



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

EIN NEUES PARADIGMA FÜR DIE PFLANZENERNÄHRUNG

Issue Brief, November 2020

ZUSAMMENFASSUNG

Nährstoffzugabe spielt eine entscheidende Rolle bei Anbau von Nutzpflanzen und bei der Haltung von Tieren für die globale Ernährung, die menschliche Gesundheit und in der Bioökonomie. Die Herstellung und Anwendung von Pflanzennährstoffen muss sich ändern, um Pflanzen effektiver zu ernähren, schädliche Umweltauswirkungen durch Nährstoffverluste zu verringern und die Bodengesundheit zu verbessern. Eine neue Denkweise in der Pflanzenernährung folgt deshalb einem holistischen Ansatz, der mehrere sozioökonomische, ökologische und gesundheitliche Ziele verfolgt (Abb. 1).

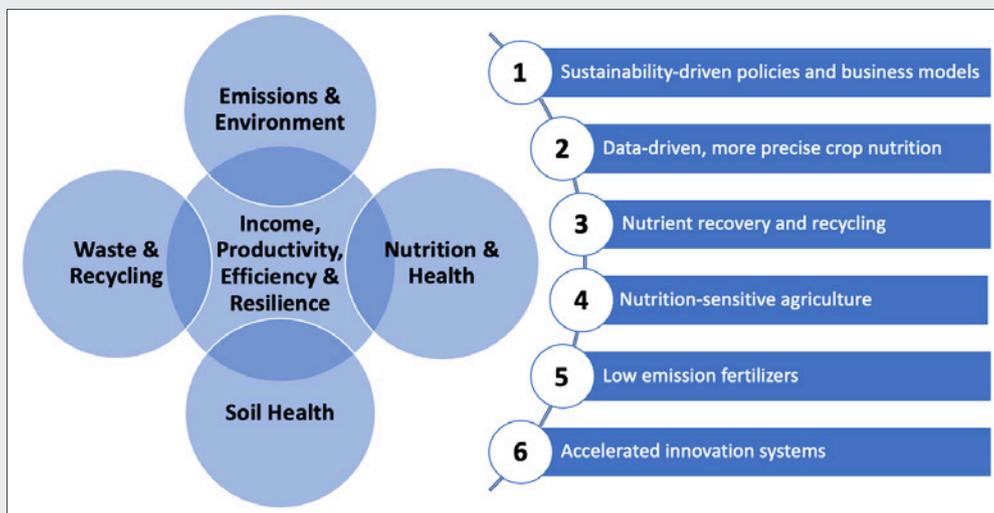


Abbildung 1. Die fünf miteinander verknüpften Ziele einer verantwortungsbewussten Pflanzenernährung und die sechs wichtigsten Maßnahmen, die zu ergreifen sind.

Die kommenden 10-20 Jahre sind von entscheidender Bedeutung für den Übergang zu einem globalen Ernährungssystem in dem alle Beteiligten Lebensmittel und Nährstoffe ganzheitlich betrachten, einschließlich versteckter ökologischer, gesundheitlicher und sozioökonomischer Kosten. Sowohl Verbraucher als auch Regierungen und Interessengruppen müssen diesen Wandel unterstützen, da Landwirte und die sie unterstützende Industrie nicht in der Lage sind, alle erforderlichen Maßnahmen allein umzusetzen.

Das Ergebnis dieses Wandels ist ein neues soziales Optimum der Pflanzenernährung und kein rein wirtschaftliches Optimum. Die neue Nährstoffwirtschaft wird ein integraler Bestandteil einer kohlenstoffarmen, umweltfreundlichen und kreislauforientierten Wirtschaft sein, die den Nahrungsmittel- und Rohstoffbedarf unserer wachsenden Weltbevölkerung deckt und das Einkommen und die Lebensgrundlage der Landwirte weltweit verbessert. Der Erfolg wird am Ende dieses Briefs in neun Punkten beschrieben.

WAS IST DAS PROBLEM?

Die weltweite landwirtschaftliche Produktion ist in den letzten 60 Jahren mit einer durchschnittlichen jährlichen Rate von etwa 2,2 % gewachsen, allerdings mit großen Unterschieden zwischen einzelnen Ländern (1). Um die wachsende Weltbevölkerung zu ernähren und die Lebensbedingungen in ländlichen Gebieten zu verbessern wird ein ähnliches Wachstum in naher Zukunft erforderlich sein. Längerfristig werden ein langsames Bevölkerungswachstum, veränderte Ernährungsgewohnheiten, geringere Nahrungsmittelverluste sowie eine erhöhte Wiederverwertung von Nährstoffen den Druck verringern, mehr Nahrungsmittel zu produzieren und dabei mehr natürliche Ressourcen zu nutzen.

Historisch gesehen haben sich diese Regionen in der Welt schneller

wirtschaftlich entwickelt, in denen Düngemiteleininsatz und Ernteerträge parallel anstiegen (2). Ein effizienterer Zugang zu Mineraldüngern war eine der wichtigsten Voraussetzungen um die schnell wachsende Weltbevölkerung zu ernähren (3). Der rasche Anstieg der Ernteerträge verhinderte auch die stärkere Ausdehnung der Landwirtschaft auf natürliche Flächen, die andernfalls stattgefunden hätte (4). Andererseits hat der Erfolg der intensive Landwirtschaft in vielen Regionen zu negativen Folgeerscheinungen geführt die zunehmend schwerer in den Griff zu bekommen sind, wie z. B. Bodendegradation, Verlust der biologischen Vielfalt, nicht nachhaltige Wasserentnahme, Eutrophierung vieler Süßwasser- und Meeresküstenökosysteme, erhöhte Treibhausgasemissionen oder soziale Ungleichheit unter Landwirten (5).

Die anthropogenen Störungen der globalen Stickstoff- und Phosphorflüsse haben bereits die Grenzen überschritten, die oft als sicherer Betriebsraum für die Menschheit angesehen werden (6). Während landwirtschaftliche Aktivitäten auf der Farmebene für 9 bis 14 % der Treibhausgasemissionen aus allen menschlichen Aktivitäten verantwortlich sind, steigt diese Zahl auf 21 bis 37 % wenn man das globale Nahrungsmittelsystem, einschließlich Landnutzungsänderungen und Düngemittelproduktion vollständig berücksichtigt (7). Die vom Menschen verursachten Emissionen von Lachgas (N_2O), die zu einem großen Teil auf die mineralische und organische Düngung von Anbauflächen zurückzuführen sind, haben seit den 1980er Jahren um 30 % zugenommen (8). Die derzeitigen Ernährungssysteme begünstigen außerdem den Anbau von Grundnahrungsmitteln auf Kosten von mikronährstoffreicheren Nahrungspflanzen. Obwohl Hunger und Unterernährung in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen sind, gibt es nach wie vor weit verbreitete Nährstoffmängel in Afrika südlich der Sahara und in anderen Regionen, von dem besonders Frauen und Kinder betroffen sind (9). Die Zahl der Menschen, die keinen Zugang zu ausreichenden und nahrhaften Nahrungsmitteln haben, könnte aufgrund von Konflikten, Klimaextremen, wirtschaftlichem Abschwung oder dem Ausbruch von Krankheiten politischen Unruhen weiter ansteigen (10).

Schätzungen zufolge sind mit dem globalen Ernährungssystem versteckte Gesundheits-, Umwelt- und sozioökonomische Kosten in Höhe von 12 Billionen Dollar verbunden, die höher sind als der Ertrag des Systems zu aktuellen Preisen (11). Angesichts einer erwarteten Bevölkerungszahl von etwa 9,5 Milliarden Menschen bis zum Jahr 2050 (12) wird die Ernährungssicherheit durch die Steigerung der pflanzlichen und tierischen Produktivität zwar nach wie vor von enormer Bedeutung sein, aber sie ist nicht mehr das einzige Ziel. Der Übergang zu einem nachhaltigeren globalen Lebensmittelsystem erfordert von allen Beteiligten ein holistisches Management von Nährstoffen und ihres gesamten Lebenszyklus. Künftige Ansätze der Pflanzenernährung müssen mehrere globale und regionale Herausforderungen im Zusammenhang mit Nährstoffen im Lebensmittelsystem angehen.

In diesem Zusammenhang müssen zehn übergeordnete Herausforderungen innerhalb der nächsten 20 Jahre gelöst werden:

1. Wie können wir das derzeitige globale Nährstoffgleichgewicht überwinden?

Viele Jahrzehnte lang war die steigende Pflanzen- und Tierproduktion eng mit der zunehmenden Zugabe von Stickstoff und anderen Nährstoffen sowie dem internationalen Handel mit Futter- und Lebensmitteln verbunden. Dies hat zu einer globalen Kluft geführt, die von großen Nährstoff-Input-Output-Überschüssen und Umweltverschmutzung in einigen Regionen bis zu großen Nährstoffdefiziten in anderen Regionen reicht (Abb. 2). Wie kann auf globaler Ebene die wachsende pflanzliche Primärproduktion vom wachsenden Düngerverbrauch entkoppelt werden? Welche länderspezifischen Ziele und Strategien für den Düngemiteleinsatz und die Nährstoffnutzungseffizienz ermöglichen das?

2. Was sind die wichtigsten Maßnahmen zur Verdoppelung oder Verdreifachung der Ernteerträge in Afrika bei steigendem und ausgewogenem Nährstoffeinsatz?

Um Ernteerträge zu steigern und innerhalb einer Generation ein höheres Maß an Ernährungssicherheit zu erreichen, muss Afrika seine massiven Nährstoffdefizite überwinden (13). Der durchschnittliche Düngemiteleinsatz in afrikanischen Ländern südlich der Sahara liegt bei etwa 20 kg Nährstoffen/ha und übersteigt nur in wenigen Ländern 50 kg/ha. Dies liegt weit unter dem, was für eine steigende Pflanzenproduktion und der Wiederherstellung der Bodenfruchtbarkeit nach jahrzehntelanger Auszehrung erforderlich ist. Düngemittel allein werden nicht ausreichen, um Ernteerträge zu steigern, aber sie sind ein wichtiger Bestandteil, um eine Grüne Revolution in Afrika zu unterstützen (14). Diese sollte auf guten Informationen, Anreizen zur effizienten Nutzung von Nährstoffen und spezifischen Maßnahmen zur Bekämpfung von Formen der Unterernährung beruhen.

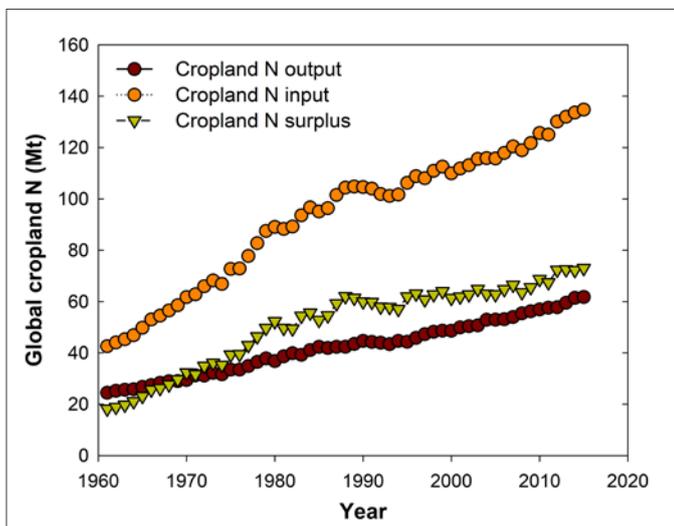
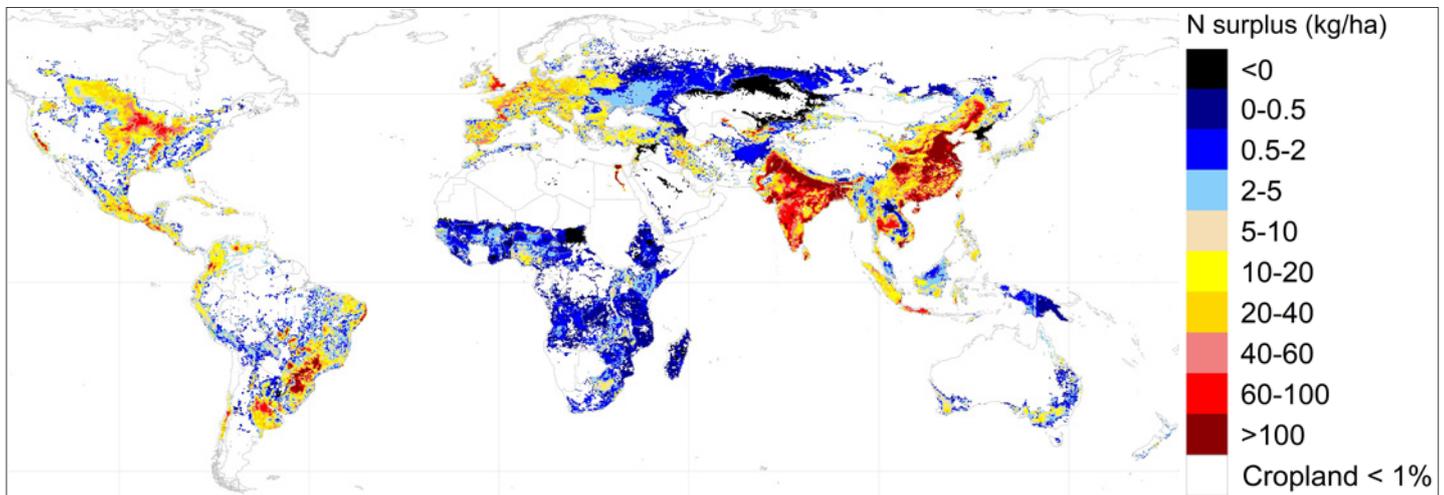


Abbildung 2. Globale Trends im Stickstoffaustrag von Nutzpflanzen, N-Eintrag aus Düngemitteln und anderen Quellen sowie jährlicher Stickstoffüberschuss (links); Karte des Stickstoffüberschusses oder -defizits im Jahr 2015 (oben, kg N/ha). Die Stickstoffbilanz ist definiert als die gesamte Stickstoffzugabe in Anbauflächen abzüglich des in Form von Pflanzenprodukten geernteten Stickstoffs (15); sie wird im linken Feld in Millionen Tonnen (Mt) und im oberen Feld in kg pro Hektar Anbaufläche ausgedrückt, was auf die potenzielle Belastung durch Stickstoffverluste bei der Pflanzenproduktion hinweist. Quelle: Xin Zhang und Guolin Yao, University of Maryland Center for Environmental Science.

3. Mit welchen datengesteuerten Technologien, Unternehmenslösungen und politischen Maßnahmen kann die Nutzung präziserer Nährstoffmanagementlösungen durch die Landwirte beschleunigt werden?

In vielen Ländern geben Landwirte zu große Mengen an Nährstoffen hinzu, weil Düngemittel relativ billig sind oder weil Landwirte keine Ertragseinbußen riskieren wollen. An anderen Stellen wenden Bauern nicht genügend Nährstoffe oder in der falschen Zusammensetzung an, weil sie es sich nicht leisten können, Düngemittel nicht zugänglich sind oder sie nicht über die nötigen Kenntnisse oder Fähigkeiten verfügen. Weltweit gibt es viele angemessene Beispiele dafür, wie diese Probleme überwunden werden können, aber nur wenige haben zu Durchbrüchen in großem Maßstab geführt.

4. Können Nährstoffverluste und -abfälle entlang der gesamten Lebensmittelkette innerhalb einer Generation halbiert werden?

Aktuellen Schätzungen zufolge erreichen weltweit nur etwa 20 % der zugegebenen Stickstoffverbindungen nützliche Produkte, während bis zu 80 % in unterschiedlicher Form in die Umwelt gelangen (16). Bei Nährstoffverlusten gibt es große Unterschiede zwischen einzelnen Ländern und ihren Lebensmittelsystemen, die mit verschiedenen Ansätzen angegangen werden, u. a. werden Nährstoffe aus verschiedenen Abfallströmen in einer Form zurückgewonnen, die eine sichere Rückführung in die Pflanzenproduktion ermöglicht.

5. Wie kann man Nährstoffkreisläufe in der Pflanzen- und Tierhaltung schließen?

Global operierende Ernährungssysteme und Versorgungsketten haben Ackerbau und Viehzucht getrennt und intensiviert, wodurch Nährstoffkreisläufe räumlich getrennt und undicht wurden. Das massive Wachstum des Tierhaltungssektors hat zu einer geringen Nährstoffnutzungseffizienz, vermehrten Abfällen und hohen Treibhausgasemissionen geführt. Ein Drittel aller vom Menschen verursachten Stickstoffemissionen gehen auf das Konto der globalen Tierproduktion (17). Zu einer nachhaltigen Tierhaltung gehören mehr weide-basierte Systeme und eine Re-Integration von Ackerbau und Viehzucht, die Tiere dafür nutzen, was sie am besten können: Grasland und Nebenprodukte aus dem Lebensmittelsystem in wertvolle Nahrungsmittel und Dung umwandeln (18). Welche zukünftigen landwirtschaftlichen Strukturen, Technologien und Lieferketten ermöglichen dies?

6. Wie können wir die Bodengesundheit verbessern?

Böden sind für den Anbau von Kulturpflanzen unerlässlich, aber sie erbringen auch andere wichtige Ökosystemleistungen wie Wasserreinigung, Kohlenstoffbindung, Nährstoffkreislauf und die Bereitstellung von Lebensräumen für die biologische Vielfalt. Die Zufuhr von Kohlenstoff und Nährstoffen ist ein wichtiger Auslöser um die Bodengesundheit im Ackerbau zu verbessern, was landwirtschaftliche Systeme gegenüber extremen klimatischen Ereignissen widerstandsfähiger macht. Die Sequestrierung von atmosphärischem CO₂ in Böden kann die globale Erwärmung verringern und damit die Bodengesundheit verbessern. Dies erfordert jedoch eine kontinuierliche Zugabe von organischen Substanzen und Nährstoffen (insbesondere Stickstoff und Phosphor), um stabiles organisches Bodenmaterial zu bilden. Wie kann ein holistischer Ansatz zur Pflanzenernährung Makro- und Mikronährstoffe für eine hohe Pflanzenproduktivität und Nährstoffnutzungseffizienz ausschöpfen? Gleichzeitig aber sollen die biologische N-Fixierung genutzt, die Speicherung und den Umsatz von Kohlenstoff optimiert, die biologische Vielfalt im Boden erhöht und die Versauerung des Bodens oder andere Formen der Degradierung vermieden werden.

7. Wie sollten wir die Ernährung von Kulturpflanzen unter sich ändernden klimatischen Bedingungen gestalten?

Der Klimawandel hat sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Nährstoffqualität von Kulturpflanzen, von denen viele noch nicht genau bekannt sind (19). Der Anstieg des atmosphärischen Kohlendioxids (CO₂) kann zu höheren Ernteerträgen führen, aber auch zu sinkenden Nährstoffkonzentrationen und einer schlechteren Nährstoffausnutzung der Nutzpflanzen. Die globale Erwärmung erhöht das Risiko von Pflanzenstress

wie Trockenheit, Hitze oder hoher Strahlung, wobei eine ausgewogene Pflanzenernährung eine besondere Rolle bei der Abschwächung spielt. Veränderungen in der Saisonalität, Niederschläge und extreme Wetterereignisse wirken sich auch auf den Zeitpunkt und die Effizienz der Nährstoffaufnahme aus, wofür die Integration von Nährstoffempfehlungen in Frühwarn- und Klima-Informationssystemen erforderlich ist.

8. Was sind realistische Optionen und Ziele um Düngemittel-bedingte Treibhausgasemissionen zu verringern?

Alle Ansätze um die globale Erwärmung auf 1,5°C oder deutlich unter 2°C zu begrenzen, erfordern landbasierte Minderungsmaßnahmen und Landnutzungsänderungen (20). Im gesamten Sektor der Pflanzenernährung bieten emissionsarme Technologien die Herstellung und den Transport von «grünem» Dünger, neuartige Düngerformeln, Inhibitoren, genetische Lösungen um den Nitrifikationsprozess zu hemmen oder atmosphärischen Stickstoff zu fixieren sowie eine präzisere Nährstoffzugabe und agronomische Feldbewirtschaftung zahlreiche Möglichkeiten um nährstoffbedingte CO₂- und N₂O-Emissionen zu verringern. Allerdings müssen die politischen Rahmenbedingungen und die Marktbedingungen diese ermöglichen.

9. Wie können Anbausysteme qualitativ hochwertiger, nährstoffreichere Lebensmittel liefern?

Mehr als 2 Milliarden Menschen auf der Welt sind von verschiedenen Formen der Mikronährstoff-Unterernährung betroffen. Die wichtigsten Anbausysteme der Welt sind darauf ausgelegt, Kalorien, Proteine und eine Reihe anderer Nährstoffe oder bioaktiver Verbindungen zu liefern. Eine Handvoll mikronährstoffarmer Nutzpflanzen dominiert die globalen Nahrungs- und Futtermittelketten, wodurch häufig die Vielfalt der Nutzpflanzen verringert oder traditionelle Nutzpflanzen, wie Hülsenfrüchte, verdrängt wurden. Welche landwirtschaftlichen Praktiken, einschließlich spezifische Formen der Düngung, können die menschliche Ernährung gezielt verbessern (21)?

10. Wie können wir Nährstoffe besser verfolgen und ein hohes Maß an nachhaltiger Verantwortung erreichen?

Digitale Technologien bieten ein großes Potenzial für eine bessere Überwachung, Analyse, Benchmarking, Berichterstattung und Zertifizierung von Nachhaltigkeitsbemühungen in der gesamten Nährstoffkette. Dies würde die Transparenz, Rückverfolgbarkeit, Qualitätskontrolle und Nachhaltigkeitsbewertung im gesamten Lebensmittelsektor verbessern und ist damit auch für das Engagement des öffentlichen Sektors und die Fakten-gestützte Politikgestaltung von entscheidender Bedeutung. Wie können beispielsweise der Internationale Verhaltenskodex für die nachhaltige Nutzung und Bewirtschaftung von Düngemitteln (22) oder Kriterien für Umwelt, Soziales und Governance (ESG) von Ländern und Industrie umgesetzt werden? Ist ein neuer Standard für die nachhaltige Produktion und Verwendung von Nährstoffen notwendig?

WAS KANN GETAN WERDEN?

Die menschliche Entwicklung, der Bedarf an biologischen Prozessen und die Prinzipien der Massenbilanz machen deutlich, dass Nährstoffmineralien, einschließlich Düngemitteln, auch in Zukunft ein wichtiger Bestandteil der Ernährungssysteme sein werden. Es ist von entscheidender Bedeutung, integrierte und gezielte Strategien und Praktiken für die Pflanzenernährung zu entwickeln, die Kompromisse zwischen Produktivität und Umwelt minimieren - und die in Landwirtschafts- und Geschäftssystemen verschiedener Regionen, Nationen und Orten anwendbar sind. Integration hat in diesem Zusammenhang mehrere Dimensionen: ein Multi-Nährstoff-Nahrungsmittelsystem-Ansatz, eine stärkere Wiederverwertung und Nutzung aller verfügbaren Nährstoffquellen, die Abstimmung mit anderen agronomischen und Stewardship-Praktiken sowie die Einhaltung hoher Nachhaltigkeitsstandards.

Zusammengefasst trägt eine verantwortungsbewusste Pflanzenernährung zu einem naturfreundlicheren Ansatz zur Erzeugung und zum Verbrauch von Lebensmitteln bei. Sie zielt nicht darauf ab, die Natur blind zu kopieren, sondern adaptiert und integriert auf Wissenschaft basierenden Erkenntnissen wichtige agrarökologische Prinzipien (23) auf maßgeschneiderte Weise. Die Umsetzung des neuen Paradigmas umfasst sechs voneinander abhängige Maßnahmen:

Das neue Paradigma der verantwortungsbewussten Pflanzenernährung umfasst ein breites Spektrum an wissenschaftlichem und technischem Know-how, Technologien, agronomischen Praktiken, Geschäftsmodellen und politischen Maßnahmen, die sich direkt oder indirekt auf die Produktion und Nutzung von Mineralstoffen in der Landwirtschaft und im Lebensmittelsektor auswirken. Die verantwortungsbewusste Pflanzenernährung folgt einem Lebensmittelsystem-Ansatz und zielt darauf ab:

- A. Das Einkommen, die Produktivität, Nährstoffeffizienz und Widerstandsfähigkeit der Landwirte und der sie unterstützenden Unternehmen zu verbessern
- B. Die Nährstoffrückgewinnung zu steigern sowie Abfälle und nicht ausreichend genutzte Ressourcen zu recyceln
- C. Die Bodengesundheit zu verbessern und zu erhalten
- D. Die menschliche Ernährung und Gesundheit durch eine ernährungsbewusste Landwirtschaft zu verbessern
- E. Treibhausgasemissionen, die Nährstoffverschmutzung und den Verlust der biologischen Vielfalt zu minimieren

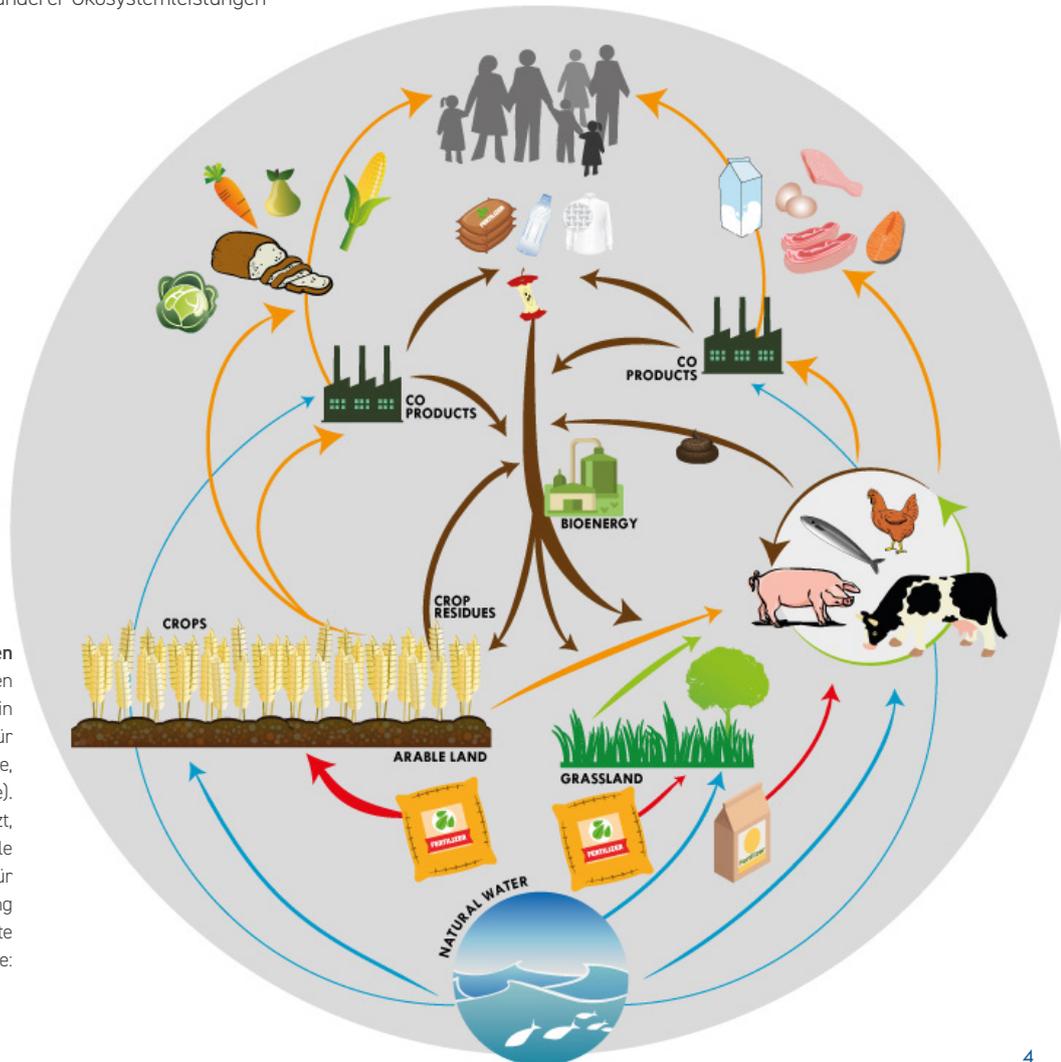
Aktion 1: Auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Nährstoffpolitiken, Pläne, Geschäftsmodelle und Investitionen, die einen Mehrwert für alle Akteure und Nutznießer der Nährstoffkette schaffen. Nährstoffpolitiken und Zukunftspläne müssen auf die spezifischen Lebensmittelsysteme in jedem Land zugeschnitten sein und ehrgeizige Ziele für Nährstoffnutzung, -verluste und -effizienz beinhalten. Spezifische Ziele und Prioritäten für das Nährstoffmanagement werden je nach der Ausgangssituation und den Prioritäten der nachhaltigen Entwicklung eines jeden Landes unterschiedlich sein. Fortschrittliche, wissenschaftlich fundierte Überwachungs-, Verwaltungs- (24) und Zertifizierungssysteme werden die Leistung lenken und Landwirte und Unternehmen für Innovationen, die Verringerung von Nährstoffverlusten, die Verbesserung der Bodengesundheit, die Förderung der biologischen Vielfalt und die Bereitstellung anderer Ökosystemleistungen

belohnen. Differenzierte Strategien führen zu regionalen Verschiebungen im globalen Düngemittelseinsatz, reduzieren Nährstoffüberschüsse und stellen sicher, dass mehr Nährstoffe dorthin gebracht werden, wo sie am meisten fehlen, insbesondere in viele Gebiete Afrikas (25).

Aktion 2: Datengesteuerte, präzisere Ansätze für die Pflanzenernährung. Wissenschaftsbasierte digitale Ansätze und bahnbrechende Technologien werden es ermöglichen, die Nährstoffzugabe präziser auf lokale Bedürfnisse abzustimmen. Sowohl Hightech-Lösungen für die kommerzielle Landwirtschaft als auch «Lowtech»-Ansätze für ein standortspezifisches Nährstoffmanagement haben bei vielen von Kleinbauern in Asien und Afrika angebauten Kulturen beständig und erheblich die Ernterträge und -gewinne sowie die Effizienz der Nährstoffnutzung gesteigert (26, 27). Sie müssen nun durch digital unterstützte Beratungssysteme und Geschäftsösungen auf Millionen von Bauern ausgeweitet werden.

Aktion 3: Zirkuläre wirtschaftliche Ansätze um Nährstoffe zurückzugewinnen und zu recyceln. Integration von Landwirtschaft und Viehzucht, die Reduzierung von Lebensmittelabfällen, die Verwendung von Nebenprodukten und eine verstärkte Nährstoffrückgewinnung und -wiederverwertung sind Schlüsselmaßnahmen um die Nährstoffnutzungseffizienz über die gesamte Lebensmittelkette zu optimieren (Abb. 3). Politische Anreize, neue Technologien und Verhaltensänderungen führen zu einem verstärkten Nährstoffrecycling aus verschiedenen Abfallströmen und leisten damit einen wichtigen Beitrag zu einer kreislaforientierten, biobasierten Wirtschaft. Solche Kreislaufsysteme müssen für Tiere, Menschen und die Umwelt sicher und gesund sein und neue Geschäftsmodelle schaffen, die Nebenprodukte innerhalb des Agrarsektors für das Upcycling von Materialien und der darin enthaltenen Nährstoffe einschließen. Eine bessere Verfolgen der Nährstoffströme über die gesamte Kette, Lebenszyklusanalysen, Benchmarking und Zertifizierung unterstützen die Entwicklung solcher Ansätze. Upcycling von Materialien und der darin enthaltenen Nährstoffe einschließen. Eine bessere Verfolgen der Nährstoffströme über die gesamte Kette, Lebenszyklusanalysen, Benchmarking und Zertifizierung unterstützen die Entwicklung solcher Ansätze.

Abbildung 3. Hauptnährstoffflüsse in zirkulären landwirtschaftlichen Systemen. Rote Pfeile zeigen Düngemittelzufuhren in das System. Ackerland dient in erster Linie zur Herstellung von Nahrungsmitteln für Menschen und als Ergänzungsfuttermittel für Nutztiere, auch aus Pflanzenresten (orangefarbene Pfeile). Hauptsächlich wird Grünland für Nutztiere genutzt, einschließlich Weidehaltung. Nebenprodukte und Abfälle werden der Landwirtschaft wieder zugeführt oder für andere Zwecke genutzt, einschließlich der Herstellung neuer biobasierter Produkte (braune Pfeile). Verluste aus dem Kreislaufsystem werden minimiert. Quelle: Basierend auf (18).



Aktion 4: Ernährungsfokussierte Landwirtschaft - Anbau von Nahrungsmitteln mit höherem Nährwert um bestehende und neue Mineralstoffdefizite zu beheben. Zusammen mit einem holistischen Ernährungsansatz und Lebensmittelinterventionen beugen pflanzliche Ernährungsstrategien der dreifachen Belastung durch Unterernährung, Mikronährstoffmangel, Übergewicht/Adipositas und andere nicht übertragbare Krankheiten vor. Je nach lokalem Kontext kann eine ernährungsfokussierte Pflanzenproduktion eine vielfältigere Fruchtfolge sowie die Biofortifikation von Grundnahrungsmitteln mit Mikronährstoffen durch Züchtung und/oder Düngemittel beinhalten (28). Letzteres beruht auf dem gezielten Einsatz von mikronährstoffhaltigen Düngemitteln die für Nutzpflanzen, Tiere und Menschen wichtig sind. Neben essenziellen Pflanzennährstoffen wie Eisen oder Zink können dies auch Nährstoffe sein, die für Tiere und Menschen besonders wichtig sind, wie zum Beispiel Jod (29) oder Selen (30).

Aktion 5: Energieeffiziente, emissionsarme Düngemittel. Düngemittel werden zunehmend umweltfreundlich hergestellt, basierend auf besserem Verständnis darüber, wie Nährstoffe besser an Pflanzen freigesetzt werden. Durch eine kohlenstoffarme Düngemittelproduktion können die Treibhausgasemissionen vor dem Anbau erheblich gesenkt werden. Es

werden bereits verschiedene neue Technologien erprobt, um «grünes Ammoniak» aus erneuerbaren, kohlenstoffneutralen Energiequellen herzustellen und es auch für die Energiespeicherung und den Transport zu nutzen. Eine neue «Ammoniakwirtschaft» könnte die Welt auf völlig neue, dezentrale Weise ernähren und mit Strom versorgen (31). Innovationen bei der Formulierung von Düngemitteln führen zu umweltfreundlichen Düngemitteln, die die Nährstoffaufnahme durch Pflanzen maximieren und Nährstoffverluste minimieren (32).

Aktion 6: Beschleunigte, offenere Innovationssysteme für eine schnellere Umsetzung neuer Ideen in die Praxis. Künftige Forschungs- und Innovationssysteme beschleunigen die Zusammenarbeit und den Austausch von Wissen, damit neue Ideen rasch entwickelt und realisiert werden können. Dies erfordert mehr Transparenz und Koordination der Akteure des öffentlichen und privaten Sektors. In der Wissenschaft und der Wissenschaftsfinanzierung ist ein massiver Kulturwandel erforderlich, hin zu einem problemorientierten und schlankeren wissenschaftlichen Ansatz, zu transdisziplinärer Zusammenarbeit, Innovationsdenken und einer frühzeitigen Einbeziehung der Nutzer - einschließlich Landwirte.

WER MUSS WAS TUN?

Die verantwortungsbewusste Pflanzenernährung ist eine komplexe und globale Herausforderung, die nur durch konkrete Maßnahmen aller direkt am Nährstoffkreislauf Beteiligten und derjenigen, die ihn beeinflussen, bewältigt werden kann (Abb. 4).

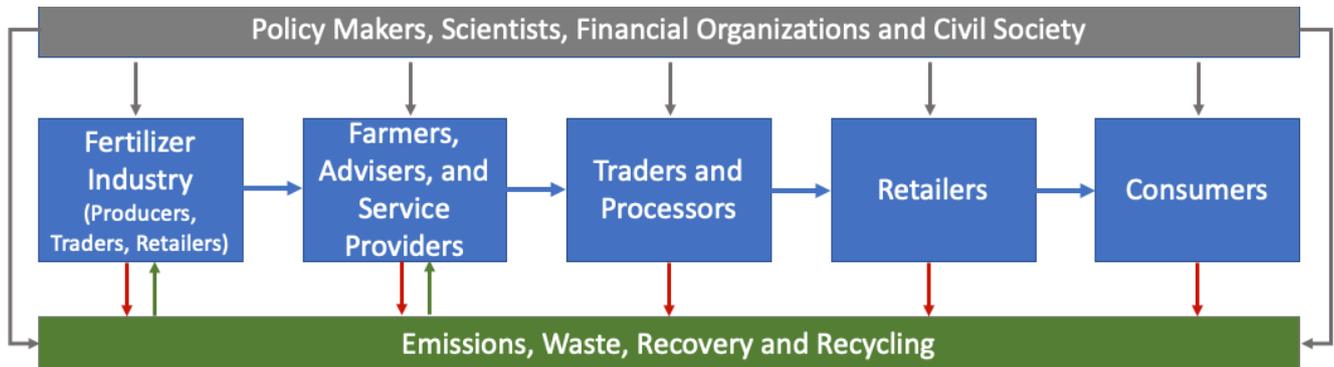


Abbildung 4. Die Agrar- und Lebensmittelkette aus der Perspektive des Nährstoffmanagements. Die blauen Kästchen zeigen die Akteure, die auf verschiedenen Stufen direkt zur Nährstoffnutzung und zu Nährstoffverlusten beitragen. Rote Pfeile zeigen Treibhausgasemissionen, Nährstoffverluste in die Umwelt und Abfälle, die in allen Teilen der Kette auftreten können. Alle Möglichkeiten zur Verringerung von Emissionen und Verlusten müssen genutzt werden, während gleichzeitig die Nährstoffrückgewinnung und der Nährstoffrückfluss in die Landwirtschaft und Industrie erhöht werden müssen (grüne Pfeile). Der graue Kasten zeigt Akteure, die Einfluss auf die Hauptakteure haben, Innovationen vorantreiben oder den gesellschaftlichen Rahmen für Maßnahmen setzen. Quelle: Bearbeitet aus (33).

Politische Entscheidungsträger auf allen Ebenen müssen einen klaren, wissenschaftlich fundierten und harmonisierten Regelungsrahmen für Nährstoffe schaffen, sowie eine dynamische Politik, die Anreize für Innovationen bei Technologien, Verfahren und Geschäftsmodellen bietet. Sie müssen eine klare Vision für nationale oder regionale Strategien mit soliden Zielen für Nährstoffe, Ernährung und Umweltindikatoren aufstellen. Sie können Veränderungen im Lebensmittelkonsum beeinflussen und schrittweise Anreize schaffen um bessere landwirtschaftliche Ansätze einzuführen. Die Politik muss ein angemessenes Gleichgewicht zwischen Nahrungsmittelproduktion und Umweltzielen herstellen. Technische Hilfe und Beratungsdienste müssen angemessen unterstützt werden, um nachhaltige Praktiken zu fördern. Die politischen Entscheidungsträger müssen auch sicherstellen, dass Landwirte auf der ganzen Welt Zugang zum Internet und zu digitalen Diensten haben.

Die globale Düngemittelindustrie hat kürzlich die Notwendigkeit eines auf Nachhaltigkeit und Innovation ausgerichteten Ansatzes für die Pflanzenernährung als zentrale Geschäftsstrategie anerkannt (34). Düngemittelfirmen sollten zunehmend integrierte Lösungen für die Pflanzenernährung anbieten, die auf neuen Geschäftsmodellen beruhen, welche die Menschen und den Planeten unterstützen. Nachhaltigkeit und Innovation, einschließlich transparenter Überwachung und Berichterstattung, treiben die Transformationsstrategie für die gesamte Branche, für jedes verkaufte Produkt und jede Lösung, voran. Das Umsatzwachstum muss in erster Linie durch das Wachstum des Leistungswerts für die Landwirte und die Gesellschaft angetrieben werden, nicht durch die Menge der verkauften Düngemittel.

Landwirte, landwirtschaftliche Berater und Dienstleister tragen die Hauptverantwortung um die Nährstoffnutzungseffizienz zu verbessern, Nährstoffverluste zu verringern, Nährstoffe wiederzuverwerten und die Bodengesundheit auf der Ebene des landwirtschaftlichen Betriebs zu fördern, mit all ihren enormen Auswirkungen. Sie müssen in der Lage sein, neue Kenntnisse, Technologien und Dienstleistungen in vollem Umfang anzupassen und zu übernehmen, und sie müssen für gute Praktiken belohnt werden. Viele Landwirte sind Unternehmer und bereit, Änderungen vorzunehmen, da sie sich ihrer Rolle als Verwalter von Land, Wasser, Klima und biologischer Vielfalt bewusst sind. Doch um diese Änderungen voranzutreiben, müssen Risiken und Hindernisse um die Maßnahmen einzuführen, abgebaut werden.

Lebensmittelhändler, -verarbeiter und -einzelhändler haben enormen Einfluss auf die Nährstoffkreisläufe, indem sie beeinflussen was Verbraucher essen und trinken und wie es produziert wird. Vertikal integrierte, datengesteuerte und transparentere Lieferketten, die nachhaltige Produktionsstandards einhalten und Produktionsverluste reduzieren, werden sich weiter verbreiten, einschließlich einer direkteren Beschaffung bei Landwirten. Diese Entwicklungen bieten zahlreiche Möglichkeiten die ganzheitlichen Ansätze im Nährstoffmanagement umzusetzen. Die Monetarisierung dieser nachhaltigen Produktionspraktiken ist sowohl eine wichtige Herausforderung als auch eine Chance.

Verbraucher werden erhebliche Veränderungen in der Pflanzenernährung herbeiführen, da sie sich gesünder ernähren und immer mehr Wert auf Lebensmittel legen, die nachhaltig produziert werden. Die spezifischen Trends unterscheiden sich je nach Region und Einkommensgruppe. Auf globaler Ebene verändert sich das Ernährungsverhalten relativ langsam. Zum Teil kompensiert der steigende Lebensmittelkonsum aufgrund des Bevölkerungswachstums den Einkommenszuwachs in Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen. Eine unmittelbare Verantwortung der Verbraucher besteht jedoch darin, den übermäßigen Fleischkonsum zu reduzieren, weniger Lebensmittel zu verschwenden und anfallende Abfälle zu recyceln.

Versorgungsunternehmen und Abfallverarbeiter sind eine wichtige und relativ neue Kategorie von Akteuren im Nährstoffkreislauf, wobei ihre Rolle in den kommenden Jahren erheblich zunehmen wird. Vor allem in dicht besiedelten Gebieten bestimmen ihre Bedürfnisse und Maßnahmen zunehmend mit, wie Landwirtschaft und Nährstoffmanagement betrieben werden. Dies erfordert eine engere Zusammenarbeit mit anderen Akteursgruppen und die Entwicklung eines gemeinsamen Verständnisses sowie Standards, die eingehalten werden müssen.

Investoren: Die Investitionen in die Pflanzenernährungsforschung und -innovation müssen massiv erhöht werden, um die komplexen Herausforderungen im Bereich der Pflanzenernährung zu bewältigen. Öffentliche, private und philanthropische Investoren sollten verstärkt in Technologien, Unternehmen und Organisationen investieren, die Schlüsselemente des neuen Paradigmas unterstützen, sowie ein wachsendes Ökosystem von Startup-Unternehmen und anderen Unternehmen schaffen. Der Einsatz von gemischtem öffentlichen und privaten Kapital kann Risiken verringern und mehr private Investitionen mobilisieren.

Wissenschaftler: Wissenschaft und Technik sind die Basis aller Bemühungen um die vielfältigen Ziele des neuen Pflanzenernährungsparadigmas zu erreichen. Allerdings muss sich dafür die gesamte Wissenschaftskultur ändern, hin zu neuen Arbeitsweisen, die innovative Entdeckungen fördern und eine schnellere Umsetzung in die Praxis ermöglichen. Es sollte sich verstärkt auf agronomische Anwendungen, Prüfungen der Nachfrage und Behauptungen des Nutzens sowie eines intensiveren Austauschs von Wissen und Ressourcen, offener Innovationen und Unternehmertum fokussiert werden.

Organisationen der Zivilgesellschaft spielen eine wichtige Rolle für das neue Paradigma, indem sie die Öffentlichkeit informieren, mobilisieren, warnen und beeinflussen und neue Technologien und Praktiken verbreiten. Dies ist eine große Verantwortung, die auf einem evidenzbasierten Ansatz beruhen sollte. Die gemeinsame Entwicklung konkreter Lösungen in Partnerschaft mit der Regierung, der Industrie, der Wissenschaft und den Landwirten sollte die häufig anzutreffende Konzentration auf einzelne Themen oder kontroverse Debatten ersetzen.

WIE WIRD ERFOLG AUSSEHEN?

Verglichen mit der Situation im Jahr 2020 können innerhalb einer Generation bis 2040 folgende konkrete Ergebnisse erzielt werden:

1. Allseits akzeptierte Standards zur Quantifizierung und Überwachung von Nährstoffen entlang der Lebensmittelversorgungskette inspirieren Lösungen zur Verbesserung der Gesamteffizienz der Nährstoffnutzung, Steigerung des Recyclings und Verringerung der Nährstoffverschwendung im gesamten Agrar- und Lebensmittelsystem. Ehrgeizige Ziele, Strategien und Investitionen regen Regierungen, Unternehmen, Landwirte und andere Interessengruppen zu gemeinsamen Maßnahmen an, nachhaltige, integrierte und maßgeschneiderte Ansätze für die Pflanzenernährung zu finden.
 2. Weltweit decken ansteigende Ernteerträge die Nachfrage nach Lebens- und Futtermitteln sowie der Bioindustrie und übertreffen das Wachstum des Mineraldüngerverbrauchs. Gleichzeitig wurden die Ausweitung der Anbauflächen und die Entwaldung gestoppt. In der Pflanzenproduktion ist die globale Stickstoffnutzungseffizienz - der Anteil des Stickstoffs in Ernteprodukten im Verhältnis zur Stickstoffzugabe - auf 70 % gestiegen.
 3. Durch verantwortungsvollen Konsum, vermehrtes Recycling und bessere Bewirtschaftungspraktiken wurde die Nährstoffverschwendung im Lebensmittelsystem halbiert. Die Stickstoff- und Phosphorüberschüsse in Hotspots wurden auf ein unbedenkliches Maß reduziert, welches die Eutrophierung und andere Umweltschäden minimiert.
 4. Die Verarmung der Böden an Nährstoffen und der Kohlenstoffverlust wurden gestoppt. Vorausschauende Politiken und Investitionen haben zu Veränderungen in den landwirtschaftlichen Systemen und Bewirtschaftungspraktiken geführt, die die Bodengesundheit, einschließlich des organischen Materials, verbessern. Regionale Bodennährstoffdefizite wurden erheblich reduziert, insbesondere in Afrika südlich der Sahara, wo sich der Düngemiteinsatz verdreifacht und die Ernteerträge mindestens verdoppelt haben, einschließlich verbesserter Nährstoffträge. Millionen Hektar degradierter landwirtschaftlicher Flächen wurden saniert, unter anderem durch den Einsatz von mineralischen und organischen Düngemitteln und nährstoffhaltigen Abfällen oder Nebenprodukten.
 5. Extreme Formen des chronischen Hungers und der nährstoffbedingten Unterernährung wurden durch integrierte Strategien beseitigt, durch den gezielten Einsatz von mit Mikronährstoffen angereicherten Düngemitteln und mit Nährstoffen angereicherten Pflanzen. Landwirte bauen vermehrt neue Generationen von nährstoffreicheren Getreidesorten und anderen Grundnahrungsmitteln an, was auf die Nachfrage der Verbraucher und des Marktes zurückzuführen ist. Politiker und Entscheidungsträger unterstützen Mineraldüngerstrategien um spezifische menschliche Ernährungsbedürfnisse abzudecken, wenn Märkte nicht die erforderlichen Anreize bieten.
 6. Die Düngemittelindustrie verfolgt strenge und transparente Nachhaltigkeitsstandards im gesamten Lebenszyklus ihrer Produkte und Geschäftstätigkeiten. Treibhausgasemissionen aus der Düngemittelproduktion und -verwendung wurden durch erhöhte Energieeffizienz, Kohlenstoffabscheidung und -speicherung sowie anderen neuartigen Technologien und Produkten um mindestens 30% reduziert. Mindestens 10 % des weltweiten Stickstoffs in Düngemitteln wird aus grünem Ammoniak mit sehr geringen oder gar keinen Kohlenstoffemissionen hergestellt.
 7. Investitionen des öffentlichen und privaten Sektors in Forschung und Entwicklung im Bereich der Pflanzenernährung haben sich verdreifacht. Viele Unternehmen geben 5 % oder mehr ihrer Bruttoeinnahmen für Forschung und Entwicklung aus. Durch kooperative und offene Innovationsansätze können wissenschaftliche Entdeckungen schnell in praktische Ansätze und Strategien umgesetzt werden. Innovative, wertorientierte Geschäftsmodelle treiben das Wachstum in der gesamten Branche voran.
 8. Verbraucher schätzen die Vorteile von Pflanzennährstoffen, einschließlich Mineraldüngern als primäre Nährstoffquelle. Ein Nährstoff-Fußabdruck-Standard mit hohem Wiedererkennungswert informiert Verbraucher bei ihren Entscheidungen. Informationen über die Verbesserung der Bodengesundheit und Nährstoffbilanzen sind allseits verfügbar, und ihr Einfluss auf die Abschwächung von Luft-, Wasser- und Klimaproblemen ist allgemein anerkannt.
 9. Landwirte auf der ganzen Welt haben Zugang zu erschwinglichen, vielfältigen und geeigneten Praktiken zur Pflanzenernährung. Sie werden dafür belohnt, dass sie ein besseres Nährstoffmanagement und verantwortungsbewusste Praktiken anwenden, die ihren Wohlstand steigern und es ihnen ermöglichen, Armut zu überwinden. Auf maßgeschneiderte Pflanzenernährungsprodukte und -ansätze entfallen mindestens 30 % des weltweiten Marktwerts für Pflanzenernährung.
- Bislang ist es uns nicht gelungen, die oben genannten Ziele zu erreichen, obwohl es seit Jahrzehnten zahlreiche wissenschaftliche und technische Lösungen gibt. Um sie jetzt, innerhalb einer Generation, zu erreichen, bedarf es gemeinsamer Anstrengungen aller Beteiligten, von der Düngemittelindustrie bis hin zu Landwirten und Verbrauchern. Um den Übergang zu einem neuen Paradigma für die Pflanzenernährung zu erleichtern, ist schnelles Handeln - auf der Grundlage eines langfristigen Nachhaltigkeitsdenkens - erforderlich.

LITERATUR

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 high-yield 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. H. 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. M. 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-nutrient-world-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/srcccl/>).
21. R. 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. X. 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. I. 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. G. 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. K. 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. J. 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).

AUTHOREN, ZITIERUNG, KONTAKT

Autoren: Alle Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats für Verantwortliche Pflanzenernährung

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)

Zitierung: Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition. 2020. A new paradigm for plant nutrition. Issue Brief 01. Available at www.sprpn.org

Kontakt:

Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition, c/o IFA, 49, avenue d'Iéna, 75116 Paris, France; info@sprpn.org