SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Issue Brief 02 – August 2021

Naturverträgliche Pflanzenernährung erreichen: Düngemittel und biologische Vielfalt

vom Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition

SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Inhalt

3 Die wichtigsten Punkte

5 Was ist das Problem?

7 Wie sich das Nährstoffmanagement auf die biologische Vielfalt auswirkt

12 Wie beeinflusst dies wichtige Ökosystemleistungen?

16 Was kann getan werden?

25 Wer muss was tun?

27 Wie würde Erfolg aussehen?

29 Referenzen

31 Autoren, Zitate und Kontakt

SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Die wichtigsten Punkte

Die mineralische Ernährung von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und Weiden wirkt sich stark auf die Ernährung und biologische Vielfalt aus, welche für das menschliche Wohlergehen von wesentlicher Bedeutung sind.

Ein übermäßiger Einsatz von Nährstoffen, insbesondere von Stickstoff und Phosphor, hat zahlreiche negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt in landwirtschaftlichen Systemen und darüber hinaus. Aber auch die Zugabe von zu wenig Nährstoffen kann sich negativ auf unsere natürlichen Systeme auswirken. Dadurch kann zusätzlicher Druck entstehen, natürliche Ökosysteme in landwirtschaftliche Flächen umzuwandeln, um die Nahrungsmittelproduktion zu sichern. Eine optimale Anpassung der Nährstoffzugabe im Hinblick auf Biodiversität, Landwirtschaft, Ernährung und andere Ergebnisse muss auf kontextspezifischen Zielen und Lösungen beruhen, die die biologische Vielfalt vom landwirtschaftlichen Betrieb über die Landschaft bis hin zur globalen Ebene fördern.

Die biologische Vielfalt erbringt wichtige und oftmals unersetzliche Ökosystemleistungen für die Landwirtschaft, sowie für die Gesellschaft im weiteren Sinne und die Natur. Die Beziehungen zwischen Nahrungsmitteln, biologischer Vielfalt und Nährstoffen sind komplex, mit vielen Kompromissen, die es zu bewältigen, und Synergien, die es zu nutzen gilt. Düngemittel und andere landwirtschaftliche Praktiken beeinflussen in vielerlei Hinsicht die biologische Vielfalt, von Bodenbakterien bis hin zu weitreichenden Auswirkungen des vom Menschen verursachten Klimawandels auf die Umwelt (Abbildung 1).

Die meisten Studien befassen sich mit den negativen Auswirkungen von übermäßigen oder unangemessenen Düngemitteleinsatz auf die biologische Vielfalt und andere Umweltaspekte. Dies schließt die Auswirkungen auf die biologische Vielfalt durch Bodenveränderungen, externe Verschmutzung oder gasförmige Emissionen ein. Während über die negativen Folgen des Stickstoff- oder Phosphoreinsatzes in der Landwirtschaft viel geforscht wird, ist über die positiven Auswirkungen auf die biologische Vielfalt oder die Rolle anderer Nährstoffe, einschließlich Kalium und anderer Mikronährstoffe, weniger bekannt. Nährstoffe haben die landwirtschaftlichen Erträge in vielen Teilen der Welt erhöht und die Notwendigkeit verringert, natürliche Ökosysteme für die Nahrungsmittelproduktion umzuwandeln. Indem sie die Ausdehnung der Landwirtschaft verhindern, können Düngemittel - wenn sie richtig eingesetzt werden – sich somit auch positiv auf die biologische Vielfalt auswirken. Da es notwendig ist, die weltweite Nahrungsmittelproduktion auf den vorhandenen landwirtschaftlichen Flächen zu steigern, wird dieser Wirkungspfad in den kommenden Jahrzehnten von besonderer Bedeutung sein.

Während allgemein eine Verringerung der Nährstoffzugabe gefordert wird, sind in Wirklichkeit kontextspezifische Lösungen für die integrierte und effiziente Nutzung von Nährstoffen in der Landwirtschaft erforderlich, die mehrere Ziele, einschließlich der biologischen Vielfalt, optimieren. Es gibt bereits hervorragende Ansätze, die biologische Vielfalt in die Praktiken des Nährstoffmanagements einzubeziehen. Um sie zu nutzen, bedarf es allerdings einer stärkeren Zusammenarbeit zwischen den Interessengruppen der Landwirtschaft und denen der biologischen Vielfalt.

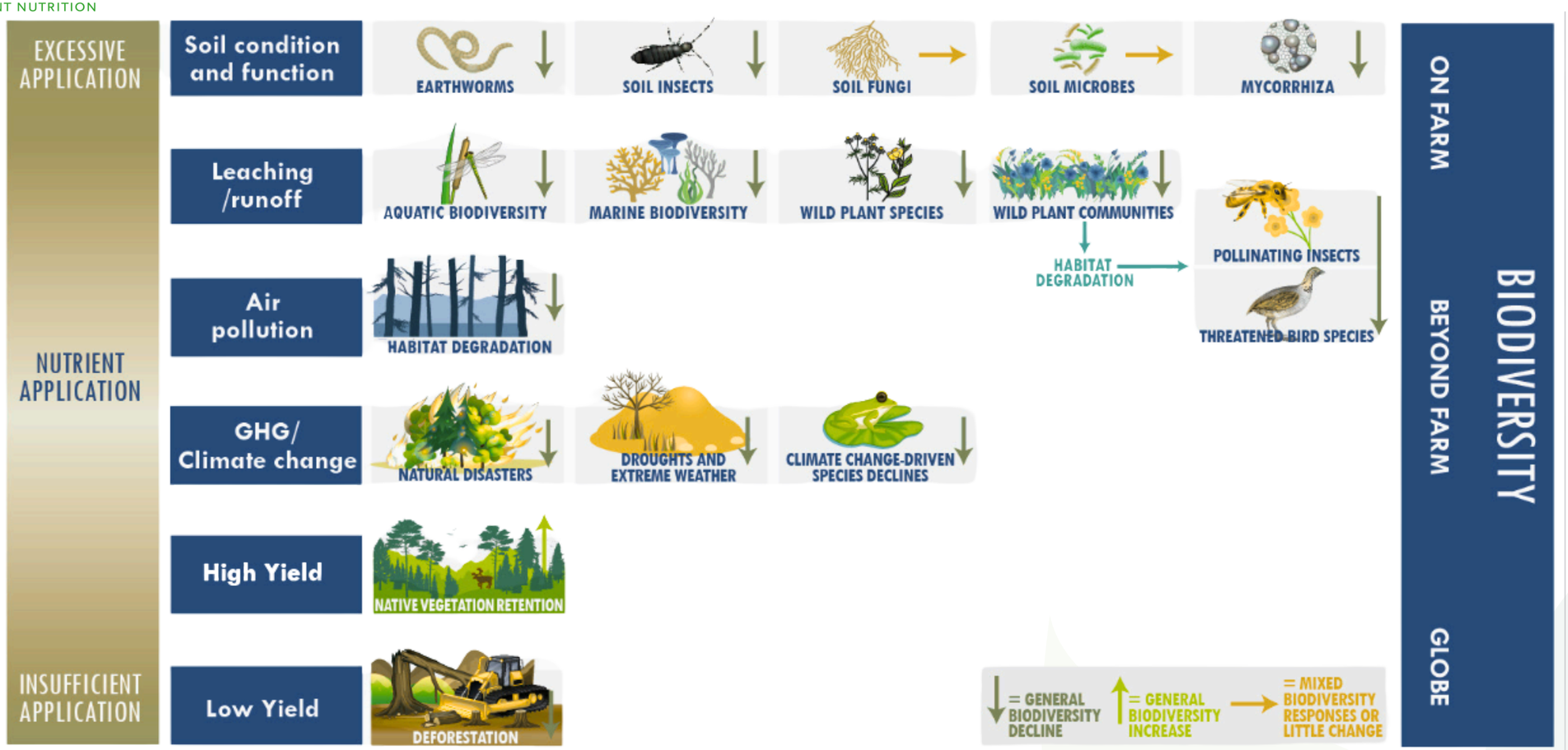


Abbildung 1. Allgemeine Reaktionen der biologischen Vielfalt auf die Nährstoffzugabe in der Landwirtschaft. Die Skala der Auswirkungen reicht vom Feld bis zum Planeten. Die Reaktionen auf die biologische Vielfalt können direkt (z. B. Auswirkungen auf die Pflanzenvielfalt) oder indirekt sein (z. B. führt der Rückgang der Pflanzenvielfalt zu einer Verschlechterung des Lebensraums und folglich zu einer geringeren Vielfalt an Insekten und Vögeln). Die Reaktionen können positiv für die biologische Vielfalt sein (grüne Pfeile), negativ für die biologische Vielfalt (rote Pfeile) oder neutral/gemischt (gelbe Pfeile).

SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Was ist das Problem?

In diesem Brief geht es darum, wie sich das Nährstoffmanagement in der Landwirtschaft auf die biologische Vielfalt auswirkt.

Dabei wird anerkannt, dass dies mit zahlreichen anderen Dimensionen der landwirtschaftlichen Entwicklung verknüpft ist, die sich auf die biologische Vielfalt auswirken (z. B. Landrodung, Abbrennen, Bodenbearbeitung, Bodenverdichtung, Erosion, Bewässerung, Agrarchemikalien, Monokulturen).

Der rasche weltweite Verlust der biologischen Vielfalt und der Ökosystemleistungen ist eine der dringendsten Herausforderungen unserer Zeit (1). Die Geschwindigkeit und das Ausmaß des Verlustes der biologischen Vielfalt lässt viele Experten davon ausgehen, dass wir uns mitten in einem sechsten Massenaussterben befinden (2). Die Ursachen dafür sind vielfältig: Verlust von Lebensräumen, Überernte, Klimawandel, invasive Arten und Verschmutzung von Böden, Wasser und Luft. Die Landwirtschaft und die Lebensmittelsysteme sind die Hauptursache für den Verlust der biologischen Vielfalt (3) und treiben viele andere Umweltauswirkungen voran (4). Die Landwirtschaft wirkt sich vielfältig auf die biologische Vielfalt aus, u. a. durch die Umwandlung natürlicher Ökosysteme in Produktionssysteme, durch die Folgen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung innerhalb und außerhalb des Betriebsgeländes sowie durch großflächige Umweltverschmutzung und Beiträge zum Klimawandel (5). Seit 1985 ist es zu einer erheblichen Umwandlung von natürlichem Buschland und Wald in Produktionsgrasland und Ackerland gekommen (Abbildung 2), wobei ein Großteil der Umwandlung in sehr artenreichen tropischen Regionen erfolgte (6). Dennoch können einige landwirtschaftliche Systeme auch eine sehr hohe biologische Vielfalt aufweisen und sogar Lebensraum für Arten bieten, die unter Naturschutz stehen (7). Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die landwirtschaftlichen Systeme vielfältig sind, große, zusammenhängende Lebensraumelemente enthalten und Arten auf "traditionellere" landwirtschaftliche Verfahren angewiesen sind (8).

Biologische Vielfalt ist nicht nur "nice to have" - ihr Verlust hat ernste Folgen für Mensch und Natur. Da die biologische Vielfalt die treibende Kraft vieler lebenswichtiger ökologischer Prozesse und planetarischer Lebenserhaltungssysteme ist, wird unser eigenes Überleben auch immer mehr von ihr abhängig (9).

Die Nachfrage nach Nahrungsmitteln ist weltweit gestiegen, sodass enorme Anstrengungen unternommen wurden um landwirtschaftliche Erträge zu steigern. Dies war bisher durch moderne Technologien und Bewirtschaftungsmaßnahmen möglich, die häufig unter dem Begriff "Intensivierung der Landwirtschaft" zusammengefasst werden. Im Mittelpunkt steht dabei auch die verstärkte Zugabe von Nährstoffen in der Pflanzenproduktion, vor allem durch Mineraldünger, aber auch durch organische Düngemittel wie Viehdung, Kompost, Klärschlamm, Leguminosen in Fruchtfolgen oder Baumkulturen. Seit 1985 hat sich die weltweite landwirtschaftliche Produktion verdoppelt, was zu einem beträchtlichen

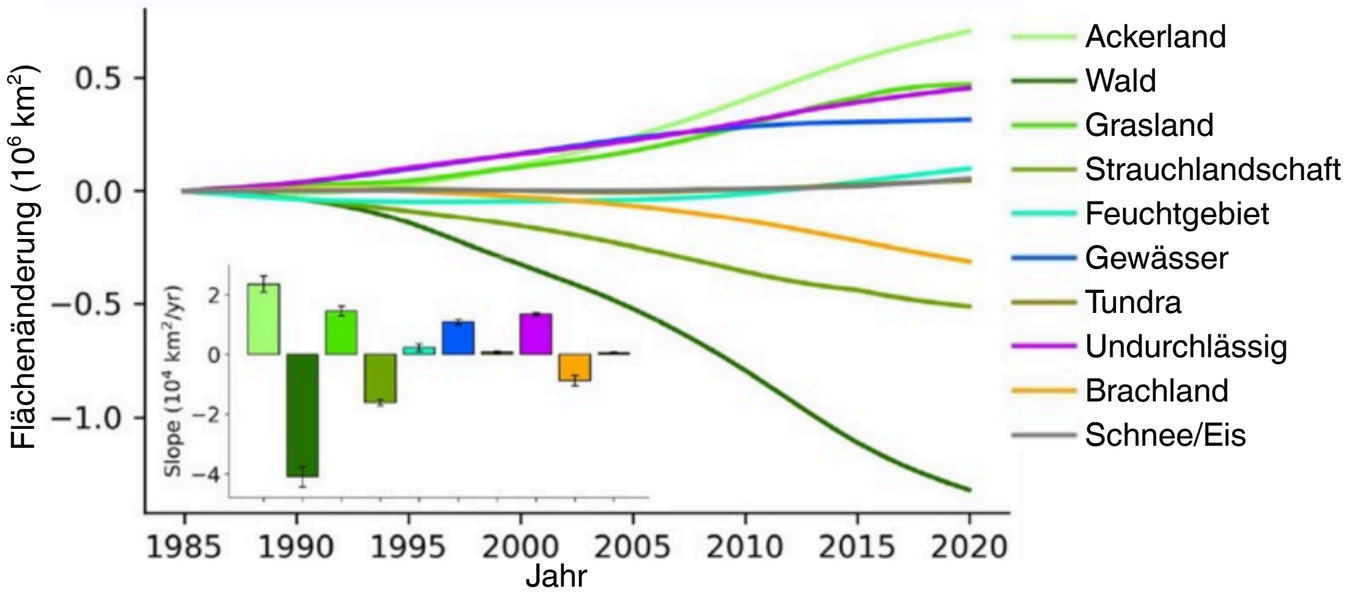


Abbildung 2. Globale Veränderungen der wichtigsten Landnutzungskategorien seit 1985 (6). Trends gehen mit der Zunahme von Acker- und Grasland und Abnahme von Wald und Buschland einher.

Anstieg des weltweiten Düngemittelverbrauchs geführt hat, von etwa 130 Mio. t von $N+P_2O_5+K_2O$ im Jahr 1985 auf derzeit 190 Mio. t. Allein der jährliche Stickstoffverbrauch stieg von 70 Mio. t auf 105 Mio. t.

Während der starke Anstieg der Nahrungsmittelproduktion die Ernährungssicherheit für Milliarden von Menschen weltweit gewährleistet hat, führte der Düngemitteleinsatz in der Landwirtschaft auch zu erheblichen Verlusten an biologischer Vielfalt (10, 11) und anderen negativen Umweltauswirkungen (12). Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Zunahme der Nährstoffzugabe bisher nicht überall auf der Welt gleichermaßen zu verzeichnen ist. In einigen Regionen bestehen erhebliche Produktivitätsunterschiede, die als "Ertragslücken" bezeichnet werden, d. h. die Differenzen zwischen den potenziellen und erzielten Ernteerträgen. Um beispielsweise die Ernährungssicherheit in den afrikanischen Ländern südlich der Sahara zu erreichen, muss die Nährstoffzugabe in den nächsten 30 Jahren um das 9- bis 15-fache erhöht werden (13), was sich möglicherweise negativ auf die biologische Vielfalt auswirkt und zu erheblichen Anstiegen der Treibhausgasemissionen führen kann (14).

Der Fokus liegt oft auf den Verlusten der biologischer Vielfalt aufgrund von Nährstoffüberschüssen. Dennoch hat die erhöhte Nährstoffzugabe zusammen mit genetischen oder agronomischen Verbesserungen sowohl zur Produktivitätssteigerung als auch zur Verschonung natürlicher Flächen vor der Umwandlung in Produktionsflächen beigetragen (15). Ein verantwortungsvoller Umgang mit Nährstoffen kann auch zusätzliche Vorteile haben, wie z. B. die Erhöhung der organischen Substanz oder der Fruchtbarkeit des Bodens. Auf globaler Ebene wurden die genauen Beiträge der landwirtschaftlichen Düngemittelzugabe zur Schonung der Böden bzw. die positiven und negativen Auswirkungen auf die Bodengesundheit noch nicht vollständig quantifiziert. Außerdem können wir uns nicht allein auf die Schließung von Ertragslücken verlassen, um (i) die Landumwandlung und den damit verbundenen Verlust an biologischer Vielfalt zu verringern und (ii) Land für die ökologische Wiederherstellung und/oder die Kohlenstoffbindung freizugeben. Jede globale Initiative zur Optimierung des Nährstoffmanagements im Hinblick auf die biologische Vielfalt und andere natürliche Ressourcen muss mit einer verbesserten Landnutzungsplanung, Gesetzen zur Rodung einheimischer Vegetation und deren Durchsetzung sowie mit Anreizen zur Erhaltung natürlicher Ökosysteme einhergehen (16).

SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Wie sich das Nährstoffmanagement auf die biologische Vielfalt auswirkt

Die Reaktionen der biologischen Vielfalt auf das Nährstoffmanagement variieren nach (i) Größenordnung (z. B. Feld, Landschaft), (ii) Typ der beteiligten Arten, (iii) Art und Zusammensetzung des zugegebenen Düngers (z. B. anorganisch, organisch, Nährstoffzusammensetzung), (iv) Landnutzung und Landschaftskontext (z. B. Monokultur, Landnutzungsmosaik) und dem (v) sozioökonomischem Kontext, welcher Märkte, Politik und Reaktionen der Landbesitzer auf Produktivitätsänderungen beeinflusst.

Die Zugabe von Nährstoffen in der Landwirtschaft wirkt sich über zahlreiche Wege auf die biologische Vielfalt aus. Dies beinhaltet die Nähe des Anwendungsbereiches in nachgelagerten Ökosystemen und sogar auf einer viel größeren Ebene in der Landschaft und darüber hinaus. Basierend auf einer umfassenden Durchsicht der Literatur teilen wir die Wechselwirkungen zwischen Nährstoffmanagement und biologischer Vielfalt in vier große Belastungs- und Reaktionskategorien ein (Abbildung 3).

A. Überschüssige Nährstoffe: Auswirkungen vom Feld bis zum landwirtschaftlichen Betrieb. Reaktionen auf die biologische Vielfalt auf dieser Ebene betreffen meist Arten, die nicht gut an landwirtschaftliche Systeme und deren spezifische Bewirtschaftungsmethoden angepasst sind oder diese tolerieren. Anorganische Düngemitteln wirken sich hauptsächlich auf die biologische Vielfalt des Bodens aus. Aber es ist offensichtlich, dass verschiedene Elemente der biologischen Vielfalt oft unterschiedlich reagieren. Eine erhöhte Nährstoffzugabe kann auch zu einer Verringerung der Pflanzenvielfalt führen (17). Durch die Erhöhung des Nährstoffgehalts (z. B. Stickstoff) in einem System kann es zu verschiedenen Auswirkungen kommen, darunter: (i) direkte Toxizität an den Anwendungsstellen durch einen erhöhten Gehalt an Stickstoffverbindungen; (ii) Akkumulation von Stickstoff- oder Phosphorverbindungen, die zu Veränderungen in der Artenzusammensetzung und -vielfalt führen, wobei N- oder P-tolerante Arten begünstigt oder an nährstoffarme Systeme angepasste Arten benachteiligt werden; oder (iii) andere Bodenveränderungen (z. B. Zunahme oder Abnahme der organischen Bodensubstanz, Versauerung oder Kontamination).

B. Überschüssige Nährstoffe: Auswirkungen außerhalb des landwirtschaftlichen Betriebs und in der Landschaft. Nichtlandwirtschaftliche Ökosysteme in oder in der Nähe von Agrarlandschaften sind anfällig für externe Bedrohungen wie Versickerung und Abfließen von Agrochemikalien (18). Dies kann dort geschehen, wo intensiv bewirtschaftete Produktionssysteme mit hohem externem Eintrag an natürliche Ökosysteme angrenzen. Zu den Reaktionen, die mit der Abdrift von Düngemitteln in angrenzende natürliche Ökosysteme verbunden sind, gehören die verstärkte Invasion exotischer Pflanzen, die Verringerung der Pflanzenvielfalt, die Verringerung der Artenvielfalt der Fauna, die in hohem Maße von einheimischen Pflanzenarten abhängt, und die Verschmutzung des Grundwassers. Ein zweiter und bedeutenderer Einfluß ist die Nährstoffenanreicherung in Gewässern, welche Süßwasserökosysteme und deren Artenvielfalt bedrohen. Dies geschieht häufig durch Eutrophierung, die zu übermäßigem Algenwachstum und damit zu negativen Auswirkungen auf Fische, Amphibien und Wirbellose führt (19, 20). Die diffuse Nährstoffverschmutzung kann sich über beträchtliche Entfernungen auf Küstensysteme und Meeresgewässer, wie Korallenriffe, auswirken. Ein Beispiel für landwirtschaftliche Verschmutzung vom Land aus, die ein Gebiet von globalem ökologischen Wert beeinträchtigt, ist das Great Barrier Reef (21). Eine Reihe industrieller und landwirtschaftlicher Schadstoffe wirkt sich auf die Riffgesundheit aus, wobei Düngemitteleinsatz in der Landwirtschaft eine wichtige Rolle spielt (22).

C. Überschüssige Nährstoffe und Verschmutzung: Auswirkungen auf das landschaftliche und globale Niveau. Eine der größten und wachsenden Bedrohungen für die Biodiversität weltweit ist der Klimawandel, wobei das globale Ernährungssystem für 34% der anthropogenen Treibhausgasemissionen verantwortlich ist (23). Während Landnutzungausbreitungen und in der Viehzucht produziertes Methan den Großteil dieser Emissionen ausmachen, spielen auch Treibhausgasemissionen aus der Düngemittelproduktion und der Ausbringung von Düngemitteln und Gülle auf Feldern eine wichtige Rolle. Die Verluste gasförmiger Stickstoffformen durch die Anwendung von anorganischen und organischen Düngemitteln tragen auch zur Luftverschmutzung bei 24), sowie zur

SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

D. UNZUREICHENDE NÄHRSTOFFE
Auswirkungen auf die biologische Vielfalt durch die Ausweitung der Landwirtschaft

- Zunehmende Umwandlung natürlicher Ökosysteme aufgrund geringer Ernteerträge
- Massiver Verlust an biologischer Vielfalt auf lokaler bis globaler Ebene durch unkontrollierte Zerstörung von Lebensräumen, Vereinfachung usw.
- Zunehmende Bodendegradation
- Zunehmende Erosion und Verschlammung von Wasserwegen und Meeresökosystemen
- Zunehmende Konflikte zwischen Mensch und Tier

A. NÄHRSTOFFÜBERSCHUSS
Auswirkungen auf die biologische Vielfalt zwischen Feld und Betrieb

- Veränderung der organischen Bodensubstanz, Senkung des pH-Werts
- Verringerte Bodenfauna, gemischte Reaktionen von Mikroben und Bodenpilzen, weniger arbuskuläre Mykorrhizapilze
- Geringere Agrobiodiversität/lokale Pflanzenvielfalt
- Negative Auswirkungen auf andere Artenvielfalt durch Verschlechterung des Lebensraums
- Viele negative Auswirkungen auf lokale Ökosystemdienstleistungen

ÜBERMÄSSIGE ODER UNZUREICHENDE NÄHRSTOFFAUSBRINGUNG

C. NÄHRSTOFFÜBERSCHUSS
Verschmutzung auf lokaler und globaler Ebene

- Gasförmige Nährstoffverluste aus Böden, Düngemitteln und Dung (NH_3, N_2O, NO_x)
- Treibhausgasemissionen, die zum Klimawandel und Ozonabbau beitragen (CO_2, N_2O, CH_4)
- Luftverschmutzung (z. B. NH_3, NO_x, Ozon, Feinstaub, saurer Regen)

B. NÄHRSTOFFÜBERSCHUSS
Auswirkungen auf die biologische Vielfalt vor Ort und in der Landschaft

- Natürliche Verluste durch Auswaschung, Abfluss, Erosion, Abfall
- Eutrophierung angrenzender Wasserläufe und des Grundwassers sowie Anreicherung und Verschmutzung von Meeressystemen
- Abfluss und Abdrift von Spritzmitteln in die angrenzende Vegetation, was zu einem Verlust an biologischer Vielfalt führt
- Zunehmende oder abnehmende Umwandlung natürlicher Ökosysteme in Produktionssysteme (abhängig vom sozioökonomischen Kontext)

Abbildung 3. Allgemeine Reaktionen der Umwelt, biologischen Vielfalt und Landumwandlung auf übermäßige (A-C) und unzureichende (D) Nährstoffanwendungen in der Landwirtschaft.

atmosphärischen Anreicherung von Stickstoff (25), zum Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre und zum Aufbau von Ozon in der Troposphäre (26). Diese Prozesse wirken sich alle sowohl global als auch lokal negativ auf die biologische Vielfalt aus.

D. Unzureichende Nährstoffe: Lokale bis globale Folgen. Eine unzureichende Nährstoffzufuhr führt zu einer Nährstoffarmut der Böden und verringert die Möglichkeit, höhere Ernteerträge zu erzielen, was wiederum zur Ausweitung der Anbauflächen führen kann. Aufgrund der Notwendigkeit, die Nahrungsmittelproduktion zu steigern, ging die Ausdehnung der Landwirtschaft häufig auf Kosten der natürlichen Ökosysteme. Diese führte zu massiven und oft irreversiblen Verlusten an biologischer Vielfalt und anderen Umweltfolgen, was zu einem populären, aber immer noch umstrittenen Erhaltungsparadigma geführt hat. Demzufolge können geschlossene Ertragslücken durch nachhaltige landwirtschaft-liche Intensivierung die Notwendigkeit der Umwandlung von Flächen verringern (27). Die Grundannahme einer solchen "Flächenverschonung" ist, dass durch Ertragssteigerung auf bestehenden landwirtschaftlichen Flächen Raum für die Erhaltung der biologischen Vielfalt frei wird. Umgekehrt kann es allerdings auch zu einem "Rebound-Effekt" kommen, bei dem höhere Erträge, Effizienzsteigerungen und Gewinne mehr kommerzielle Erzeuger für ein bestimmtes Produkt anlocken und so das Risiko einer Flächenumwandlung erhöhen (28).

Es gibt noch weitere Prozesse, die in Abbildung 3 nicht vollständig erfasst sind, die sich aber ebenfalls auf verschiedene Weise auf die biologische Vielfalt auswirken können. Beispielsweise können große Mengen an Nährstoffen lokal (z. B. durch die Verlagerung von organischem Material) oder überregional (z. B. durch den Handel mit landwirtschaftlichen Erzeugnissen) übertragen werden, was zu unterschiedlichen Reaktionen der biologischen Vielfalt aufgrund von Nährstoffüberschüssen oder -defiziten führt.

Es besteht die weit verbreitete Auffassung, dass sich übermäßiges Düngen negativ auf die biologische Vielfalt auswirkt. Im Großen und Ganzen unterstützt die Wissenschaft diese Sichtweise, wobei in der Literatur Berichte dominieren, die sich auf negative Folgen einiger weniger Elemente (z. B. Stickstoff, Phosphor, Schwefel) konzentrieren. Bisher sind insgesamt nur wenige direkte und indirekte Auswirkungen von anderen Nährstoffen auf die biologische Vielfalt bekannt. Eine ausgewogenere Sichtweise ist, dass die biologische Vielfalt auf den zugegebenen Nährstoff, die Anwendungsrate, das Anbausystem, das Klima und andere Elemente reagiert. Zum Beispiel:

Eine Untersuchung der Auswirkungen von Stickstoffdüngerzugabe auf die biologische Vielfalt im Boden ergab sehr unterschiedliche Reaktionen von verschie-denen Organismengruppen (10). So stieg beispielsweise die Vielfalt von Bakterien um 3% und die von Pilzen um 13% in Systemen, die Stickstoff-dünger erhielten. Auch die funktionelle Vielfalt der Mikroben war durchweg größer, wenn Stickstoffdünger hinzugegeben wurde. Bei den arbuskulären Mykorrhizapilzen hingegen nahm die Vielfalt in allen Studien um 10% ab, wobei der Rückgang umso größer war, je mehr anorganische Düngemittel hinzugegeben wurden. Ähnliche Rückgänge wurden bei der Bodenfauna (z. B. Regenwürmer, Käfer, Springschwänze) beobachtet, allerdings nur bei anorganischen und nicht bei organischen Düngemitteln (z. B. Gülle).

Die Reaktionen der Pflanzen auf Landnutzung und Nährstoffmanagement deuten häufig auf einen negativen Einfluss von Düngemitteln auf die Pflanzenvielfalt hin (17). Dies ist jedoch je nach Nährstoff unterschiedlich, und es gibt auch viele Ausnahmen. Die Zugabe von Stickstoff zu nährstoffarmem, botanisch reichem Grünland, z. B. durch Düngemittel oder atmosphärische Deposition, hat einen erheblichen negativen Einfluss auf das Artenreichtum, aber dieser Effekt kann auch reversibel sein (30). Auf der anderen Seite können stark verarmte Grünlandflächen aufgrund eines Mangels an Nährstoffen wie Phosphor eine geringe Pflanzenvielfalt aufweisen, die mit der Anreicherung von Phosphor im Boden auf ein optimaleres Niveau rasch ansteigt (31).

Eine Meta-Analyse von 1679 Fällen aus 207 Studien kam zu dem Schluss, dass die Zugabe von Stickstoff und Phosphor die Abundanz von Wirbellosen in terrestrischen und aquatischen Ökosystemen verringert. Dabei hatte die kombinierte Zugabe von Stickstoff und Phosphor stärkere Auswirkungen auf die Abundanz tropischer als gemäßigter Wirbelloser (29). Nährstoffanwendungen hatten jedoch schwächere oder nicht schlüssige Auswirkungen auf die Biomasse und den Reichtum wirbelloser Tiere.

In vielen Regionen beeinflussen die Intensivierung der Landwirtschaft viele Vogelarten insgesamt negativ. Anorganische Düngemittel wirken sich zwar nicht direkt auf die auf Ackerland spezialisierten Vogelarten aus (32), können aber indirekt zu deren Rückgang beitragen. Oftmals verschlechtert sich ihr Lebensraum während die Anzahl Wirbelloser, von denen sich Vögel ernähren, abnehmen (Abbildung 1).

SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Wie beeinflusst dies wichtige Ökosystemleistungen?

Die biologische Vielfalt ist die Grundlage vieler ökologischer Funktionen (33), d.h. Ökosystemleistungen die die Menschheit von der Natur erhält. Die Beziehung zwischen biologischer Vielfalt und Ökosystemleistungen kann komplex sein. Es gibt viele Fälle, in denen eine größere Vielfalt zu einer Steigerung der Erzeugung und Bereitstellung von Ökosystemleistungen führt.

Grünlandstreifen oder blühende Pflanzen in Ackerbausystemen erhöhen beispielsweise die Zahl der Bestäuber und Vögel und verbessern den Wasserabfluss, sowie Boden- und Nährstoffrückhalt (34). Manchmal führt eine höhere Artenzahl allerdings nicht zwangsläufig zu vermehrten biologischen Funktionen. In einigen Bodengemeinschaften beispielsweise kann die Zusammensetzung der Arten für die Leistungen wichtiger sein als deren Anzahl (35).

Von der biologischen Vielfalt abhängige Ökosystemleistungen sind besonders in landwirtschaftlichen Systemen verbreitet. Hier dienen sie unter anderem der Bestäubung, der Schädlings- und Krankheitsbekämpfung, der Bodenbelüftung, dem Hochwasserschutz und dem Nährstoffkreislauf. Dies ist vor allem für Millionen armer Landwirte in Entwicklungsländern von Bedeutung, wo viele stark von Ökosystemleistungen abhängig sind (36).

Die wichtigsten von Ökosystemen erbrachten Leistungen hängen von verschiedenen räumlichen Ebenen ab. Auf der Ebene des Feldes bis zum Bauernhof ist die wichtigste Leistung die Nahrungsmittelproduktion, zusammen mit der Schädlingsbekämpfung und Bodenerhaltung. Auf der Ebene außerhalb des landwirtschaftlichen Betriebs umfassen die Leistungen Lebensraum für wild lebende Arten, Luft- und Wasserqualität und Bestäubung. Auf der größten Ebene beinhalten die Leistungen die Regulierung (oder Destabilisierung) des Klimas. Der Rückgang der biologischen Vielfalt hat negative Auswirkungen auf Ökosystemleistungen, die für das menschliche Wohlergehen von entscheidender Bedeutung sind. Daher kommt der Entwicklung und dem Einsatz geeigneter politischer Maßnahmen und Interventionen zum Lösen dieser Probleme größte Bedeutung zu (37).

Wie werden diese Fragen gegenwärtig angegangen?

Die Auswirkungen des Nährstoffmanagements auf die biologische Vielfalt sollte in einem holistischen und strategischen Kontext anerkannt werden um den Verlust der biologischen Vielfalt durch das gesamte Lebensmittelsystem vorzubeugen. Die Optimierung der Nährstoffanwendungen ist hierbei von entscheidender Bedeutung. Dennoch ist sie nur eine Teilantwort auf die Frage wie die Auswirkungen der Lebensmittelproduktion auf die biologische Vielfalt eingedämmt werden können.

Diese Fragen kommen in sehr hochrangigen globalen Verpflichtungen wie den UN-Zielen für nachhaltige Entwicklung (SDGs) zum Ausdruck. Der Zusammenhang zwischen Ernährung und biologischer Vielfalt wird oft als Konflikt zwischen SDG 2 ("Null Hunger") und den SDGs 14 ("Leben unter Wasser") und 15 ("Leben an Land") dargestellt. In Wirklichkeit handelt es sich beim Nährstoffmanagement in der Landwirtschaft jedoch eher um multidirektionale Interaktionen zwischen mehreren SDG-Zielen, bei denen auch potenzielle Win-Win-Situationen realisierbar erscheinen (z. B. SDG-Ziel 2.4). Es gibt zahlreiche globale und institutionelle Initiativen (z. B. UN Food Systems Summit, EAT Forum/Lancet, FOLU oder WWF's Planet-Based Diet), die darauf abzielen, die politischen Entscheidungsträger, Verbraucher und Erzeuger darüber zu informieren und zu verantworten, wie Ernährungssysteme nachhaltiger werden, zu einer besseren menschlichen Ernährung und Gesundheit führen und den Verlust der biologischen Vielfalt umkehren können (38).

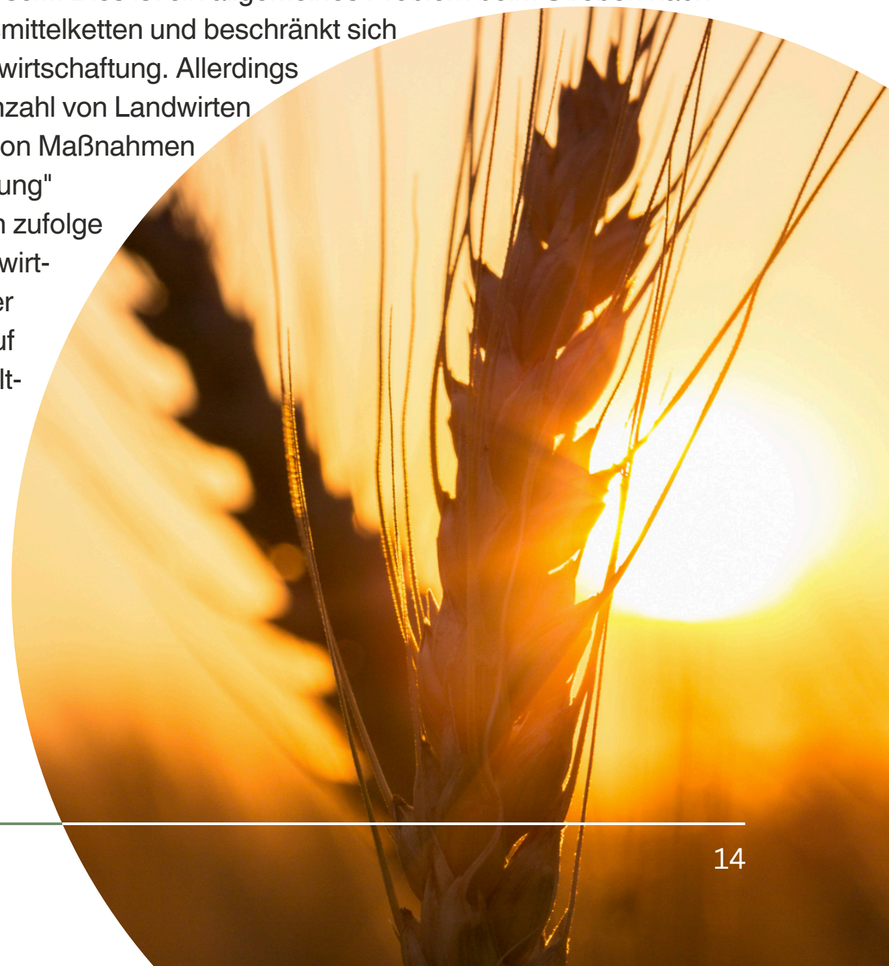
Was die Bewirtschaftungsmaßnahmen anbelangt, so fordern Wissenschaftler an der Schnittstelle zwischen Landwirtschaft, Ernährung und Umwelt den Einsatz von besseren Bewirtschaftungsmaßnahmen. Diese werden häufig als "nachhaltige Intensivierung", "regenerative Landwirtschaft" oder "naturverträgliche Landwirtschaft" bezeichnet. Obwohl die Definitionen und spezifischen Lösungen sehr unterschiedlich sind, zielen sie im Allgemeinen darauf ab, eine ausreichende Nahrungsmittelproduktion auf den vorhandenen Flächen mit geringeren Umweltauswirkungen zu erreichen (39). Obwohl nicht auf Nährstoffmanagement beschränkt, gibt es viele Möglichkeiten, produktive, effiziente und umweltverträgliche Maßnahmen des Nährstoffmanagements unter dem Dach der nachhaltigen Intensivierung zu vereinen.

Was hindert den Fortschritt derzeit?

Im weitesten Sinne erfordern groß angelegte Veränderungen in der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung eine Umgestaltung des globalen Ernährungssystems. Dies erfordert jedoch eine umfassendere Umgestaltung der globalen und regionalen Wirtschaftssysteme, weit über den Rahmen der Nährstoffbewirtschaftung hinaus.

Verantwortungsbewusstes Nährstoffmanagement und Erhaltung der biologischen Vielfalt lassen sich häufig auf lokaler Ebene vereinbaren. Dennoch gibt es Herausforderungen bei der Kommunikation und Anwendung von Maßnahmen in großen Maßstäben. Dazu gehören der Bildungsbedarf für "alternative" Bewirtschaftungsansätze, die mit naturverträglicheren Anwendungen verbundenen Vorlaufkosten, der für agrarökologische Eingriffe erforderliche Betriebs- und Arbeitsaufwand oder fehlende Anreize von Politik und Industrie, zu einer naturverträglichen Bewirtschaftung überzugehen.

Ein Haupthindernis liegt in der Notwendigkeit politischer Anreize, die sich mit den externen Auswirkungen der Nährstoffbewirtschaftung auf die biologische Vielfalt befassen. Lösungen sind für alle Akteure in der Lebensmittelkette nötig, insbesondere für die Landwirte, und sie müssen wirtschaftlich rentabel und wettbewerbsfähig gegenüber den bestehenden Systemen sein. Dies ist ein allgemeines Problem beim Streben nach naturverträglichen Nahrungsmittelketten und beschränkt sich nicht nur auf die Nährstoffbewirtschaftung. Allerdings scheint eine beträchtliche Anzahl von Landwirten weltweit bereits eine Reihe von Maßnahmen zur "nachhaltigen Intensivierung" durchzuführen: Schätzungen zufolge betreiben 163 Millionen landwirtschaftliche Betriebe (29% der weltweiten Gesamtfläche) auf 453 Millionen ha (9% der weltweiten landwirtschaftlichen Nutzfläche) in irgendeiner Form nachhaltige Intensivierung (40).



SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Welches sind die kritischen Wissenslücken?

Zwar verfügen wir bereits über eine Fülle von Informationen zum nachhaltigen Nährstoffmanagement und zum Schutz der biologischen Vielfalt, aber es gibt auch viele Wissenslücken. Sobald geschlossen, würden diese dazu beitragen, wirksame Veränderungen zu beschleunigen und innovative Managementstrategien umzusetzen. Dazu gehören:

- Welche spezifischen Rollen spielen Düngemittel bei der Schonung von Flächen für den Naturschutz in bestimmten Regionen und Landschaften?
- Wie wirken sich verschiedene Mineralelemente, die in landwirtschaftlichen Systemen eingesetzt werden, positiv oder negativ auf die biologische Vielfalt aus?
- Welches sind die "richtigen" Niveaus an organischer Bodensubstanz und mikrobieller Biodiversität damit verschiedene landwirtschaftliche Systeme optimal funktionieren, und wie können sie durch gute Nährstoffmanagementpraktiken erreicht und erhalten werden?
- Wie können der Schutz der biologischen Vielfalt in Düngeempfehlungen und in Systeme der Nährstoffverantwortung mit einbezogen werden?
- Was sind die sozioökologischen, wirtschaftlichen und psychologischen Hindernisse, die Landwirte davon abhalten, biodiversitätsfreundliche Nährstoffmanagementpraktiken anzuwenden? Wie können Fakten, Anreize und neue Technologien dazu beitragen, diese zu überwinden?
- Welche spezifischen Möglichkeiten gibt es für ein naturverträgliches und produktives Nährstoffmanagement in kleinbäuerlichen Betrieben weltweit, und welche Auswirkungen hat die Zusammenlegung von Betrieben zu größeren Betrieben auf die Nährstoffnutzung und biologische Vielfalt?

Was kann getan werden?

Die Optimierung des Nährstoffmanagements um die negativen Auswirkungen auf die biologische Vielfalt zu minimieren ist ein integraler Bestandteil des neuen Paradigmas für verantwortungsvolle Pflanzenernährung (41). Viele der vorgeschlagenen Maßnahmen und Ansätze für Nährstoffmanagement werden erheblich vom Ausmaß und der Geschwindigkeit der Umgestaltung der Ernährungssysteme in den Weltregionen abhängen.

Box 1. Verschiedene Maßnahmen, die direkt und indirekt mit der Nährstoffbewirtschaftung zusammenhängen und mit denen sich negative Auswirkungen abmildern und die biologische Vielfalt und Ökosystemleistungen erhalten oder verbessern lassen.

- Bessere Flächennutzungsplanung, Vermeidung von Landwirtschaft in Gebieten mit besonders hohem Biodiversitätswert und Stopp der weiteren Ausdehnung von landwirtschaftlich genutzter Fläche
- Schließung der weltweiten Ertragslücken, um genügend Nahrungsmittel zu produzieren und Land zu schonen
- Wiederherstellung degradierter landwirtschaftlicher Flächen und Verbesserung der Bodenfunktion durch integriertes Bodengesundheitsmanagement
- Erhöhung der Agrobiodiversität und integrierte Ansätze für das Nährstoffmanagement (z. B. Mineraldünger in Kombination mit verfügbaren organischen Düngemitteln, Fruchtfolgen, Zwischenfruchtanbau, Nutztiersysteme mit geschlossenen Nährstoffkreisläufen, Integration von Baumkulturen und Leguminosen)
- Vermeidung von Nährstoffverlusten durch die Anwendung von Konzepten der Präzisionslandwirtschaft für den Nährstoffhaushalt in großem Maßstab, einschließlich der Abstimmung von Düngemitteltyp, -menge, -zeitpunkt und -plazierung auf die Bodeneigenschaften und die Anforderungen der Kulturen und Erzeuger
- Pufferzonen um ökologisch sensible Gebiete wie Wasserstraßen
- Kontextspezifische Ziele für die Effizienz der Nährstoffnutzung und Begrenzung von Nährstoffüberschüssen, einschließlich besserer Überwachungs- und Frühwarnsysteme
- Evidenzbasierte Politiken, finanzielle Anreize und Öffentlichkeitsarbeit, um es Produzenten und unterstützende Unternehmen zu ermöglichen, auf biodiversitätsoptimierte und nachhaltige Anbaumethoden, einschließlich Düngemittel, umzustellen

Die Variabilität der landwirtschaftlichen Systeme, der Nährstoffmanagementstrategien und deren Auswirkungen auf die biologische Vielfalt ist so groß, dass es keine Patentlösungen für die Bekämpfung von Biodiversitätsverlusten gibt; es gibt jedoch viele Optionen, die, wenn sie integriert werden, sowohl für die Erhaltung der biologischen Vielfalt als auch für die Nahrungsmittelproduktion positive Ergebnisse bringen könnten (Box 1).

Die Nährstoffbewirtschaftung in globale Biodiversitätsziele und Aktionen einbeziehen

Die komplexen Wechselwirkungen zwischen Lebensmittelproduktion und biologischer Vielfalt sind ein zunehmend aktuelles Thema, das in den UN-Zielen für nachhaltige Entwicklung stark vertreten ist. Sie wurden auch in die globalen Biodiversitätsziele über die biologische Vielfalt (CBD) einbezogen. Globale Ziele und Entwicklungsprogramme sind eine Möglichkeit, die Bedeutung eines Themas anzuerkennen, und es in einer allgemein akzeptierten Sprache und einem Protokoll zu verankern und so ein klares Mandat für Politik zur Umsetzung der Ziele zu geben. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass bei der Entwicklung von Zielen, Vorgaben und Indikatoren für die Nährstoffbewirtschaftung eine Reihe von Fragen und Problemen berücksichtigt und klar strukturiert werden:

1. Die Auswirkungen der Nährstoffanwendung auf die biologische Vielfalt von anderen Aus-wirkungen der Intensivierung der Landwirtschaft und anderen Formen der "Verschmutzung", wie Pestiziden und Plastikabfällen, zu trennen, da sie sehr unterschiedlich wirken
2. Die Tatsache zu berücksichtigen dass das Nährstoffmanagement enorme Vorteile für die Lebensmittel- und Ernährungssicherheit mit sich bringt und Potenzial hat, durch Ertragssteigerungen die Ausweitung der Landwirtschaft zu verringern
3. Die Erkenntnis, dass der Nährstoffeinsatz in einigen Teilen der Welt reduziert werden muss, während er in anderen dringend erhöht werden muss: Der Schwerpunkt sollte auf der Optimierung des Düngemitteleinsatzes und der Effizienz der Nährstoffnutzung insgesamt liegen
4. Die Festlegung von Zielen, die kontextspezifisch, ergebnisorientiert, umsetzbar, realisierbar und messbar sind, einschließlich der Berücksichtigung möglicher indirekter Auswirkungen (z. B. auf die Ernährungssicherheit)

In den Aichi-Biodiversitätszielen des CBD 2010 wurde die Nährstoffbewirtschaftung in Ziel 8 aufgenommen: "Bis 2020 wird die Verschmutzung, auch durch überschüssige Nährstoffe, auf ein Niveau gesenkt, das die Funktion der Ökosysteme und deren biologische Vielfalt nicht beeinträchtigt". Obwohl es sich hierbei um ein ergebnis-orientiertes Ziel handelt, fehlen viele der oben genannten Anforderungen, und es wurde bisher nicht erreicht. Tatsächlich haben fast 2/3 aller Länder noch nicht einmal über dieses Ziel berichtet, und nur einige wenige haben behauptet, es erreicht zu haben.

Der neue globale Rahmen für die biologische Vielfalt für die Zeit nach 2020 enthält 21 Zielvorgaben für dringende Maßnahmen in den zehn Jahren bis 2030. Nährstoffe sind hauptsächlich in Zielvorgabe 7 enthalten, die u.a. lautet "Verringerung der Verschmutzung aus allen Quellen auf ein Niveau, das für die biologische Vielfalt, die Funktionen der Ökosysteme und die menschliche Gesundheit nicht schädlich ist, einschließlich Verringerung der in die Umwelt entweichenden Nährstoffe um mindestens die Hälfte durch effizientere Nutzung und Recycling von Nährstoffen“. In dieser Fassung geht der Vorschlag jedoch nicht ausreichend auf Nährstoffe und ihre vielfältigen und spezifischen Auswirkungen auf die biologische Vielfalt ein. Auch die Halbierung der Nährstoffabgaben in die Umwelt bis 2030 ist ein sehr ehrgeiziges Ziel.

Wir plädieren deshalb für einen differenzierteren und ausgewogeneren Ansatz bei der Entwicklung von Zielen und Vorgaben für das Nährstoffmanagement, wobei der Schwer-punkt darauf liegen sollte, die vier oben genannten Anforderungen zu erfüllen. Solche Ziele sollten die Effizienz der Nährstoffnutzung optimieren und die Nährstoffverluste in die Umwelt an den unterschiedlichen Standorten minimieren. Ein Beispiel hierfür sind betriebsspezifische sichere Zielbereiche, in denen die Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) als Verhältnis von Nährstoffaustrag zu Nährstoffeintrag berechnet wird. Der vom Europäischen Expertengremium für Stickstoff vorgeschlagene NUE-Indikator dient als Richtlinie für die Nährstoffbewirtschaftung in landwirtschaftlichen Betrieben. Dieser bezieht sich auf eine Verringerung der Nitratauswaschung und der Ammoniak- und N_2O-Emissionen bei gleichzeitig hohem Produktivitätsniveau und optimaler Bodengesundheit, wodurch mehrere wichtige Auswirkungen auf die biologische Vielfalt berücksichtigt werden (Abbildung 3). Neuseeland hat bereits einen solchen Ansatz in Zusammenarbeit

zwischen der Regierung und der Düngemittelindustrie eingeführt, bei dem eine landesweite Computermodellierung der Nährstoffflüsse in der Landschaft erstellt wurde. Dies hat die Entwicklung von Nährstoffbudgets für landwirtschaftliche Betriebe und den Düngemitteleinsatz im Hinblick auf den richtigen Ort, die richtige Menge und den richtigen Zeitpunkt unterstützt.

Besonderer Fokus sollte darauf liegen die Umwandlung von Ökosystemen und die Eutrophierung von Gewässern als die vielleicht wichtigsten Auswirkungen von Nährstoffen auf die biologische Vielfalt zu vermeiden. Die Eutrophierung von Binnen- und Meeresgewässern aufgrund übermäßiger Stickstoff- und Phosphoreinträge stellt eine besonders komplexe Herausforderung dar. Sie wird durch übermäßige Nährstoffbelastungen aus verschiedenen Quellen in Einzugsgebieten und Küstenzonen verursacht. Zu den Hauptquellen gehören: (i) Düngereinsatz in der Landwirtschaft, (ii) Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe, (iii) Leguminosenanbau, (iv) Tierhaltung, (v) unzureichend behandeltes Abwasser und (vi) Aquakultur. Die Einträge aus diffusen Quellen (i-iv) übersteigen bei weitem die Einträge aus Punktquellen (v und vi) und stehen meist in Zusammenhang mit landwirtschaftlichen Praktiken wie Anbausystemen, Bodenbearbeitung und dem Einsatz von mineralischen und organischen Düngemitteln. Die Verringerung der Nährstoffbelastung in großen Wassereinzugsgebieten erfordert einen Konsens, konkrete Ziele, Interventionen mehrerer Interessengruppen und eine wirksame Überwachung. In verschiedenen Regionen der Welt gibt es bereits gute Beispiele, die bei der Formulierung solcher Ziele und Maßnahmen als Richtlinie dienen können (Box 2).

Box 2. Das Great Barrier Reef in Australien ist bekannt für seine ökologische Bedeutung, natürliche Schönheit und seinen Beitrag zum australischen Tourismussektor. Das Riff ist jedoch auch einer zunehmenden Bedrohung ausgesetzt, die mit früheren und aktuellen landwirtschaftlichen Einträgen, der Bewirtschaftung von Wassereinzugsgebieten, der Entwicklung der Küstengebiete, extremen Wetterereignissen und den Auswirkungen des Klimawandels wie der jüngsten Korallenbleiche in Verbindung stehen. Im Jahr 2017 wurde in einer wissenschaftlichen Konsenserklärung ein Plan zur Verbesserung der Wasserqualität entwickelt. Die Beteiligten einigten sich auf konkrete Ziele für 2025, d. h. auf Maßnahmen, die in bestimmten Riffeinzugsgebieten erforderlich sind, sowie auf Ziele für den Zustand der Feuchtgebiete und die Gesundheit der küstennahen Meere. Durch diesen Ansatz war es möglich, spezifische Ziele festzulegen um die Nährstoffbelastung zu verringern und erhebliche Fortschritte bei deren Erfüllung zu verzeichnen, z. B:

- Verringerung der gelösten anorganischen N-Belastungen am Ende des Einzugsgebiets um 60 % bis 2025; bisher erreicht: 25.5%
- Verringerung von Partikel N-Belastungen am Ende des Einzugsgebiets um 20 % bis 2025; bisher erreicht: 13.4%
- Verringerung von Partikel P-Belastungen am Ende des Einzugsgebiets um 20 % bis 2025; bisher erreicht: 16.6%

Verbesserte Planung der landwirtschaftlichen Entwicklung

Ein weiterer wichtiger Ansatz besteht darin, die Wechselwirkungen zwischen Nährstoffen und biologischer Vielfalt im Hinblick auf die Landnutzung systematischer zu untersuchen, insbesondere wo Landwirtschaft und Gebieten mit hoher biologischer Vielfalt aufeinandertreffen. Indem die Gebiete mit räumlichen Überschneidungen identifiziert werden, kann man sich um die Bewirtschaftung und Erhaltung der Nährstoffe in Bezug auf eine breit angelegte landwirtschaftliche Entwicklung bemühen. Besonders besorgniserregend ist der potenzielle Einfluss der geplanten Ausweitung und Intensivierung der Landwirtschaft in Regionen mit reicher biologischen Vielfalt in Mittel- und Südamerika, Afrika südlich der Sahara, Madagaskar, Ostaustralien, Südostasien, Indien, Indonesien und Papua-Neuguinea. In diesen tropischen und subtropischen Regionen hat die Umwandlung natürlicher Ökosysteme unverhältnismäßig große Auswirkungen auf die Biodiversität. Da hier sowohl das Artenreichtum als auch die Endemie sehr hoch sind, sind wirksame und durchgesetzte Raumplanungsverfahren von entscheidender Bedeutung.

In diesen Hotspots sind häufig große Ertragslücken vorhanden. Es gibt klare Möglichkeiten durch gezielte Intensivierung die Ausdehnung von Anbauflächen in kritischen Biodiversitätsgebieten zu reduzieren (Abbildung 4).

Selbst bei einer stark verbesserten Planung der landwirtschaftlichen Entwicklung in Bezug auf Hotspots der biologischen Vielfalt wird es in Gebieten mit hoher biologischer Vielfalt unweigerlich häufig zu einer Intensivierung kommen, was strenge Vorschriften und die Durchsetzung des Nährstoffmanagements erfordert. Eine weitere Strategie um bestimmte Bereiche von Ökosystemen und Lebensräumen vor einer unvermeidlichen lokalen Intensivierung zu schützen sind Vegetationspufferzonen zwischen landwirtschaftlichen Flächen und natürlichen Ökosystemen. Dies kann ein sehr wirksames Mittel sein, um a) die Abdrift von Düngemitteln (und anderen Agrochemikalien) von Ackerflächen zu verringern, b) den Abfluss von Acker- und Weideflächen abzufangen und c) zahlreiche andere Ökosystemleistungen zu unterstützen, wie z. B. Lebensraum für die biologische Vielfalt, Bestäuberressourcen, Lebensraum für natürliche Feinde, Verbindungsmöglichkeiten für Tierarten, Hochwasserschutz und Kohlenstoffbindung. Aufgrund der Komplexität der Faktoren, die die Wirksamkeit von Puffern in einem bestimmten Landschaftskontext beeinflussen, ist es unwahrscheinlich, dass ein einheitlicher Ansatz für Puffer sinnvoll ist, und es sind eher kontextspezifische Leitlinien und Anpassungen erforderlich als generische Ansätze.

Die biologische Vielfalt in den Nährstoffhaushalt integrieren

4R Nutrient Stewardship und ähnliche Ansätze wurden in verschiedenen Teilen der Welt als Leitlinien für das Nährstoffmanagement entwickelt und gefördert. Diese zielen darauf ab, effizient und standortspezifisch festzulegen, in welcher Form, wie, wann, wo usw. Nährstoffe ausgebracht werden. Dieser Ansatz bietet eine potenzielle Win-Win-Situation um die landwirtschaftliche Produktivität und Effizienz in Verbindung mit geringeren negativen Umweltauswirkungen durch weniger Versickerung ins Grundwasser, Abfluss in Gewässer, Abdrift in nahe gelegene Ökosysteme usw., zu erhöhen.

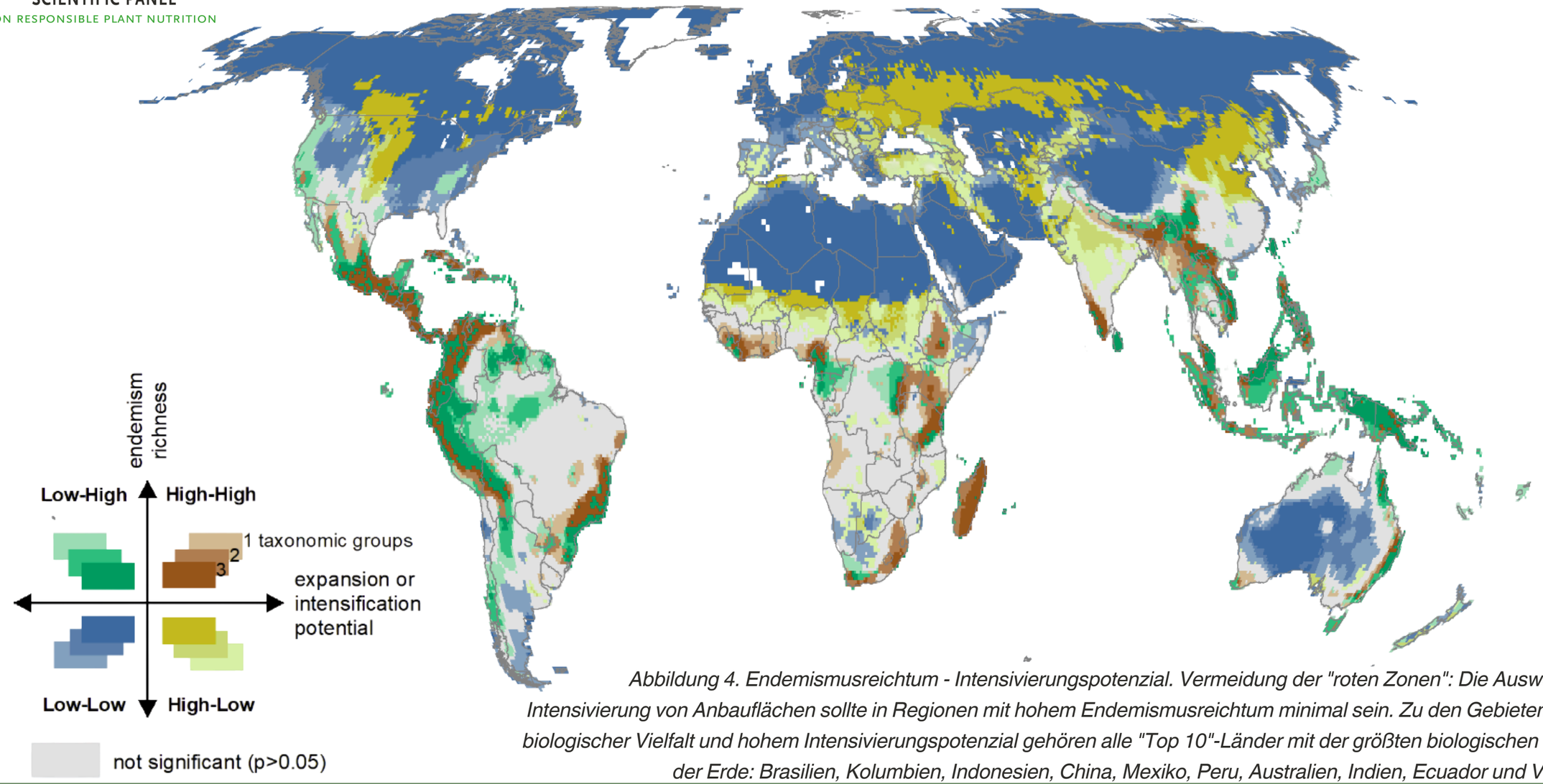


Abbildung 4. Endemismusreichtum - Intensivierungspotenzial. Vermeidung der "roten Zonen": Die Ausweitung und Intensivierung von Anbauflächen sollte in Regionen mit hohem Endemismusreichtum minimal sein. Zu den Gebieten mit hoher biologischer Vielfalt und hohem Intensivierungspotenzial gehören alle "Top 10"-Länder mit der größten biologischen Vielfalt auf der Erde: Brasilien, Kolumbien, Indonesien, China, Mexiko, Peru, Australien, Indien, Ecuador und Venezuela.

Jedes der 4R Ziele (Richtige Düngerform, Richtige Menge, Richtige Zeit und Richtiger Ort) hat Auswirkungen auf die biologische Vielfalt und kann Elemente der biologischen Vielfalt innerhalb und außerhalb des Standortes enthalten. Einem solchen Ansatz liegen zwei Perspektiven zur Biodiversität zugrunde: (i) Unangemessene (und vor allem übermäßige) Nährstoffanwendungen haben wahrscheinlich negative Auswirkungen auf die biologische Vielfalt sowohl am Ort der Zugabe als auch außerhalb (Abbildung 3); (ii) die biologische Vielfalt kann dazu genutzt werden Vorteile zu erzielen, die mit dem Nährstoffmanagement einhergehen und sowohl die Produktivität als auch die biologische Vielfalt selbst erhöhen. Beispiele um Biodiversitäts-maßnahmen in die bestehenden 4R zu integrieren, sind:

Richtige Düngerform: Wir brauchen ein besseres Verständnis dafür wie sich bestimmte anorganische und organische Düngemittel auf verschiedene Aspekte der biologischen Vielfalt (z. B. Artenreichtum, Verteilung, Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften im Boden) auswirken und wie dies mit der Erbringung von Ökosystemleistungen zusammenhängt. Insbesondere würde ein klares Verständnis darüber, welche Nährstoffquellen weniger schädlich für die biologische Vielfalt sind, und die Einbeziehung dieser Erkenntnisse in evidenzbasierte Managementstrategien dazu beitragen, die biologische Vielfalt zu erhalten, ohne die Produktion zu beeinträchtigen. Ein besseres Verständnis der Nettoveränderungen der biologischen Vielfalt über verschiedene Maßstäbe hinweg ist ebenfalls von grundlegender Bedeutung, da es wahrscheinlich Kompromisse zwischen Feld, Betrieb, Landschaft und größeren Maßstäben gibt, die berücksichtigt werden müssen.

Die richtige Rate: Derzeit orientieren sich Düngeempfehlungen hauptsächlich an agronomisch oder wirtschaftlich optimalen Nährstoffmengen. Die biologische Vielfalt scheint bei höheren Nährstoffzugaben stärker abzunehmen. Daher könnte ein neuer Ansatz darauf abzielen, das Know-how für die Bestimmung von Anwendungsmengen zu entwickeln, die den kombinierten Anforderungen der Pflanzenaufnahme und der Reaktionen der biologischen Vielfalt

entsprechen. Dies wäre auch für die Festlegung sinnvoller und für beide Seiten vorteilhafter Schwellenwerte und Ziele für das Nährstoffmanagement in verschiedenen landwirtschaftlichen Systemen von entscheidender Bedeutung.

Der richtige Zeitpunkt: Es ist wichtig zu erfahren wie der Zugabezeitpunkt mit verschiedenen Aspekten der biologischen Vielfalt in Zeit und Raum zusammenhängt (z. B. Lebenszyklen, Verteilung, Nahrungsverfügbarkeit, Fortpflanzung). Diese Informationen können dabei helfen zu verstehen wie sich die Nährstoffzugabe auf verschiedene Elemente der biologischen Vielfalt auf Feld- und Landschaftsebene auswirkt.

Der richtige Ort: Wenn die übermäßige Düngung in unmittelbarer Nähe zu bestimmten landwirtschaftlichen Betrieben und auf Feldern vermieden werden würde, würde dies negative Auswirkungen bereits verringern, während dies die Ernteerträge nicht beeinträchtigen dürfte. Dazu könnten botanisch vielfältige Feldränder, Hecken, Teiche, Gräben, Flüsse/Bäche/Bäche, Bäume auf der Koppel (einheimische Arten), Reste von Gehölzen oder artenreiches Grasland gehören.

Die Entwicklung einer systematischen Liste von Nährstoffmanagement-Praktiken die der biologischen Vielfalt zugute kommen, würde dazu beitragen, Strategien für das Nährstoffmanagement zu entwerfen, die den übermäßigen Einsatz von Düngemitteln reduzieren, die Produktivität und die Erträge verbessern oder erhalten und der biologischen Vielfalt in Betrieben mehrfachen Nutzen bringen.

Die Landwirtschaft nachhaltig intensivieren

Die nachhaltige Intensivierung der Landwirtschaft beruht auf der allgemeinen Vorstellung, dass Verbesserungen der Gesamtfaktorproduktivität [1] gleichzeitig eine Steigerung der künftigen Nahrungsmittelproduktion und des Einkommens der Landwirte ermöglichen, während die Auswirkungen der Landwirtschaft auf die Umwelt begrenzt werden. Ein solches optimales Intensivierungsniveau kann mit Hilfe eines Maßes wie der grünen Gesamtfaktorproduktivität - oder der Gesamtressourcenproduktivität - erreicht werden, was auch das Klima, die Böden und die biologische Vielfalt berücksichtigt.

Neben der 4R-Methode und dem präziseren Management von mineralischen und organischen Düngemitteln werden häufig Maßnahmen vorgeschlagen, die das Wachstum der grünen TFP[1] unterstützen könnten, wie z. B. stickstoffbindende Leguminosen als Teil von Fruchtfolgen oder Zwischenfruchtanbau, die Integration von Vieh und dessen Dung in Anbausysteme, die Kompostierung von Ernterückständen und Lebensmittelabfällen, Gründüngung, Diversifizierung mit Körnerleguminosen, konservierende Landwirtschaft oder die Anpflanzung von Leguminosenbäumen und -sträuchern als Teil der Produktion oder der Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen im Rahmen des landwirtschaftlichen Systems.

Leguminosen im Fruchtwechsel und Zwischenfruchtanbau können sich zum Beispiel positiv auf den Stickstoffgehalt des Bodens und die Erträge auswirken und die organische Substanz des Bodens erhöhen. Solche Bewirtschaftungsmaßnahmen können sich auch positiv auf die biologische Vielfalt auswirken, z. B. auf Mikroben, Bestäuber wie Bienen und andere wirbellose Tiere wie Schlupfwespen

1 Die totale Faktorproduktivität (TFP) ist ein Maß für die Gesamtheit der Outputs im Vergleich zu den Inputs, die im Agrarsektor oder in einem Teilsektor des Sektors eingesetzt werden. Das Wachstum der TFP spiegelt eine effizientere Nutzung der Ressourcen wider, die durch Wissen und Management beeinflusst wird.

die sich alle durch die Bereitstellung einer Reihe von Ökosystemleistungen positiv auf die Produktion auswirken können.

Es gibt bereits hervorragende wissenschaftliche Arbeiten über potenziell wirksame Maßnahmen zur nachhaltigen Landwirtschaft, die sich positiv auf die biologische Vielfalt auswirken können. Je nach landwirtschaftlichem Kontext unterscheiden sich diese jedoch in ihrer Wirksamkeit, Umsetzbarkeit und Skalierbarkeit. Viele dieser Maßnahmen sind wahrscheinlich arbeitsintensiver und hängen von der Unterstützung ab, die Landwirte bei der Umsetzung benötigen. Weitere Herausforderungen betreffen die erforderliche Infrastruktur und Ausrüstung, Schulung der Landwirte, wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und die Frage, wie die Wirksamkeit in Bezug auf mehrere Ziele (z. B. Erträge, Effizienz der Betriebsmittel, Umweltauswirkungen vor Ort und außerhalb des Betriebs) überwacht und das Management entsprechend angepasst werden kann.

Die nachhaltige Intensivierung (oder regenerative Landwirtschaft bzw. naturverträgliche Landwirtschaft), einschließlich der Optimierung des Düngemitteleinsatzes, kann und sollte auf verschiedenen Ebenen erfolgen:

- Auf der Ebene des Feldes und des landwirtschaftlichen Betriebs - z. B. Anwendung, wann und wo es nötig ist, in den Formen, Mengen und der Häufigkeit, die für die jeweiligen Kulturen und Bedingungen erforderlich sind, unter Anwendung eines 4R-Ansatzes, einschließlich derjenigen Maßnahmen, die sowohl die biologische Vielfalt als auch die Ökosystemleistungen erhalten und nutzbar machen;
- Auf der Landschaftsebene sollte der Anbau im Allgemeinen auf den produktivsten Landformen und Bodentypen erfolgen. Dies muss jedoch mit der Bedeutung des Erhalts einer umfassenden und repräsentativen Reihe von Ökosystemen in Einklang gebracht werden, und nicht nur mit den Ökosystemen, die nicht mit den für die Landwirtschaft oder andere Nutzungen geeigneten Gebieten übereinstimmen. Eine wirksamere und differenziertere Flächennutzungsplanung und Politikgestaltung werden dabei hilfreich sein;
- Die regionale und globale Rationalisierung der Produktion und des Einsatzes von Düngemitteln (z. B. Verringerung in Gebieten, in denen es keine oder nur geringe Ertragslücken gibt, Erhöhung in Regionen mit hohen Ertragslücken) werden dazu beitragen, die biologische Vielfalt auf verschiedenen Ebenen zu beschützen, einschließlich der Verschmutzung von Außenstandorten und der unkontrollierten Expansion der Landwirtschaft.

SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Wer muss was tun?

Die Bandbreite der einflussreichen Akteure im Lebensmittelsystem ist weitreichend und dürfte sich in Bezug auf ihren Einflussbereich und die erforderlichen Maßnahmen für ein optimiertes und naturverträgliches Nährstoffmanagement erheblich unterscheiden. Zu den wichtigsten Interessengruppen, die in diesem Bereich etwas bewirken können und zu den vorrangigen Interventionsbereichen gehören:

Politische Entscheidungsträger:

Müssen die verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse nutzen, einen Dialog führen und Expertenmeinungen von Landwirten, der Düngemittelindustrie und Naturschutzexperten einholen. Damit können sie politische Lösungen in besonders kritischen Bereichen realisieren, z.B. a) verbesserte Flächennutzungsplanung und -vorschriften, b) Vermeidung von weiteren Flächenumwandlungen in Gebieten mit hoher biologischer Vielfalt, und c) realistische und regional anwendbare und umsetzbare Zielvorgaben und Schwellenwerte für das Nährstoffmanagement, die ein Gleichgewicht zwischen den Erfordernissen zwischen Produktion und Naturschutz herstellen.

Die globale Düngemittelindustrie:

Sollte mit Wissenschaftlern und Naturschützern zusammenarbeiten, um Düngemittelprodukte zu entwickeln und zu fördern, die ihre produktivitätssteigernden Eigenschaften beibehalten, aber gleichzeitig die biologische Vielfalt, die durch den Einsatz von Düngemitteln negativ beeinflusst wird, besser schützt. Die Industrie wird auch erhebliche Anstrengungen unternehmen, um die Treibhausgasemissionen bei der Düngemittelproduktion zu verringern. Investitionen in Nährstoffmanagement und Präzisionslandwirtschaft für ein nachhaltigeres Nährstoffmanagement und die Einbeziehung der biologischen Vielfalt in Nachhaltigkeitsstrategien und Erfolgsmessungen der Unternehmen sind ebenfalls von entscheidender Bedeutung.

Naturschutzorganisationen:

Spielen eine sehr wichtige Rolle, indem sie mit anderen Interessengruppen zusammenarbeiten. Sie a) stellen fest, wo ein hoher Nährstoffverbrauch zu unverhältnismäßigen Auswirkungen auf die biologische Vielfalt führt, b) informieren darüber, wo eine ertragsabhängige landwirtschaftliche Expansion ein Risiko darstellt, c) stellen Interessengruppen Informationen über Gebiete mit hoher biologischer Vielfalt und Anfälligkeit zur Verfügung, d) entwickeln mit der Industrie, Landwirten und landwirtschaftlichen Beratungsgremien verbesserte Bewirtschaftungsoptionen, und e) entwickeln mit Regierungen und der Industrie Anreize und politische Maßnahmen, die Landwirten helfen, ein optimiertes und nachhaltigeres Nährstoffmanagement umzusetzen.

Landwirte, landwirtschaftliche Berater und Dienstleister:

Sollten sich stärker darauf konzentrieren, Verwalter natürlicher Ressourcen (einschließlich, aber nicht beschränkt auf die biologische Vielfalt) zu sein und ein breiteres Spektrum an Leistungen anzubieten, das über die direkte landwirtschaftliche Produktion hinausgeht. Die Anwendung des 4R-Konzepts, Maßnahmen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt in den Betrieben (durchführen und Konzepte der nachhaltigen Intensivierung weitgehend übernehmen, wo immer dies möglich ist, sind herausragende Beispiele für die zu erfüllenden Aufgaben. Dies erfordert beträchtliche Unterstützung und Anreize von Seiten der Regierungen, Hilfe von Seiten verschiedener Branchenverbände und den Aufbau von Kapazitäten durch ein lokales und wissenschaftlich fundiertes Beratungsnetz.

Verbraucher:

Können dazu beitragen, indem sie Lebensmittel kaufen, die unter Anwendung nachhaltigerer Bewirtschaftungsmethoden hergestellt wurden, sofern solche Produkte und Kennzeichnungsinformationen verfügbar und zuverlässig sind. Dies muss von den Regierungen, der gesamten Lebensmittelindustrie, Erzeugern und Naturschutzorganisationen entwickelt und unterstützt werden. Der Übergang zu einem "naturfreundlichen" Akkreditierungs- und Kennzeichnungssystem für das Nährstoffmanagement, wie es von der Rainforest Alliance und den Plattformen für verschiedene Nutzpflanzen (z. B. Palmöl, Reis) bereits verwendet wird, wäre zu begrüßen, solange sie genau dargestellt werden und die Vorteile greifbar und messbar sind.

Forscher:

Aus vielen Bereichen können dabei helfen, die Wissenslücken in den Bereichen Nährstoffmanagement und Biodiversität zu schließen. Sozialwissenschaftler werden dringend benötigt, die sozioökonomischen und verhaltensbedingten Hindernisse für die Einführung von biodiversitätsfreundlichen Nährstoffmanagementpraktiken zu verstehen. Weiterhin sollten die gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse von denjenigen genutzt werden, die in der Position sind, positive Veränderungen herbeizuführen, z. B. Regierungen, die Düngemittelindustrie, Naturschutzorganisationen, Erzeuger und Berater.

Am wichtigsten ist dabei ein ausgewogener Ansatz, der sowohl die Notwendigkeit des Düngemittelmanagements und die großen Vorteile, die dies in Bezug auf die Lebensmittel- und Ernährungssicherheit (und die potenzielle Verringerung der Umwandlung von Ökosystemen) mit sich bringt, als auch die unzweifelhaften Umweltschäden, die durch einen unsachgemäßer Einsatz verursacht werden können, berücksichtigt. Aus diesem Grund ist die Verwendung des Begriffs "optimal" nicht nur semantisch, sondern muss auf allen Ebenen, in allen Produktionsbereichen und von allen Beteiligten realisiert werden. Zunächst brauchen wir allerdings ein besseres Verständnis und eine bessere Einschätzung der Vorteile und Probleme bei der Anwendung von Düngemitteln durch alle Beteiligten, insbesondere durch diejenigen, die im Produktions- und im Umweltbereich tätig sind.

SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Wie würde Erfolg aussehen?

Wie sieht ein positiver und dauerhafter Wandel aus? Kurzfristig ist es ein guter erster Schritt, dafür zu sorgen, dass das Nährstoffmanagement in globalen Zielen wie den neuen CBD-Zielen vertreten ist, und das diese auch umgesetzt werden. Verglichen mit dem heutigen Stand der Dinge gehören zu den vorrangigen Ergebnissen, die innerhalb einer Menschengeneration erreicht werden müssen, folgende:

Die Nahrungsmittelproduktion erfüllt mehrere Ziele; das Nährstoffmanagement wird optimiert, um Ertrags- und Effizienzlücken zu schließen, eine bessere menschliche Ernährung zu gewährleisten und die Ziele der biologischen Vielfalt auf verschiedenen Ebenen zu erreichen

Es ist keine weitere Umwandlung natürlicher Ökosysteme erforderlich; Hotspots der biologischen Vielfalt werden durch eine verbesserte Landnutzungsplanung, einschließlich proaktiver Rechtsvorschriften und Anreize, geschützt und verwaltet

Die Anforderungen an die biologische Vielfalt werden in Lösungen für das Nährstoffmanagement mit einbezogen, die skalierbar sind und sich an verschiedene landwirtschaftliche Systeme anpassen lassen

Die biologische Vielfalt innerhalb und außerhalb des Betriebs und der Ökosystemleistungen im Zusammenhang mit dem Nährstoffeinsatz in der Landwirtschaft (z. B. Gesundheit der Böden, der Flüsse und der Meere) sind nachweislich verbessert

Stark verringerte Treibhausgasemissionen vor und in der Landwirtschaft, die mit der Produktion und dem Einsatz von Düngemitteln verbunden sind, tragen dazu bei, die Auswirkungen des globalen Klimawandels auf die biologische Vielfalt abzuschwächen

Kritische Wissenslücken werden durch Forschung geschlossen, und die Erkenntnisse fließen in gesetzgeberische Maßnahmen ein, die objektiv auf die Ziele der Landwirtschaft und der biologischen Vielfalt ausgerichtet sind

Der verstärkte Dialog zwischen Düngemittelherstellern, Wissenschaftlern und Praktikern des Naturschutzes wird Gemeinsamkeiten und Streitpunkte aufzeigen, die es zu lösen gilt. Die Einbindung der Landwirte, von Kleinbauern bis zu großen Agrarunternehmen und allen dazwischen liegenden Bereichen, ist von entscheidender Bedeutung, da sie die wichtigsten Landnutzer sind. In vielen Aspekten des Nährstoffmanagements müssen Politik und Gesetzgebung verbessert und Anreize zur Förderung bewährter Verfahren geschaffen werden. Und natürlich ist eine gezielte Forschung erforderlich, um die beste Praxis auszumachen. Die Düngemittelindustrie hat sich bereits zu einem auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Geschäftsansatz verpflichtet. Dies erfordert nun auch eine stärkere Interaktion und Zusammenarbeit mit Interessengruppen, die sich mit der biologischen Vielfalt befassen.

SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Referenzen

1. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Diaz, H. Ngo, Eds., Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES, Bonn, Germany, 2019).

2. G. Ceballos *et al.*, Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science advances*. 1, e1400253 (2015).

3. S. L. Maxwell, R. A. Fuller, T. M. Brooks, J. E. M. Watson, Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature*. 536, 143–145 (2016).

4. B. M. Campbell *et al.,* Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society*. 22 (2017).

5. WWF, Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss (World Wildlife Fund, Gland, Switzerland, 2020).

6 H. Liu *et al.*, Production of global daily seamless data cubes and quantification of global land cover change from 1985 to 2020 - iMap World 1.0. *Remote Sens. Environ.* 258, 112364 (2021).

7. H. L. Wright, I. R. Lake, P. M. Dolman, Agriculture-a key element for conservation in the developing world. *Conservation Letters*. 5, 11–19 (2012).

8. S. J. Attwood *et al.*, Declining birds in Australian agricultural landscapes may benefit from aspects of the European agri-environment model. *Biological Conservation*. 142, 1981–1991 (2009).

9. B. J. Cardinale *et al.*, Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*. 486, 59–67 (2012).

10. M.-A. de Graaff, N. Hornslein, H. L. Throop, P. Kardol, L. T. van Diepen, Effects of agricultural intensification on soil biodiversity and implications for ecosystem functioning: A meta-analysis. *Adv. Agronomy*. 155, 1–44.

11. J. Waterhouse, J. Brodie, S. Lewis, A. Mitchell, Quantifying the sources of pollutants in the Great Barrier Reef catchments and the relative risk to reef ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*. 65, 394–406 (2012).

12. K. M. Carlson *et al.*, Greenhouse gas emissions intensity of global croplands. *Nat. Clim. Chang.* 7, 63–68 (2017).

13. H. F. M. ten Berge *et al.*, Maize crop nutrient input requirements for food security in sub-Saharan Africa. *Global Food Security*. 23, 9–21 (2019).

14. M. P. van Loon *et al.*, Impacts of intensifying or expanding cereal cropping in sub-Saharan Africa on greenhouse gas emissions and food security. *Global Change Biol.* 25, 3720–3730 (2019).

15. 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).

16. E. F. Lambin *et al.*, Effectiveness and synergies of policy instruments for land use governance in tropical regions. *Global Environmental Change*. 28, 129–140 (2014).

17. K. Gerstner, C. F. Dormann, A. Stein, A. M. Manceur, R. Seppelt, Effects of land use on plant diversity - A global meta-analysis. *J Appl Ecol.* 51, 1690–1700 (2014).

18. B. Gove, S. A. Power, G. P. Buckley, J. Ghazoul, Effects of herbicide spray drift and fertilizer overspread on selected species of woodland ground flora: comparison between short-term and long-term impact assessments and field surveys. *J Appl Ecol.* 44, 374–384 (2007).

19. T. C. Malone, A. Newton, The globalization of cultural eutrophication in the coastal ocean: causes and consequences. *Front. Mar. Sci.*7 (2020).

20. M. Le Moal *et al.*, Eutrophication: A new wine in an old bottle? *Science of The Total Environment*. 651, 1–11 (2019).

SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Referenzen

21. F. J. Kroon, P. Thorburn, B. Schaffelke, S. Whitten, Towards protecting the Great Barrier Reef from land-based pollution. *Global Change Biol*. 22, 1985–2002 (2016).

22. J. E. Brodie *et al.,* Terrestrial pollutant runoff to the Great Barrier Reef: An update of issues, priorities and management responses. *Marine Pollution Bulletin*. 65, 81–100 (2012).

23. M. Crippa *et al.,* Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nat Food*. 2, 198–209 (2021).

24. S. E. Bauer, K. Tsigaridis, R. Miller, Significant atmospheric aerosol pollution caused by world food cultivation. *Geophys. Res. Lett.* 43, 5394–5400 (2016).

25. G. S. Okin *et al.*, Impacts of atmospheric nutrient deposition on marine productivity: Roles of nitrogen, phosphorus, and iron. *Global Biogeochem. Cycles*. 25 (2011).

26. J. Fuhrer *et al*., Current and future ozone risks to global terrestrial biodiversity and ecosystem processes. *Ecology and Evolution*. 6, 8785–8799 (2016).

27. F. Baudron, K. E. Giller, Agriculture and nature: Trouble and strife? *Biological Conservation*. 170, 232–245 (2014).

28. R. M. Ewers, J. Scharlemann, A. Balmford, R. E. Green, Do increases in agricultural yield spare land for nature? *Global Change Biol*.15, 1716–1726 (2009).

29. M. P. Nessel, T. Konnovitch, G. Q. Romero, A. L. González, Nitrogen and phosphorus enrichment cause declines in invertebrate populations: a global meta-analysis. *Biological Reviews* (2021).

30. J. Storkey *et al*., Grassland biodiversity bounces back from long-term nitrogen addition. *Nature*. 528, 401–404 (2015).

31. K. A. Macintosh *et al.*, Transforming soil phosphorus fertility management strategies to support the delivery of multiple ecosystem services from agricultural systems. *Science of The Total Environment.* 649, 90–98 (2019).

32. A. Kovács-Hostyánszki, P. Batáry, W. J. Peach, A. Báldi, Effects of fertilizer application on summer usage of cereal fields by farmland birds in central Hungary. *Bird Study*. 58, 330–337 (2011).

33. S. Díaz *et al.*, Assessing nature's contributions to people. *Science*. 359, 270 (2018).

34. L. A. Schulte *et al.*, Prairie strips improve biodiversity and the delivery of multiple ecosystem services from corn–soybean croplands. *Proc. Natl. Acad. Sci*. 114, 11247 (2017).

35. D. H. Wall, U. N. Nielsen, Biodiversity and ecosystem services: is it the same below ground? *Nature Education Knowledge.* 3, 8 (2012).

36. W. Yang, T. Dietz, W. Liu, J. Luo, J. Liu, Going beyond the Millennium Ecosystem Assessment: an index system of human dependence on ecosystem services. *PLoS ONE.* 8, e64581 (2013).

37. D. A. Landis, Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology*. 18, 1–12 (2017).

38. D. Leclère *et al*., Bending the curve of terrestrial biodiversity needs an integrated strategy. *Nature*. 585, 551–556 (2020).

39. D. Tilman, C. Balzer, J. Hill, B. L. Befort, Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 20260–20264 (2011).

40. J. Pretty *et al*., Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*. 1, 441–446 (2018).

41. Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition, A new paradigm for plant nutrition. Issue Brief 01 (2020).

SCIENTIFIC PANEL
ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

Referenzen

42. EU Nitrogen Expert Panel, Nitrogen Use Efficiency (NUE). *Guidance document for assessing NUE at farm level* (Wageningen University, Alterra, Wageningen, NL, 2016).

43. D. J. Conley *et al.*, Ecology. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. *Science*. 323, 1014–1015 (2009).

44. F. Zabel *et al.*, Global impacts of future cropland expansion and intensification on agricultural markets and biodiversity. *Nat Commun*. 10, 2844 (2019).

45. L. Tacconi, R. J. Rodrigues, A. Maryudi, Law enforcement and deforestation: Lessons for Indonesia from Brazil. *Forest Policy and Economics*. 108, 101943 (2019).

46. Y. Zhang, M. Pang, B. L. Dickens, D. P. Edwards, L. R. Carrasco, Global hotspots of conversion risk from multiple crop expansion. *Biological Conservation*. 254, 108963 (2021).

47. L. J. Cole, J. Stockan, R. Helliwell, Managing riparian buffer strips to optimise ecosystem services: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 296, 106891 (2020).

48. International Plant Nutrition Institute, 4R plant nutrition manual: A manual for improving the management of plant nutrition, metric version (IPNI, Norcross, GA, USA, 2016).

49. R. Seppelt, C. Arndt, M. Beckmann, E. A. Martin, T. W. Hertel, Deciphering the Biodiversity-Production Mutualism in the Global Food Security Debate. *Trends in Ecology & Evolution*. 35, 1011–1020 (2020).

50. F. Stagnari, A. Maggio, A. Galieni, M. Pisante, Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 4, 2 (2017).

51. W. J. Sutherland, L. V. Dicks, S. O. Petrovan, R. K. Smith, What works in conservation 2020 (Open Book Publishers, Cambridge, UK, 2020).

52. N. Mahon, I. Crute, M. Di Bonito, E. A. Simmons, M. M. Islam, Towards a broad-based and holistic framework of Sustainable Intensification indicators. *Land Use Policy*. 77, 576–597 (2018).

Autoren, Zitate und Kontakt

Koordinierender Hauptautor: Simon Attwood (Consultant, Biodiversity Conservation and Management, UK)

Mitwirkende Autoren: Alle Mitglieder des Scientific Panels 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), Lini 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. 2021. Achieving nature-positive plant nutrition: fertilizers and biodiversity. Issue Brief 02. Available at https://sprpn.org

Weitere Informationen: Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition, info@sprpn.org