovatie stimuleren of het maatschappelijk kader voor actie bepalen. Bron: aangepast van (33).*

**Beleidsmakers** op alle niveaus moeten zorg dragen voor duidelijke, wetenschappelijk onderbouwde en geharmoniseerde regelgeving voor nutriënten, maar tegelijkertijd ook innovaties in technologieën, landbouwpraktijken en verdienmodellen stimuleren. Zij moeten een visie neerzetten met duidelijke doelstellingen voor nutriënten, voeding en milieu, en deze concretiseren in landelijke of regionale strategieën. Zij kunnen veranderingen in voedselconsumptie stimuleren en incentives bieden aan boeren om te werken aan verhoging van de benutting van nutriënten. Het beleid moet daarbij zorgdragen voor een goede balans tussen gewasproductie en de milieudoelstellingen. Mogelijkheden voor technische ondersteuning en voorlichting moeten adequaat worden ondersteund om de implementatie van duurzame praktijken door boeren te bevorderen. Beleidsmakers moeten er verder zorg voor dragen dat boeren wereldwijd betaalbare toegang hebben tot internet en digitale diensten.

**De mondiale meststoffenindustrie** heeft onlangs de noodzaak van een duurzame en innovatiegerichte aanpak van plantenvoeding erkend als haar kernbedrijfsstrategie (34). Meststoffenbedrijven zullen in toenemende mate aanbieders moeten worden van integrale oplossingen voor de bemesting van gewassen, daarbij gebaseerd op nieuwe verdienmodellen die zorgdragen voor mens en planeet. Duurzaamheid en innovatie, met inbegrip van transparante monitoring en rapportage, zullen een drijvende kracht zijn achter een transformatiestrategie voor de hele industrie, voor elk verkocht product en verkochte oplossing. De groei in omzet moet in de eerste plaats gedreven worden door groei in prestatiewaarde die aan boeren en de samenleving wordt aangeboden en niet door het volume aan verkochte meststoffen.

**Boeren, boerenadviseurs en dienstverleners** hebben de grootste verantwoordelijkheid om op bedrijfsniveau nutriënten efficiënter te gebruiken, nutriëntenverliezen te verminderen, nutriënten te

recyclen en de bodemkwaliteit te bevorderen, wat enorme consequenties heeft op grotere schaalniveaus. Zij moeten in staat zijn om nieuwe kennis, technologieën en diensten aan te kunnen passen en over te nemen, en moeten worden beloond voor goede praktijken. Vele boeren zijn ondernemers en bereid tot verandering, en zijn zich ook bewust van hun rol als rentmeester van land, water, klimaat en biodiversiteit. Echter, veranderingen vergen een verlaging van de risico's en andere aanwezige drempels voor de implementatie van innovaties en duurzame landbouwpraktijken.

**Handelaren, verwerkers en winkeliers in voedingsmiddelen** hebben enorm veel macht om nutriëntencycli te beïnvloeden, zowel door te beïnvloeden wat consumenten eten of drinken als hoe het wordt geproduceerd. Verticaal geïntegreerde, op data gebaseerde en transparantere bevoorradingsketens die voldoen aan duurzame productienormen als ook het beperken van productieverliezen zullen meer ingang vinden, waarbij ook meer rechtstreekse inkoop bij boeren zal plaatsvinden. Deze ontwikkelingen bieden diverse mogelijkheden voor het implementeren van holistische en integrale benaderingen van nutriëntenbeheer. De waarde van dergelijke duurzame productiepraktijken uitdrukken in geld vormt een belangrijke uitdaging maar biedt ook kansen.

**Consumenten** zullen belangrijke veranderingen in gewasproductie en bemesting stimuleren door de overgang naar gezondere diëten en een toenemende vraag naar voedsel dat op een duurzamere manier is geproduceerd. Specifieke trends zullen tussen regio's en inkomensgroepen verschillen. Op wereldschaal kunnen veranderingen in het voedingsgedrag relatief traag verlopen en zullen deze veranderingen ook deels gecompenseerd worden door toenemende voedselconsumptie als gevolg van bevolkings- en inkomensgroei in lage- en middeninkomenslanden. Een directe verantwoordelijkheid van consumenten ligt allereerst bij het verminderen van overmatige vleesconsumptie, het verminderen van voedselverspilling en te zorgen voor recycling van niet te voorkomen voedselafval.

**Dienstverleners en afvalverwerkers** zijn een belangrijke en relatief nieuwe groep van actoren in de nutriëntencyclus en hun rol zal in de komende jaren aanzienlijk groter worden. Vooral in dichtbevolkte gebieden zullen hun behoeften en acties in toenemende mate de landbouwpraktijk en het nutriëntenmanagement beïnvloeden. Dit vereist een sterkere samenwerking met andere actoren, ontwikkeling van een gemeenschappelijk begrip en vorming van gezamenlijke normen waaraan voldaan moet worden.

**Investeerders:** Investerings in onderzoek en innovatie op het gebied van plantenvoeding zullen sterk moeten stijgen om hoofd te bieden aan de complexe uitdagingen op het gebied van plantenvoeding. Publieke, private en filantropische investeerders moeten in toenemende mate investeren in technologieën, bedrijven en organisaties die belangrijke elementen van het nieuwe paradigma ondersteunen, daarbij hoort het creëren van een groeiend ecosysteem van startups en andere ondernemingen. Gebruik van zowel publiek als privaat kapitaal kan het risico verminderen en meer particuliere investeringen aantrekken.

**Wetenschappers:** Wetenschap en techniek moeten een grote inspanning leveren om de vele doelstellingen van het nieuwe plantenvoedingsparadigma te realiseren. Daarbij moet ook de hele cultuur in de wetenschap veranderen richting nieuwe methodes om nieuwe ontdekkingen sneller te kunnen vertalen naar praktijkoplossingen. Meer aandacht voor de implementatie van kennis in agronomische toepassingen, feedback vanuit de praktijk en een kritische houding richting de toepasbaarheidsclaims is gewenst, evenals een sterkere uitwisseling van vakkennis en middelen en opener vormen van innovatie en ondernemerschap.

**Maatschappelijke organisaties** spelen een belangrijke rol in het nieuwe paradigma via voorlichting van de bevolking, mobilisatie aan de basis, monitoring, waarschuwing, belangenbehartiging, en verspreiding van nieuwe technologieën en praktijken. Dit is een grote verantwoordelijkheid die een op feiten gebaseerde aanpak vereist. Het gezamenlijk ontwikkelen van concrete oplossingen in samenwerking met de overheid, industrie, wetenschap en boeren moet de vaak aanwezige nadruk op afzonderlijke kwesties of controversiële debatten vervangen.

## HOE ZIET SUCCES ERUIT?

Vergeleken met waar we in 2020 staan, is het mogelijk om binnen één generatie, dus rond het jaar 2040, de volgende doelen te bereiken:

1. De beschikbaarheid van breed geaccepteerde normen voor het kwantificeren en monitoren van nutriënten in de voedselketen inspireren tot oplossingen om de efficiëntie van nutriëntengebruik en het hergebruik ervan te verhogen en verliezen te verminderen. Ambitieuze doelstellingen, investeringen en beleid stimuleren een gezamenlijke aanpak met inzet van regeringen, bedrijven, boeren en andere betrokkenen met als doel de ontwikkeling en inzet van duurzame, integrale en op maat gemaakte oplossingen voor plantenvoeding.
2. Op wereldschaal voldoet een stijgende gewasopbrengst aan de vraag naar voedsel voor mens en dier als ook de bio-industrie. Daarbij neemt de gewasopbrengst sneller toe dan de stijging in het gebruik van minerale meststoffen, terwijl de uitbreiding van akkerland en ontbossing is gestopt. De mondiale stikstofbenutting, dat wil zeggen de afvoer van stikstof via het geogroete gewas in verhouding tot de stikstofaanvoer, is gestegen tot 70%.
3. Door verantwoorde consumptie, een toename in hergebruik en verbeterde landbouwpraktijken is de verspilling van nutriënten in het voedselsysteem gehalveerd. Stikstof- en fosforoverschotten in hotspots zijn teruggebracht tot veilige niveaus waarbij eutrofiëring en andere milieuschade zijn geminimaliseerd.
4. De uitputting van nutriënten in de bodem en het verlies van koolstof zijn tot stilstand gebracht. Toekomstgericht beleid en investeringen hebben geleid tot veranderingen in landbouwsystemen en managementpraktijken die de gezondheid van de bodem verhogen, waaronder de aanvoer van voldoende organische stof. Regionale nutriëntentekorten zijn substantieel verminderd, met name in Sub-Sahara Afrika, waar het gebruik van meststoffen is verdrievoudigd en gewasopbrengsten tenminste zijn verdubbeld en gewassen een hogere voedingswaarde hebben. Miljoenen hectaren aan gedegradeerde landbouwgrond zijn hersteld, onder meer door het gebruik van minerale en organische meststoffen, nutriëntenrijk reststromen en bijproducten.
5. Extreme vormen van chronische honger en tekorten aan nutriënten komen niet meer voor door integrale strategieën die gericht zijn op een goede gewaskwaliteit door inzet van met micronutriënten verrijkte meststoffen en de teelt van veredelde gewassen met een hogere voedingswaarde. Een nieuwe generatie van voedzamere granen en andere basisgewassen wordt in toenemende mate door boeren verbouwd, gedreven door de vraag van consument en markt. Beleid en beleidsmakers ondersteunen strategieën voor het gebruik van minerale meststoffen in gevallen waar de markt onvoldoende stimulansen biedt om aan de voedingsbehoefte van de mens te voldoen.
6. De meststoffenindustrie voldoet aan strenge en transparante duurzaamheidsnormen over de gehele levenscyclus van haar producten en bedrijfsactiviteiten. Broeikasgasemissies bij de

productie en het gebruik van meststoffen zijn met minstens 30% verminderd door efficiënter energiegebruik, koolstofopvang en -opslag en door andere vernieuwende technologieën en producten. Minstens 10% van de wereldwijd geproduceerde stikstofkunstmest wordt geproduceerd uit groene ammoniak met een zeer lage tot geen koolstofuitstoot.

7. Investerings in onderzoek en ontwikkeling op het gebied van plantenvoeding door de publieke en de private sector zijn verdrievoudigd ten opzichte van nu. Veel bedrijven besteden 5% of meer van hun bruto omzet aan onderzoek en innovatie. Samenwerking en open vormen van innovatie maken het mogelijk dat wetenschappelijke ontdekkingen snel kunnen worden vertaald naar praktische oplossingen en kennis. Innovatieve, waardegerichte verdienmodellen stimuleren groei over de hele industrie.
8. Consumenten hebben een positief beeld over de inzet en gebruik van nutriënten voor de productie van gewassen, waaronder het gebruik van minerale meststoffen als primaire nutriëntenbron. Een norm voor de voetafdruk van nutriënten met hoge visuele herkenbaarheid stelt de consument in staat geïnformeerde keuzes te maken. Informatie over de verbetering van bodemgezondheid en nutriëntbalansen is breed beschikbaar, en de koppeling met de mitigatie van lucht-, water- en klimaatproblemen is breed erkend.
9. Boeren over de hele wereld hebben toegang tot betaalbare, diverse en passende oplossingen voor plantenvoeding en worden beloond voor implementatie van beter nutriëntenbeheer en rentmeesterschap die hun welvaart vergroot en hen in staat stelt uit de armoedecyclus te komen. Gewasvoedingsproducten en -oplossingen op maat dragen voor minstens 30% bij aan de totale wereldwijde marktwaarde van gewasvoeding.

Tot nu toe zijn we er niet in geslaagd om de bovenstaande doelstellingen te realiseren, ondanks vele wetenschappelijke en technische oplossingen die al decennia bestaan. Om dit nu binnen één generatie te bereiken wordt een veel grotere gezamenlijke inspanning vereist van alle betrokkenen, van de meststoffenindustrie tot boeren en consumenten van voedsel en andere landbouwproducten. Snelle actie – gebaseerd op een lange termijnperspectief op duurzaamheid – is nodig om de overgang naar een nieuw paradigma voor plantenvoeding te faciliteren.

## REFERENTIES

1. K. O. Fuglie, Is agricultural productivity slowing? *Global Food Security*. 17, 73–83 (2018), doi:10.1016/j.gfs.2018.05.001.
2. J. W. McArthur, G. C. McCord, Fertilizing growth: Agricultural inputs and their effects in economic development. *Journal of Development Economics*. 127, 133–152 (2017), doi:10.1016/j.jdeveco.2017.02.007.
3. V. Smil, *Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production* (The MIT Press, Cambridge, MS, London, 2001).
4. J. R. Stevenson, N. Villoria, D. Byerlee, T. Kelley, M. Maredia, Green Revolution research saved an estimated 18 to 27 million hectares from being brought into agricultural production. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 8363–8368 (2013), doi:10.1073/pnas.1208065110.
5. A. Balmford et al., The environmental costs and benefits of highyield farming. *Nat Sustain.* 1, 477–485 (2018), doi:10.1038/s41893-018-0138-5.
6. W. Steffen et al., Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science*. 347, 1259855 (2015), doi:10.1126/science.1259855.
7. C. Rosenzweig et al., Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nat Food*. 1, 94–97 (2020), doi:10.1038/s43016-020-0031-z.
8. Tian et al., A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature*. 586, 248–256 (2020), doi:10.1038/s41586-020-2780-0.
9. P. Pingali, B. Mittra, A. Rahman, The bumpy road from food to nutrition security – Slow evolution of India’s food policy. *Global Food Security*. 15, 77–84 (2017), doi:10.1016/j.gfs.2017.05.002.
10. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO, *The State of Food Security and Nutrition in the World 2020* (2020) (available at <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9692en/>).
11. The Food and Land Use Coalition, *Growing better: ten critical transitions to transform food and land use* (2019) (available at <https://www.foodandlandusecoalition.org/global-report/>).
12. S. E. Vollset et al., Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet* (2020), doi:10.1016/S0140-6736(20)30677-2.
13. K. van Ittersum et al., Can sub-Saharan Africa feed itself? *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113, 14964–14969 (2016), doi:10.1073/pnas.1610359113.
14. B. Vanlauwe, A. Dobermann, Sustainable intensification of agriculture in sub-Saharan Africa: first things first! *Front. Agr. Sci. Eng.* 7, 376–382 (2020), doi:10.15302/J-FASE-2020351.
15. X. Zhang et al., Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*. 528, 51–59 (2015), doi:10.1038/nature15743.
16. M. A. Sutton et al., *Our nutrient world: the challenge to produce more food and energy with less pollution* (2012) (available at <https://www.unenvironment.org/resources/report/our-nutrientworld-challenge-produce-more-food-and-energy-less-pollution>).
17. A. Uwizeye et al., Nitrogen emissions along global livestock supply chains. *Nat Food* (2020), doi:10.1038/s43016-020-0113-y.
18. H. H. E. van Zanten, M. K. van Ittersum, I. J. M. de Boer, The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security*. 21, 18–22 (2019), doi:10.1016/j.gfs.2019.06.003.
19. J. C. Soares, C. S. Santos, S. M. P. Carvalho, M. M. Pintado, M. W. Vasconcelos, Preserving the nutritional quality of crop plants under a changing climate: importance and strategies. *Plant Soil*. 443, 1–26 (2019), doi:10.1007/s11104-019-04229-0.
20. IPCC, *Climate change and land. IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (2019) (available at <https://www.ipcc.ch/srccl/>).
21. M. Welch, R. D. Graham, I. Cakmak, Linking agricultural production practices to improving human nutrition and health. Expert paper written for ICN2 Second International Conference on Nutrition Preparatory Technical Meeting, 13-15 November, Rome, Italy (2013) (available at <http://www.fao.org/3/a-as574e.pdf>).
22. FAO, *International code of conduct for the sustainable use and management of fertilizers* (2019) (available at <http://www.fao.org/3/ca5253en/ca5253en.pdf>).

23. FAO, The 10 elements of agroecology. Guiding the transition to sustainable food and agricultural systems (2018) (available at <http://www.fao.org/3/i9037en/i9037en.pdf>).
24. International Plant Nutrition Institute, 4R plant nutrition manual: A manual for improving the management of plant nutrition, metric version (IPNI, Norcross, GA, USA, 2016).
25. Zhang, A plan for efficient use of nitrogen fertilizers. *Nature*. 543, 322–323 (2017), doi:10.1038/543322a.
26. A. Dobermann et al., Site-specific nutrient management for intensive rice cropping systems in Asia. *Field Crops Res.* 74, 37–66 (2002).
27. J. Rurinda et al., Science-based decision support for formulating crop fertilizer recommendations in sub-Saharan Africa. *Agric. Syst.* 180, 102790 (2020).
28. Cakmak, U. B. Kutman, Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *Eur. J. Soil Sci.* 69, 172–180 (2018), doi:10.1111/ejss.12437.
29. R. Fuge, C. C. Johnson, Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Applied Geochemistry*. 63, 282–302 (2015), doi:10.1016/j.apgeochem.2015.09.013.
30. Alfthan et al., Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland: From deficiency to optimal selenium status of the population. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 31, 142–147 (2015), doi:10.1016/j.jtemb.2014.04.009.
31. H.R. Rouwenhorst, A. G.J. van der Ham, G. Mul, S. R.A. Kersten, Islanded ammonia power systems: Technology review & conceptual process design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 114, 109339 (2019), doi:10.1016/j.rser.2019.109339.
32. Chen et al., Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment*. 613-614, 829–839 (2018), doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.186.
33. D. R. Kanter et al., Nitrogen pollution policy beyond the farm. *Nat Food*. 1, 27–32 (2020), doi:10.1038/s43016-019-0001-5.
34. International Fertilizer Association (IFA), IFA 2030 scenarios. Digging deeper, thinking harder, planning further (2018) (available at [https://www.fertilizer.org/Public/About\\_IFA/IFA2030.aspx](https://www.fertilizer.org/Public/About_IFA/IFA2030.aspx)).

## AUTEURS, REFERENTIE EN CONTACT

**Auteurs:** Alle leden van het Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition. Tom Bruulsema (Plant Nutrition Canada), Ismail Cakmak (Sabanci University, Turkey), Achim Dobermann (International Fertilizer Association, France), Bruno Gerard (CIMMYT, Mexico), Kaushik Majumdar (African Plant Nutrition Institute, Morocco), Michael McLaughlin (University of Adelaide, Australia), Pytrik Reidsma (Wageningen University & Research, The Netherlands), Bernard Vanlauwe (International Institute of Tropical Agriculture, Kenya), Eva Wollenberg (CGIAR Climate Change, Agriculture & Food Security Program, USA), Fusuo Zhang (China Agricultural University, China), Xin Zhang (University of Maryland Center for Environmental Science, USA)

**Referentie:** Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition. 2020. A new paradigm for plant nutrition. Issue Brief 01. Beschikbaar op [www.sprpn.org](http://www.sprpn.org)

**Verdere informatie:** Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition, c/o IFA, 49, avenue d'Iéna, 75116 Paris, France; [info@sprpn.org](mailto:info@sprpn.org)

**Vertaling:** Maarten van Doorn, Gerard H. Ros en Astrid Berndsén, NMI