



SCIENTIFIC PANEL

ON RESPONSIBLE PLANT NUTRITION

DÜNGER UND BODENGESUNDHEIT FÜR NACHHALTIGE PRODUKTIVITÄTSSTEIGERUNG IN SUB-SAHARA-AFRIKA

Issue Brief 06, Februar 2024

ZUSAMMENFASSUNG

1. INDIKATOREN UND ZIELE DER BODENGESUNDHEIT: Bodengesundheit wird definiert als ausreichende Ernteerträge bei gleichbleibender zukünftiger Produktionskapazität sowie bereitgestellten Ökosystemdienstleistungen (Abbildung 1). Die organische Bodensubstanz ist ein Schlüsselindikator für die Bodengesundheit, zusammen mit verfügbaren Pflanzennährstoffen (z.B. P und K), Bodensäuregehalt und wasserstabiler Bodenstruktur. Es gibt derzeit noch keinen Konsens über leicht messbare, bedeutungsvolle biologische Indikatoren.

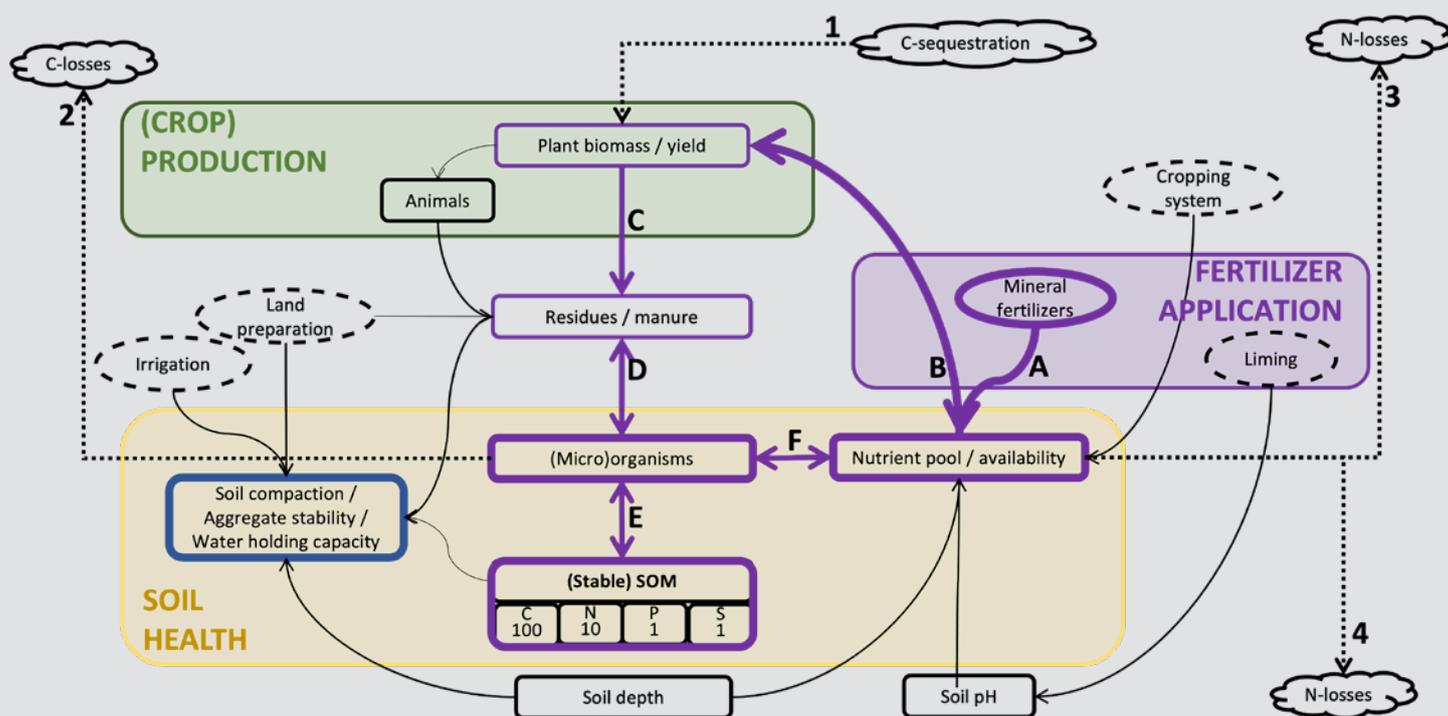


Abbildung 1. Ein allgemeines Bodengesundheitskonzept für Afrika. Rechtecke sind Systemkomponenten. Ovale stellen Managementinterventionen dar, sowie Emissionen und Sequestrierung als Wolken. Pfeile stellen Prozesse dar, die die Komponenten verbinden. Der blaue Rahmen bezieht sich auf die Wasserverfügbarkeit und die violetten Linien zeigen direkte Auswirkungen von mineralischen Düngemitteln auf Biomasse/Ertrag und organische Bodensubstanz (SOC). Gestrichelte Linien beziehen sich auf atmosphärische C- oder N-Verluste oder N, das aus dem Boden ausgewaschen wird. Quelle: Vanlauwe et al. 2023 (1).

2. DIE ZIELE VON DÜNGUNG UND BODENGESUNDHEIT: Die Verbesserung der Bodengesundheit in Subsahara-Afrika ist komplex:

- Um die landwirtschaftliche Produktivität zu stärken, sind sowohl Dünger als auch organische Anwendungen unerlässlich. Zusammen mit soliden agronomischen Praktiken, angepassten Saatgutsorten, Bodenverbesserungen und anderen Maßnahmen bildet dies die Grundlage für ein integriertes Bodenfruchtbarkeitsmanagement.
- Auf gesünderen Böden sind die Effizienz sowohl von Düngemitteln als auch von Wasser tendenziell höher. Daher trägt eine optimalere Bodenqualität direkt zur verbesserten landwirtschaftlichen Leistung bei.
- Eine erhöhte Zufuhr von Pflanzennährstoffen als Dünger ist unerlässlich für eine nachhaltige Landwirtschaft, die eine Steigerung der Nahrungsmittelproduktion und die Wiederherstellung der Bodengesundheit anstrebt. Rein organische Nährstoffzufuhr ist oft unzureichend für höhere Erträge und führt oft zur Erschöpfung des Bodens durch Entzug von Bodennährstoffen.
- Bodengesundheit aufzubauen und degradierte Böden zu rehabilitieren sind langfristige Prozesse.

3. DER KLIMAWANDEL ERFORDERT ENTSCHEIDUNGEN: Der Klimawandel beeinflusst das Verhältnis zwischen Dünger und Bodengesundheit. Es wird unerlässlich sein, Landwirte finanziell, technisch und strukturell zu unterstützen um sich auf die durch den Klimawandel entstehenden Risiken vorzubereiten und nachhaltige Praktiken im Bereich Düngung und Bodengesundheit anzugehen. Solche Investitionen werden wahrscheinlich eine hohe Rendite haben.

4. LANDWIRTE BEFÄHIGEN: Engpässe bei der Einbindung von Kleinbauern in Praktiken zur Wiederherstellung der Bodengesundheit sind hohe Vorabkosten, die benötigte Zeit, um sichtbare Vorteile zu erreichen, und der Zugang zu erschwinglichen Inputs. Düngersubventionen müssen im Hinblick auf die Ergebnisse der Bodengesundheit neu gestaltet werden. Bodengesundheit ist ein öffentliches Gut, was eine größere öffentliche Investition rechtfertigt.

5. INVESTITIONEN IN DIE BODENGESUNDHEIT ERFORDERN LOKAL ANGEPASSTE LÖSUNGEN: Das Management der Bodengesundheit sollte immer lokalisiert und kontextbasiert sein. Die spezifischen Lösungen für den Aufbau der Bodengesundheit hängen von den Bodeneigenschaften, der Umwelt, dem landwirtschaftlichen System, den angebauten Kulturen und den sozioökonomischen Fähigkeiten ab.

WAS IST BODENGESUNDHEIT?

Im weitesten Sinne bezeichnet die Bodengesundheit den allgemeinen Zustand und die Fähigkeit eines Bodens, einschließlich seiner physischen, chemischen und biologischen Eigenschaften, welche die Qualität eines Bodens definieren, als lebenswichtiges lebendiges Ökosystem zu fungieren um Pflanzen, Tiere und Menschen zu erhalten (2). Gesunder Boden hat eine gute Wasserspeicherefähigkeit, Drainage und Erosionsbeständigkeit, einen ausgeglichenen pH-Wert sowie ausreichende Mengen an Pflanzennährstoffen und organischer Substanz. Darüber hinaus erhält gesunder Boden eine vielfältige Gemeinschaft von Bodenorganismen, wie Bakterien, Pilze und Fauna, die wichtige Rollen im Nährstoffkreislauf spielen und die Bodenstruktur erhalten oder aufbauen. Basierend auf diesen Eigenschaften beeinflusst die Bodengesundheit direkt die Produktivität, Resilienz und Nachhaltigkeit von landwirtschaftlichen und natürlichen Ökosystemen.

Die Bewertung der Bodengesundheit beinhaltet die Analyse einer Reihe von physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften, welche die Bodenfruchtbarkeit, Produktivität und Nachhaltigkeit definieren. Spezifische Indikatoren beschreiben die Bodengesundheit, abhängig vom Kontext und den Planungszielen des jeweiligen Systems:

- **Physikalische Indikatoren:** Dazu gehören Bodentextur, -struktur, -porosität, Wasserspeicherefähigkeit und Infiltrationsrate. Physikalische Indikatoren können mit Bodenkernen oder -gruben gemessen werden, oder mit Instrumenten wie Penetrometern, Tensiometern und Bodenfeuchtesensoren.
- **Chemische Indikatoren:** Dazu gehören der pH-Wert des Bodens, Nährstoffgehalte (z.B. Stickstoff, Phosphor, Kalium, Mikronährstoffe), organischer Substanz und Kationenaustauschkapazität. Zur Messung chemischer Indikatoren werden Bodenproben in einem Labor analysiert oder der Nährstoffstatus der Ernte als Indikator für die Nährstoffversorgungskapazität des Bodens verwendet.
- **Biologische Indikatoren:** Dazu gehören die Präsenz und Vielfalt von Bodenorganismen, wie Bakterien, Pilze, Regenwürmer oder Nematoden. Biologische Indikatoren können mit Techniken wie Bodenenzym-Assays, Messungen der mikrobiellen Biomasse und DNA-Analysen gemessen werden. Ihre Interpretation in Bezug auf spezifische bodenagronomische Funktionen ist jedoch noch immer eine Herausforderung.

Zusammen geben diese Indikatoren einen guten Einblick in den Gesundheitszustand eines Bodens. Es stehen mehrere Protokolle zur Verfügung um die Bodengesundheit zu quantifizieren. Diese schließen das Comprehensive Assessment of Soil Health (3), der Soil Management Assessment Framework (4), regionale Leitlinien für Europa (5) oder vereinfachte nationale Programme wie das [Soil Health Card-Programm in Indien](#) ein. Im Allgemeinen ist die Validierung dieser Tools in Sub-Sahara-Afrika (SSA) noch begrenzt.

Spezifische Indikatoren und Schwellenwerte zur Quantifizierung der Bodengesundheit werden nach den Funktionen verwendet, die ein Boden erfüllen soll (6). Aus agronomischer Sicht erhöhen gesunde Böden die Erträge von Nutzpflanzen indem sie Nährstoffe freisetzen, Wasser speichern, das Wurzelwachstum erleichtern und Pflanzen vor Schädlingen und Krankheiten schützen (7). Der Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden ist von herausragender Bedeutung für dessen Gesundheitszustand, denn organische Bodensubstanz beeinflusst all diese Eigenschaften günstig. Die rechtzeitige und ausreichende Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen ist besonders kritisch, da sie das Wachstum der Pflanzen sowie die Bodengesundheit beeinflussen. Je nach Bodentyp können komplexe Prozesse Phosphor (P) im Boden immobilisieren und so dessen Verfügbarkeit beeinträchtigen. In SSA ist der austauschbare Kalium (K)-Gehalt in vielen Böden zu gering, um gute Erträge von Wurzel- und Knollengemüse zu erzielen. Bodensäure ist ein weiterer wichtiger Indikator; das Pflanzenwachstum ist in der Regel bei pH-Werten unter 5 oder über 8 eingeschränkt. Physikalische Indikatoren für die Bodengesundheit hängen mit der Leichtigkeit des Wurzelwachstums durch den Ober- und Unterboden und der Regulierung der Wassereinfiltration und -speicherung zusammen. Obwohl es wichtig sein könnte, ihren Einfluss auf die Bodengesundheit zu quantifizieren oder zu bewerten, sind aktuell mikrobiologische Messungen nicht einfach zu interpretieren und liefern möglicherweise nicht glaubwürdige Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand des Bodens (8). Trotzdem wurden Fortschritte in Brasilien erzielt, wo die Bodenbioanalyse (SoilBio) zunehmend von Landwirten eingesetzt wird (Box 1).

Zusätzlich zu den notwendigen spezifischen Indikatoren zur Bewertung der Bodengesundheit müssen drei weitere Aspekte berücksichtigt werden: (i) die räumliche Heterogenität der Bodeneigenschaften; (ii) die Änderungsrate einiger Indikatoren; und (iii) die Kosten für die Messung von Indikatoren auf großen Flächen (9). Alternativ könnte man statt der direkten Messung von Bodengesundheitsindikatoren die Veränderung in der Bewirtschaftung von Pflanzen und Böden in Bezug auf erwartete Veränderungen im Status von Schlüsselindikatoren durch empirische oder mechanistische Modellierung beurteilen.

Die Produktivität von Nutzpflanzen hängt direkt von den Schlüsselindikatoren der Bodengesundheit ab, so z. B. dem SOC, verfügbarem P, austauschbarem K, Boden-pH oder wasserstabile Aggregation. In diesem Brief konzentrieren wir uns auf den organischen Kohlenstoffgehalt im Boden (SOC), weil er ein zentraler Indikator für Bodengesundheit und schwierig zu managen ist. Gleichzeitig existieren bereits Lösungen zur Bewältigung von niedrigem verfügbarem P, K, S, Mikronährstoffen und sauren Böden.

BOX 1: ERFAHRUNG MIT INDIKATOREN DER BODENGESUNDHEIT IN BRASILIEN.

Die Wirtschaft in Brasilien basiert stark auf der Landwirtschaft, weshalb der Wiederaufbau der Bodenfruchtbarkeit und die Erhaltung der Bodenqualität/-gesundheit priorisiert werden. Über Jahrzehnte hinweg wurden chemische und physikalische Parameter, einschließlich dem organischen Kohlenstoffgehalt (SOC), evaluiert, um Indikatoren für die Bodenqualität/-gesundheit zu suchen, die zuverlässig und für großflächige Analysen anwendbar sind. Ende der 1990er Jahre wurden mikrobielle Parameter, wie der Biomasse C und N und ein metabolischer Quotient als interessante Indikatoren vorgeschlagen, welche in der Lage sind, Veränderungen früher zu erkennen als chemische oder physikalische Parameter (10). Dafür diente eine Langzeitstudie in der Cerrado-Region, einer Savannenregion mit vielen Ähnlichkeiten zu SSA. Hier wurden mikrobielle Indikatoren als Funktionen der relativen kumulativen Erträge von Mais und Sojabohnen und SOC interpretiert und die kritischen Niveaus auf der Grundlage von Kriterien definiert, die ähnlich denen in Bodennährstoff-Kalibrierungstests verwendet werden (11). Spätere Studien fanden heraus, dass nur zwei Enzyme, Arylsulfatase und β -Glucosidase, mit dem Kohlenstoff- und Schwefelkreislauf in Verbindung standen (12). Diese beiden Bodenenzyme, zusätzlich zu routinemäßigen chemischen Analysen, wurden 2020 in eine Soil Bioanalysis-Technologie integriert (13), die von Landwirten mehr und mehr genutzt wird, um die Bodengesundheit zu beurteilen. Konsistente Ergebnisse aus Studien über zwei Jahrzehnte zeigen, dass es Jahre dauern kann, bis Veränderungen in SOC erkannt werden. Gleichzeitig können jedoch schnelle Veränderungen in mikrobiellen enzymatischen Aktivitäten festgestellt werden.

WAS SIND DIE PROBLEME?

1. DIE ANWENDUNG VON DÜNGEMITTELN UND DIE ERTRAGSPRODUKTIVITÄT NEHMEN ZU, ABER DER FORTSCHRITT IST ZU LANGSAM

Die landwirtschaftliche Produktion in Sub-Sahara-Afrika (SSA) muss dringend gesteigert werden um die Lebensmittel- und Ernährungssicherheit der wachsenden Bevölkerung zu gewährleisten (1). Wenn eine Intensivierung nicht erfolgreich ist und eine massive Expansion des Ackerlandes vermieden werden soll, würde SSA noch abhängiger von Importen von Getreide und anderen Grundnahrungsmitteln werden, als es bereits der Fall ist. Im Jahr 2004 rief der damalige UN-Generalsekretär Kofi Annan zu einer einzigartigen afrikanischen Grünen Revolution auf, die in der reichen Vielfalt des Kontinents Wurzeln schlagen sollte. 2006 erkannte die Afrikanische Union in der *Abuja-Erklärung über Dünger für eine afrikanische Grüne Revolution*¹ die kritische Notwendigkeit an, den Zugang zu Düngemitteln zu verbessern um eine afrikanische Grüne Revolution zu erreichen und die Armutsfalle, die durch schlechte und abnehmende Bodenfruchtbarkeit verursacht wurde, zu minimieren. Doch der Fortschritt war langsam (2, 3) und das Problem bleibt bestehen, was oft zu einem Rückgang des Pro-Kopf-Ertrags für viele Länder in SSA führt. Obwohl der durchschnittliche Einsatz von Düngemittelnährstoffen in SSA im Jahr 2022 nur 15 kg $N+P_2O_5+K_2O$ /ha betrug (ohne Südafrika), haben mehrere Länder das Abuja-Ziel von 50 kg/ha erreicht oder tatsächlich schon überschritten². Besorgniserregend ist jedoch, dass der durchschnittliche Düngemittelverbrauch in SSA seit 2019 stagniert.

In Asien stieg dagegen die landwirtschaftliche Produktion schnell an und wurde hauptsächlich durch das Wachstum der Erträge angetrieben. Die durchschnittlichen Getreideerträge haben sich in den letzten 60 Jahren mehr als verdreifacht, während die Getreidefläche nur um etwa 20% zugenommen hat. In Afrika hingegen wuchsen die Erträge nur langsam während sich die Anbaufläche im gleichen Zeitraum mehr als verdoppelte (Abbildung 2, links). Ungeachtet enttäuschender kontinentweiter Zahlen haben es einige Länder in Afrika geschafft, den Einsatz von Düngemitteln zu erhöhen, mit guten Resultaten. In Äthiopien zum Beispiel haben sich die Maiserträge hauptsächlich auf bestehendem Land in den letzten 20 Jahren fast verdoppelt (Abbildung 2, rechts). Erhöhter Düngemittelverbrauch, bessere Sorten und weitere Optimierungsschritte haben diese Veränderung bewirkt.

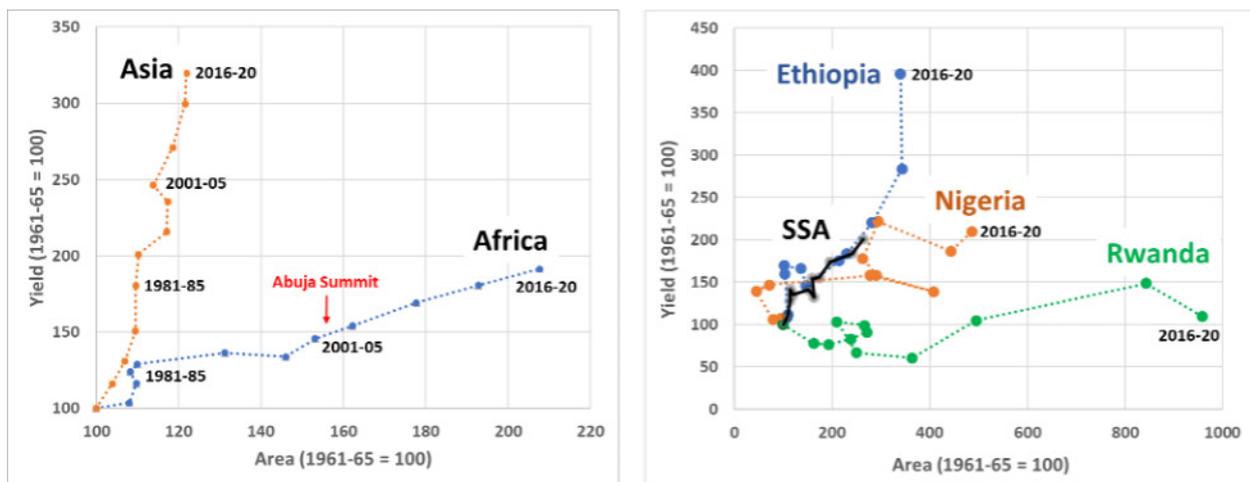


Abbildung 2. Relative Veränderungen im Getreideertrag und in der geernteten Fläche in Asien und Afrika (links) und im Maisertrag und in der Fläche in Sub-Sahara-Afrika (SSA), Äthiopien, Nigeria und Ruanda (rechts), 1961-2020. Die gezeigten Daten sind 5-Jahres-Durchschnitte, wobei der Durchschnitt von 1961-1965 als 100 gesetzt ist. Quelle: FAOSTAT (<https://www.fao.org/faostat/>).

Die Erhaltung der Bodengesundheit ist ein global relevantes Thema. Allerdings ist die Situation in SSA einzigartig, weil große Gebiete unter Kleinbauernwirtschaft weiterhin unter Nährstoffabbau leiden, der die Produktionskapazität großer Agrarflächen erodiert. SSA bleibt die einzige Weltregion mit negativen Nährstoffbilanzen, die im Laufe der Zeit weiterhin zunehmen, wie beispielsweise für Phosphor und Kalium in Abbildung 3 gezeigt. Tatsächliche Nährstoffbilanzen sind noch negativer, weil Verluste durch entfernte Ernterückstände, Auswaschung, Abfluss oder Erosion nicht in diesen Analysen enthalten sind. Allerdings bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den Regionen und Ländern in Afrika, wobei West- und Zentralafrika generell am schlechtesten abschneiden (Abbildung 2).

1. <https://www.afdb.org/en/topics-and-sectors/initiatives-partnerships/africa-fertilizer-financing-mechanism/about-affm/abuja-declaration>
2. Weitere Informationen gibt es auf <https://africafertilizer.org>

Es ist nun allgemein akzeptiert, dass das Produzieren von Nahrungsmitteln auf diese Weise - auf Kosten der Bodengesundheit - eine untragbare Armutsfalle ist. Die Produktivitätssteigerung von Kulturpflanzen um den aktuellen und zukünftigen Nahrungsbedarf zu decken und die Verbesserung der Bodengesundheit in SSA wird nur erfolgreich sein, wenn der Einsatz von Düngemittelnährstoffen erhöht und effizient verwendet wird (4).

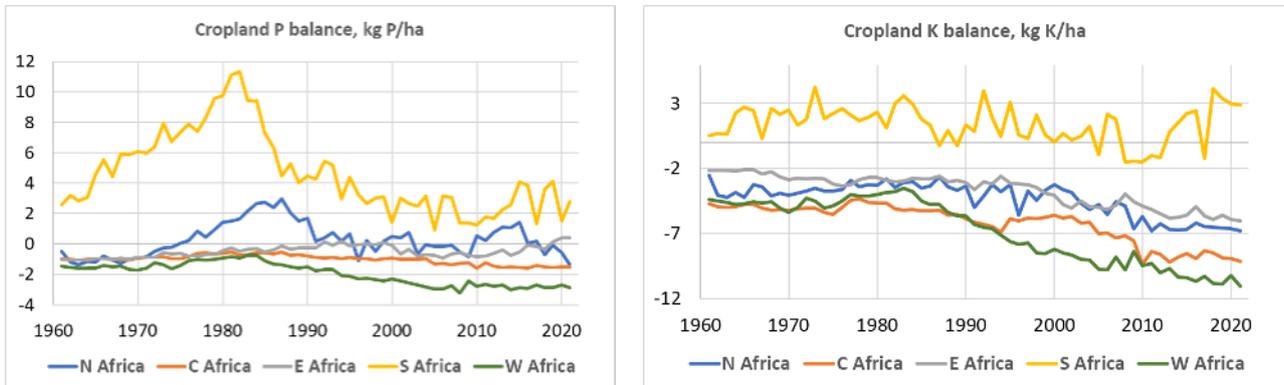


Abbildung 3. Phosphor- (links) und Kalium- (rechts) Ein-Ausgangsbilanzen für Ackerland in verschiedenen Teilregionen Afrikas, 1961-2021. Nährstoffeinsätze umfassen Dünger, Gülle und Samen. Nährstoffausgänge beziehen sich auf die Entfernung des geernteten Pflanzenprodukts. Die angezeigten Werte sind nationale Durchschnitte für alle angebauten Kulturen, d.h. alles Ackerland. Nicht enthalten sind Grünland oder andere Landnutzungen. Quelle: FAO-Datenbank für Nährstoffbilanzen von Ackerland (17).

2. VON DER KONZENTRATION AUF ERTRAGSSTEIGERUNGEN ZUR ANERKENNUNG DER BODENGESUNDHEIT ALS VORRAUSSETZUNG FÜR NACHHALTIGKEIT

In den 1980er und 1990er Jahren richtete sich die Aufmerksamkeit in SSA zunehmend auf die Bedürfnisse kleinerer Farmen mit einem Schwerpunkt auf die entscheidende Rolle der Bodenfruchtbarkeit und den weit verbreiteten negativen Auswirkungen von negativen Nährstoffbilanzen (18, 19). Um die Bedürfnisse kleiner Betriebe und Böden mit geringer Fruchtbarkeit zu erfüllen, wurde ein Bodenmanagementparadigma formuliert (20), das die Notwendigkeit betonte, 'mehr auf biologische Prozesse zu vertrauen, um den Nährstoffkreislauf zu optimieren, externe Inputs zu minimieren und die Effizienz ihrer Nutzung zu maximieren'. Der erste Schwerpunkt lag auf der Verwendung von Pflanzensorten, die an ungünstige Bodenverhältnisse wie z.B. saure Böden oder schlechte Nährstoffverfügbarkeit angepasst waren, und auf der Erhöhung der Verfügbarkeit organischer Anwendungen zur Ergänzung von Düngemitteln, mit einem starken Schwerpunkt auf verbesserten (leguminösen) Brachen oder Zwischenfrüchten. Organische Bodensubstanz und der kombinierte Einsatz von mineralischen Düngemitteln und organischen Inputs wurden als Mittel zur Steigerung der Nährstoffeffizienz betont. Gleichzeitig erhielt die sogenannte Low-External-Input Sustainable Agriculture (LEISA) viel Aufmerksamkeit (21). In dieser Zeit wurde deutlich, dass die geringen Erträge ohne ausreichende Nährstoffzufuhr die kritischen Fragen von Armut und Ernährungssicherheit nicht lösen können. Aufgrund dieser Bedenken verlagerte sich der Fokus auf die Wiederherstellung der Bodenfruchtbarkeit (22).

Das Paradigma des Integrierten Bodenfruchtbarkeits-Managements (ISFM) (23) entstand in den 2000er Jahren auf der Grundlage jahrzehntelanger Boden- und Pflanzenforschung in Afrika. Im Gegensatz zu früheren Paradigmen erkennt das ISFM die entscheidende Notwendigkeit an, alle organischen und mineralischen Nährstoffressourcen effizient zu nutzen wobei der Fokus auf dem Einsatz von Düngemitteln als Einstiegspunkt zur Intensivierung der Kleinlandwirtschaft liegt. Es folgt einem schrittweisen Ansatz zur Rehabilitation, Verbesserung und Wiederaufbau der Böden. Zuerst werden Düngemittel und verbesserte Pflanzensorten eingesetzt um die Produktivität zu steigern und den Boden fruchtbar zu machen. Der nächste Schritt besteht darin, organische Anwendungen in die Bodenbewirtschaftung zu integrieren um organische Bodensubstanzen aufzubauen, die ein integraler Bestandteil vieler Bodenfunktionen sind. Beispielsweise kann die Inokulation von Leguminosen mit stickstofffixierenden Bakterien (Rhizobien) zur Steigerung des Leguminosenertrags und damit der In-situ-Verfügbarkeit organischer Inputs in Form von Ernterückständen genutzt werden (24). Es gibt Möglichkeiten, verschiedene Biostimulanzien zur Ertragsteigerung einzusetzen (25). Allerdings ist dabei Vorsicht geboten, da derzeit viele unwirksame Biostimulanzien in SSA vermarktet werden (26). Andere Änderungen oder Praktiken, wie z.B. die Kalkung, Wassergewinnung oder Tiefenbearbeitung, werden ebenfalls einbezogen um lokale Bodenprobleme zu verbessern.

In den letzten zwei Jahrzehnten wurden auch zunehmend in die konservierende Landwirtschaft (conservation farming) investiert, welche hauptsächlich durch Besorgnis um Bodenerosion und -verlust angetrieben wurden. Kleinbauern fehlen jedoch oft die Mittel um die allgemein empfohlenen drei Säulen der konservierenden Landwirtschaft (27) umzusetzen: (i) Minimieren der Bodenbearbeitung; (ii) Kontinuierliche Bodenbedeckung; und (iii) Diversifizierung der Anbausysteme und Fruchtfolgen. Um ausreichende Erträge zu gewährleisten wurde später ein vierter Grundsatz vorgeschlagen: die angemessene Verwendung von Mineraldüngern (28). Die konservierende Landwirtschaft ist am erfolgreichsten in Weltregionen wie Süd- und Nordamerika oder Australien (29). In all diesen Regionen sind die Farmen größer und Bauern haben Zugang zu moderner Technologie, einschließlich geeigneter Maschinen, hochwertiges Saatgut, Düngemittel, gute Unkraut-, Krankheits- und Schädlingsbekämpfung. Im Gegensatz dazu haben Bauern in Malawi selten alle Grundlagen der konservierenden Landwirtschaft gleichzeitig angewendet, wodurch kaum Vorteile auftraten (30).

In jüngster Zeit erhalten 'Agroökologie' und 'regenerative Landwirtschaft' zunehmend Aufmerksamkeit, welche ebenso andere Ökosystemdienstleistungen neben der Pflanzenproduktivität als wichtig erachten. Die Bodengesundheit wird als Schlüsselindikator für die Bereitstellung dieser anderen Dienstleistungen betrachtet. Die regenerative Landwirtschaft bevorzugt Praktiken, die (i) die Wasserinfiltration fördern und Bodenerosion verhindern; (ii) organischen Bodenkohlenstoff aufbauen und den biologischen Nährstoffkreislauf fördern; (iii) die Pflanzenvielfalt fördern; (iv) Tierhaltung integrieren; und (v) die Abhängigkeit von externen Inputs reduzieren (31). Die Anwendung dieser Ideen auf die typischen landwirtschaftlichen Situationen in SSA sind jedoch mit erheblichen Mängeln verbunden (32). Pflanzennährstoffe müssen zunächst verfügbar gemacht werden bevor die Ziele der regenerativen Landwirtschaft erreicht werden können.

3. In diesem Dokument beziehen wir uns auf Bodenorganischen Kohlenstoff (SOC). Weiter beziehen wir uns auf organische Bodensubstanz (SOM), die aus organischen Verbindungen besteht, welche C, N und andere Elemente enthalten. In diesem Sinne ist SOC ein messbarer Indikator für SOM. In diesem Dokument verweisen wir auf SOM sowohl als eine Eigenschaft, die mehrere Funktionen beherbergt, als auch auf ein Element, das durch Bodenbewirtschaftungspraktiken verwaltet werden kann. Deswegen haben wir beschlossen, uns im Text nur auf den SOC zu beziehen, wobei wir darauf hinweisen, dass die Mengen an SOC und SOM unter den meisten Umständen stark korrelieren.

Grundsätzlich hat die Grüne Revolution in den letzten Jahrzehnten eine erhöhte Nahrungsmittelproduktion ermöglicht, die das globale Bevölkerungswachstum überstiegen hat, mit Ausnahme in SSA. Innerhalb der SSA wurden in den letzten Jahrzehnten viele landwirtschaftliche Konzepte und Praktiken gefördert, die weder der Bodengesundheit noch den Landwirten und Lebensmittelkonsumenten zugute kamen. Es ist nun dringend notwendig, dies zu korrigieren und sich darauf zu konzentrieren, die Landwirtschaft nachhaltig zu intensivieren. Gleichzeitig müssen dabei die zunehmende Sensibilität für umwelt- und gesellschaftliche Herausforderungen im Zusammenhang mit Ernährungssystemen berücksichtigt werden (16). Die Verbesserung von Nährstoffzufuhr für Boden-, Pflanzen- und menschliche Gesundheit hat in der SSA Region höchste Priorität.

3. DÜNGEMITTEL UND BODENGESUNDHEIT – FREUNDE ODER FEINDE?

Düngemittelanwendung, Ertragsproduktivität und Bodengesundheit sind eng miteinander verknüpft (Abbildung 2). Pflanzenbiomasse als Futtermittel für Tiere und Nahrungsmittel für Menschen (oberste linke Box in Abbildung 1) wird mit ausreichend Licht, Wasser und Nährstoffen produziert. Große Mengen an Pflanzennährstoffen werden von Feldern durch den Export und Verbrauch von Kulturen entfernt. Gesunde Böden (unterste Box in Abbildung 1) umfassen günstige physikalische, chemische und biologische Eigenschaften mit mehreren interagierenden Prozessen. Die organische Bodensubstanz besteht aus pflanzlichen, tierischen und mikrobiellen Rückständen in verschiedenen Zerfallsstadien als Energie- und Nährstoffquellen für (Mikro)Organismen. Düngemittel (oberste rechte Box in Abbildung 1) fördern das Wachstum indem sie Nährstoffe zur Unterstützung der Pflanzenproduktivität und der Kohlenstofffixierung bereitstellen.

Die Verwendung von Düngemitteln ist notwendig um Ernteerträge und damit die Produktion von organischen Rückständen und den SOC zu erhöhen sowie N, P und S im Boden zu speichern und zu binden. Im Durchschnitt führt eine 1%-ige jährliche Steigerung der Ernteerträge zu einer 0,3%-igen jährlichen Steigerung des SOC-Bestands in Afrika, Asien und Lateinamerika (Abbildung 4). Die große Streuung in dieser Beziehung zeigt, dass viele andere Faktoren neben den erhöhten Ernteerträgen den SOC beeinflussen, d.h. zusätzliche Praktiken sind notwendig, um sicherzustellen, dass erhöhte Ernteerträge und Biomasseproduktion die Bodengesundheit verbessern.

Die langfristige Anwendung von Düngemitteln in gemäßigten Klimazonen erhöht oder erhält den SOC aufrecht (34, 35). Allerdings ist die Forschung über die Auswirkungen von Düngemittelanwendung auf den SOC in den Anbausystemen in SSA noch spärlich. Allgemein zeichnet es sich ab, dass unter derzeitigen Produktivitätsniveaus übliche bodengesundheitsfördernde Praktiken den SOC (36) nicht generell erhöhen. Beim Beurteilen der Auswirkungen von Düngemitteln auf den SOC fand Beillouin et al. (37) nur eine Metaanalyse, die Experimente in SSA (38) abdeckt, die ebenfalls keinen signifikanten Einfluss von Düngemitteln auf den SOC zeigten (Abbildung 5). Ebenso zeigte eine kürzlich durchgeführte Analyse von 25 Langzeitexperimenten, die in SSA mit unterschiedlichen Klima-, Boden- und mineralischen Düngemittelinputs durchgeführt wurden, keine klaren Beweise dafür, dass die Düngemittelanwendung den SOC wesentlich aufrecht erhält (Abbildung 6).

Wahrscheinlich erklären die niedrigeren Ernteertragsniveaus (und damit C-Einträge) in SSA die unterschiedlichen Trends, die weltweit auf Ackerflächen beobachtet werden. Außerdem wurden nur wenige der beinhalteten Studien über fünf oder mehr Jahre durchgeführt und es ist wahrscheinlich, dass unter anderen Bedingungen unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden können. Eine andere Möglichkeit den SOC zu erhöhen, ist die Überführung von Biomasse, d.h. die Anwendung von organischen Material, welches außerhalb des Areals produziert wurde. Dies stellt jedoch keinen Nettonutzen dar, da es die Bodengesundheit auf dem Land erschöpft, auf dem die Biomasse produziert wurde. Es gibt jedoch Anzeichen dafür, dass durch Einbeziehen von Sojabohnen der SOC-Gehalt und die Landproduktivität (39) verbessert werden können.

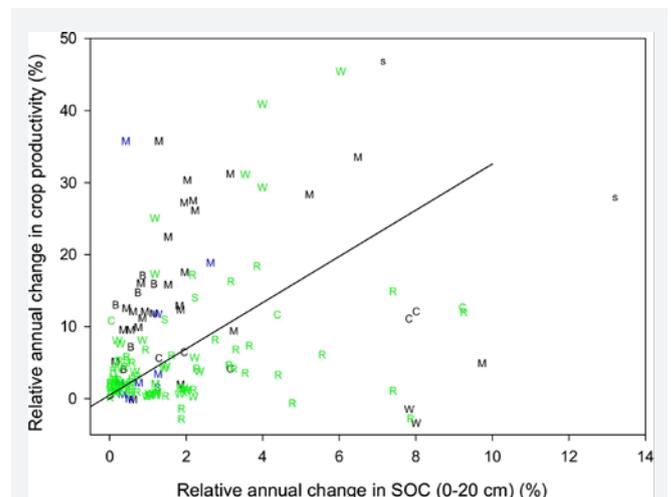


Abbildung 4. Relative jährliche Änderungen der Ertragsproduktivität und des organischen Kohlenstoffvorrats des Bodens (über 0 - 20 cm) (%) nach Änderungen in der Landbewirtschaftungspraxis (33). Kulturpflanzen (Symbole): B, Bohnen; C, Maniok; M, Mais; P, Süßkartoffeln; R, Reis; S, Sojabohnen; s, Sorghum; W, Weizen. Regionen: Afrika (schwarz); Asien (grün); und Lateinamerika (blau). Die durchgezogene Linie ist die Standard-Hauptachsenregression für alle Datenpunkte ($y = 0.495 + 3.21x$; $r = 0.205$, $P < 0.012$).

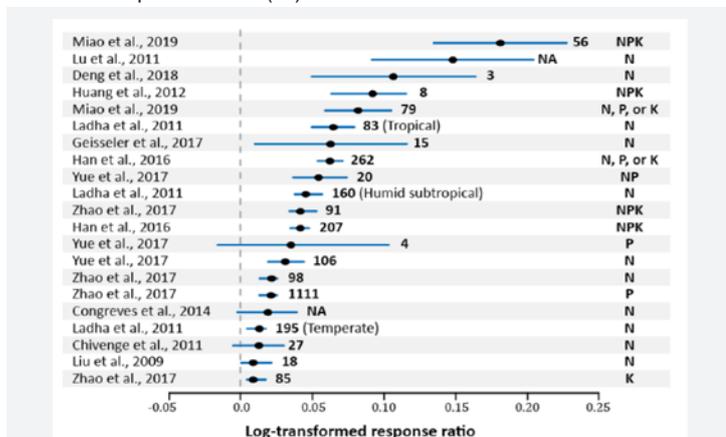


Abbildung 5. Zusammenfassung von Metaanalysen zur Bewertung der Auswirkungen von Düngemitteln auf SOC. Studien kommen aus allen Weltregionen. Chivenge et al. 2011 (38) ist die einzige Studie, die Experimente in SSA abdeckt. Düngemittel-Einträge sind angegeben als N - Stickstoff; P - Phosphor; und K - Kalium. Datenpunkte repräsentieren die durchschnittliche Effektgröße und Fehlerbalken repräsentieren gepaarte Konfidenzintervalle. Zahlen repräsentieren gepaarte Daten (Anz.von Fällen) die in einer gegebenen Metaanalyse verwendet wurden. Quelle: Daten aus der Evidenzkarte von Beillouin et al. (37).

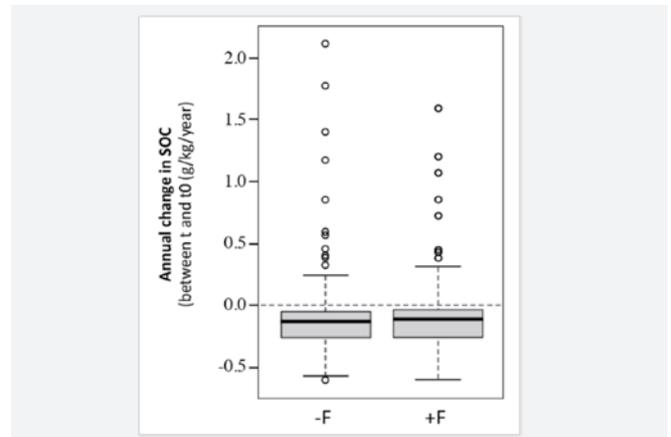
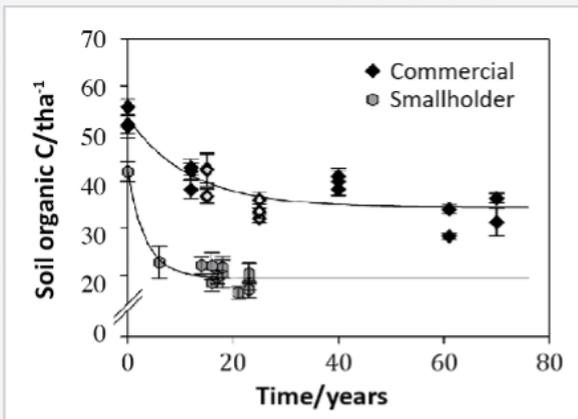


Abbildung 6. Boxplot der jährlichen Änderung des SOC zwischen dem Ende und dem Beginn des Langzeitexperimentes in der Behandlung mit Düngemitteln (+F) und der Kontrolle (-F) für 25 Langzeitexperimente in Sub-Sahara-Afrika. Quelle: M. Corbeels et al., unveröffentlicht.

4. BEGRENZUNGEN DER ERHÖHUNG DES ORGANISCHEN KOHLENSTOFFGEHALT IM BODEN

Inwieweit kann der SOC unter den Bedingungen in SSA tatsächlich erhöht werden? Der organische Kohlenstoff im Boden unter natürlicher Vegetation könnte als erreichbares SOC-Niveau für eine gegebene Boden- und Klimakombination betrachtet werden. Während der ursprüngliche SOC auf ungestörten Standorten einige allgemeine Orientierungshilfen für das C-Sequestrierungspotenzial von Böden bietet, ist dies kein realistisches Ziel für die SOC-Wiederherstellung unter Landwirtschaft. Natürliche Ökosysteme sind nicht dafür geschaffen viel Biomasse für die menschliche Ernährung zu produzieren. Stattdessen werden sie von Pflanzenarten dominiert, die einen Großteils ihres Kohlenstoffs den Wurzeln bereitstellen, die primäre Quellen für die Bildung stabiler organischer Bodensubstanz sind. Daher könnte die erreichbare SOC-Wiederherstellung mithilfe der Landwirtschaft realistisch gesehen nur 60 - 70% ihres natürlichen Potentials erreichen (40).

Degradierendes organisches Material setzt große Mengen an CO₂ frei, wie z.B. nach der Rodung von Land. Dadurch nimmt der Kohlenstoffgehalt des Bodens weiter ab, wenn kontinuierlich angebaut wird und nur begrenzte bis keine mineralischen oder organischen Einträge erfolgen. Allerdings sind selbst Böden unter kommerziellen landwirtschaftlichen Praktiken nicht in der Lage den SOC auf die unter natürlicher Vegetation beobachteten Niveaus wiederherzustellen (Abbildung 7). Ob diese Beobachtung ein großes Problem darstellt oder nicht, hängt von der Menge an SOC ab, die benötigt wird, um kritische Ökosystemfunktionen für die vorgesehene Landnutzung aufrechtzuerhalten, die von Bodeneigenschaften und klimatischen Bedingungen beeinflusst werden - eine Frage, die noch auf eine schlüssige Antwort wartet. Allerdings passt sich die Funktion des Bodens an das Ökosystem an wenn sich die Landnutzung von natürlicher Vegetation zu Ackerbau oder anderen Formen der Landwirtschaft ändert und sich daher ein niedrigerer SOC einstellt.



Den SOC-Gehalt zu erhöhen ist eine Option für solche Böden in Afrika, die die Fähigkeit haben, organische Bodensubstanz zu stabilisieren. Dies schließt zum Beispiel Lehm Böden mit hohen Oxidgehalten ein, die in großen Teilen Afrikas üblich sind. Afrikanische Böden können wichtige C-Senken sein, da sie einen massiven Rückgang des SOC als Folge von niedrigen C-Einträgen in den Boden erlebt haben. Die Anwendung von organischen Materialien kann den SOC erhöhen, aber die begrenzte Verfügbarkeit solcher organischen Einträge ist ein Hindernis. Das Hinzufügen von organischem Material aus externen Quellen ist begrenzt und kann zu einer C-Verarmung in den Gebieten führen, wo dieses organische Material gesammelt wurde. Daher ist die Anwendung von Dünger ein realistischerer Weg den SOC zu erhöhen, d.h. durch die Produktion größerer Mengen an Biomasse in-situ, insbesondere Wurzeln. Zur Bildung einer Tonne stabiler organischer Bodensubstanz sind allerdings auch etwa 100 kg N, 10 kg P und 10 kg S (42) notwendig, aus dem Boden and aus der Düngung.

Abbildung 7. Änderungen im organischen Kohlenstoffgehalt des Bodens nach der Rodung von Waldland, beeinflusst durch Dauer und Intensität der Landwirtschaft in Chikwaka, Simbabwe (41).

5. WIRTSCHAFTLICHE REALITÄTEN

Obwohl Düngemittel Schlüsselkomponenten nachhaltiger Ernährungssysteme sind, hängt ihr Einsatz in Afrika stark von unsicheren politischen Bedingungen ab. Der Düngemittelseinsatz variiert stark zwischen und innerhalb der Länder aufgrund unterschiedlicher mikro- und makroökonomischer Bedingungen. Darüber hinaus sind biophysikalische Bedingungen, wie die Menge des Niederschlags und Bodenart, wichtig. Das Risiko eines Ernteausfalls aufgrund geringer Niederschläge ist ein starker Abschreckungsfaktor für den Kauf und Einsatz von Düngemitteln bei Subsistenzkulturen.

In ganz Sub-Sahara-Afrika sind die Erträge viel niedriger als was unter den gegebenen Umweltbedingungen und verfügbaren Technologien erreichbar wäre. Die Ertragslücken in der Kleinbauernlandwirtschaft in SSA sind die größten weltweit (43) dank des geringen Einsatzes von Düngemitteln kombiniert mit der geringen Düngemittelnutzungseffizienz (44). Die Schließung der Ertragslücke in SSA ist der primäre Weg um die Ernährungssicherheit und das Wohlbefinden ländlicher Haushalte zu verbessern (14). Allerdings müssten Bauern dringend mehr Düngemittel verwenden, als sie es derzeit tun.

Obwohl es technisch möglich wäre die Erträge in vielen Regionen Sub-Sahara-Afrikas zu steigern, ist dies aufgrund relativ hoher Düngemittelpreise und relativ niedriger Erzeugerpreise nicht zwangsläufig wirtschaftlich rentabel für Bauern. Standortsspezifische ökologische und wirtschaftliche Bedingungen beeinflussen stark die wirtschaftlichen Renditen von Düngemittelinvestitionen (45). Die letztgenannte Studie zeigte, dass (i) die durchschnittliche wirtschaftliche Ertragslücke (die Differenz zwischen aktuellem Ertrag und gewinnmaximierendem Ertrag) etwa 25% der ökologischen Ertragslücke betrug; (ii) obwohl die Maiserträge profitabel verdoppelt werden könnten, sind die wirtschaftlichen Anreize dazu schwach aufgrund ungünstiger Preisverhältnisse; und (iii) das Risiko von variablen saisonalen Niederschläge dies verschärft. Innerhalb der Länder besteht eine erhebliche Variation der Rentabilität von Düngemitteln. Diese Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, Düngemittel-Empfehlungen auf die lokalen Umwelt- und Wirtschaftsbedingungen in kleineren Gebieten abzustimmen.

Variationen in der Einführung landwirtschaftlicher Technologien können auf Unterschiede zwischen den Bauern, Betrieben und örtlichen Bedingungen, in denen sie arbeiten, zurückgeführt werden. Bauern sind weniger geneigt, Düngemittel anzuwenden, wenn das Risiko einer Nicht-Reaktion oder einer nicht rentablen Reaktion hoch ist, die Düngemittelpreise zu hoch sind (und es keine staatliche Unterstützung gibt) oder die Getreidepreise zu niedrig sind.

Land ist ein weiterer Schlüsselfaktor für die Pflanzenproduktion. Landwirte mit großen Betriebsanlagen und Landbesitz sind eher bereit, in Düngemittel und Bodengesundheitspraktiken zu investieren. Sie haben wahrscheinlich auch signifikante oder ausreichende Mengen an organischen Ressourcen. Landwirte ohne gesicherten Landbesitz investieren eher unwahrscheinlich in Düngemittel oder andere Bodengesundheitspraktiken als diejenigen, die mehr Sicherheit haben, die mittel- bis langfristigen Vorteile zu nutzen (46-48). Landbesitzer können auch Kredit aufnehmen als eine Voraussetzung für Investitionen in Technologien. Das Alter, das Geschlecht (49) und das Bildungsniveau eines Landwirts sind weitere Faktoren, die die Einführung von Technologien beeinflussen und dem Wissen, den Fähigkeiten, den Vorlieben und der Risikobereitschaft eines Landwirts entsprechen. Obwohl dies ein wichtiges Thema ist, das direkt den Gebrauch von Düngemitteln und deren Auswirkungen auf die Bodengesundheit beeinflusst, liegt eine detaillierte Analyse der Faktoren, die diesem Thema zugrunde liegen, außerhalb des Aufgabenbereichs des vorliegenden Briefs.

LÖSUNGEN UND ERFORDERLICHE MAßNAHMEN

Es sind eine Reihe von Lösungen und Maßnahmen erforderlich, um sicherzustellen, dass Düngemittel effizient eingesetzt werden und ihre Anwendung zu erhöhten Ernteerträgen führt, während die Bodengesundheit erhalten oder sogar verbessert wird.

- 1. Konsens darüber, was Bodengesundheit ausmacht, basierend auf spezifischen Funktionen für die Landnutzung:** Es ist eine Rahmenordnung für Leistungsindikatoren erforderlich, die die Bodengesundheit und die Schlüsselfunktionen eines gesunden Bodens für die beabsichtigte Landnutzung definiert. Solche Indikatoren müssen messbar und in Bezug auf die Schlüsselfunktionen des Bodens sowie auf die Managementpraktiken, die sie beeinflussen, interpretierbar sein. Der organische Kohlenstoffgehalt des Bodens wird allgemein als Schlüsselindikator anerkannt. Neben SOC könnten allerdings auch verfügbares P, austauschbares K, Bodensäure, und wasserstabile Aggregate die Gruppe der Schlüsselindikatoren für die Bodengesundheit in Bezug auf die Pflanzenproduktivität in SSA vervollständigen. Derzeit besteht kein Konsens über leicht messbare biologische Indikatoren, trotz Fortschritten, die anderswo gemacht wurden (Box 1). Falls notwendig, können zusätzliche Boden- oder Pflanzenindikatoren verwendet werden, um die Versorgungskapazität des Bodens für spezifische Pflanzennährstoffe, einschließlich Mikronährstoffe, zu quantifizieren.
- 2. Überwachungssysteme zur Beurteilung des Fortschritts und zur Unterstützung des Bodengesundheitsmanagements:** Nationale oder regionale Überwachungssysteme sollten öffentliche Investitionen in die Bodengesundheit unterstützen, indem sie Veränderungen im Laufe der Zeit und im Raum überwachen. Solche Bodeninformationen sollten offen zugänglich sein, wodurch auch digitale Informationsressourcen in ganz Afrika verbessert werden (50). Ein weiterer wichtiger Weg ist die Bodengesundheitsüberwachung als Teil von vertikal integrierten Lieferketten, zum Beispiel in Bezug auf nachhaltige Produktionsstandards, die von Unternehmen umgesetzt werden. Harmonisierte und wissenschaftlich fundierte Bewertungsrahmen für die Bodengesundheit müssen global akzeptierte standardisierte Betriebsverfahren und Datenmanagementsysteme integrieren, die von öffentlichen Beratungsagenten sowie privaten Agronomen umgesetzt werden.
- 3. Bewusstseinsbildung darüber, wie Landwirte und die Gesellschaft von einer verbesserten Bodengesundheit profitieren:** Die Bodengesundheit kommt der Gesellschaft als Ganzes zugute, indem sie zahlreiche Ökosystemdienstleistungen bereitstellt und reguliert. Kleinbauern profitieren von der Gesundheit des Bodens, da die Ernteerträge steigen und die Produktionssysteme effizienter werden, was letztendlich zu besseren Renditen führt. Die Bodengesundheit ist außerdem ein öffentliches Gut. Investitionen in die Bodengesundheit, die durch die tatsächliche Quantifizierung dieser Vorteile informiert wird, stellen letztendlich auch Investitionen in die öffentliche Gesundheit dar. Die Bodengesundheit verändert sich nur signifikant über einen langen Zeitraum. Daher sind langfristige Anreizsysteme erforderlich, die teilweise durch öffentliche Mittel unterstützt werden um Landwirte dazu zu bringen, in das Bodengesundheitsmanagement zu investieren. In diesem Zusammenhang ist es auch wichtig, die Öffentlichkeit darauf aufmerksam zu machen, dass gut verwaltete Düngemittel den Boden nicht 'töten' - ein Falschinformation, die regelmäßig öffentliche Diskussionsforen in SSA erreicht. Stattdessen sind Düngemittel unerlässlich für eine stabile Bodengesundheit.
- 4. Technische, datengesteuerte Lösungen zur Verbesserung der Bodengesundheit jenseits von Glauben und Wunschenken:** Die Verbesserung der Bodengesundheit ist ein lobenswertes und notwendiges Ziel einer landwirtschaftlichen Transformationsagenda, aber nicht immer leicht zu erreichen. Zum Beispiel ist die Verbesserung der Bodengesundheit durch eine schlechte Nährstoffspeicherung in sandigen Böden begrenzt. Ebenso sollen bestimmte agronomische Praktiken die Bodengesundheit verbessern. Dies ist zum Beispiel oft für die konservierende Landwirtschaft der Fall, dennoch nicht immer universell anwendbar. Oft legen Beweise nahe, dass die Bodengesundheit von vielen anderen Faktoren abhängt, die in verbesserte, lokal angepasste Praktiken eingebettet werden müssen.
- 5. Investitionen in Dünger und Bodengesundheit für Klimaanpassung oder -minderung einbeziehen:** Der Klimawandel beeinflusst das Verhältnis zwischen Dünger und Bodengesundheit. Die Risikominimierung in der Landwirtschaft wird für Landwirte unerlässlich sein, um sich in Praktiken des Dünger- und Bodengesundheitsmanagements einzubringen und dabei spezifische Gefahren, die durch den Klimawandel entstehen, anzugehen. Investitionen in die Verbesserung der Bodengesundheit tragen außerdem dazu bei, die Widerstandsfähigkeit des landwirtschaftlichen Systems zu erhöhen.
- 6. Politiken umsetzen, die es Landwirten ermöglichen, in die Bodengesundheit zu investieren:** Die Bodenpacht ist entscheidend, wobei Landwirte in SSA auch weiterhin Düngemittelsubventionen benötigen werden. Es gibt derzeit keine alternativen Quellen um die Menge und Vielfalt der für das Pflanzenwachstum benötigten Nährstoffe bereitzustellen. Die Neugestaltung von Düngemittelsubventionen ist in Bezug auf das Bodengesundheitsmanagement daher von entscheidender Bedeutung. Solche Subventionen müssen klug gestaltet sein und Landwirte darüber aufklären, wie sie die Nutzungseffizienz des Inputs maximieren und wie sie lokal verfügbare organische Ressourcen und Ernterückstände in Kombination mit Düngemitteln verwalten können.

WER MUSS WAS TUN?

Die globale Düngemittelindustrie muss Aspekte der Bodengesundheitsplanung in Düngemittel-Empfehlungen integrieren. Diese sollten sicherstellen, dass die richtigen Düngemittel-Formulierungen für die richtigen Kulturen und Böden zur Verfügung stehen um maximale Biomasseproduktion zu gewährleisten. Die gemeinsame Versorgung mit Düngemitteln und effektiven Biostimulanzien könnte einen Einstiegspunkt für den erhöhten Einsatz letzterer bieten.

Dienstleister müssen Wissen über Bodengesundheits-Praktiken in agronomische Beratungsdienste integrieren und die Informationen effizient an Landwirte weitergeben.

Wissenschaftler müssen Schlüsselindikatoren für die Bodengesundheit identifizieren und charakterisieren, sowie praktische Protokolle und Prozesse für eine schnelle und effiziente Überwachung des Bodengesundheitszustands entwickeln. Sie sollten weiterhin agronomische Praktiken charakterisieren, die die Bodengesundheit unter verschiedenen Umwelt- und Managementbedingungen wiederherstellen oder

aufrechterhalten. Bodengesundheitsüberwachungssysteme müssen eingerichtet werden, um Veränderungen in der Bodengesundheit zu erfassen, wenn sich die dazugehörigen Methoden ausweiten.

Politiker müssen Landwirte dabei unterstützen, in die Verbesserung der Bodengesundheit zu investieren. Als langfristiges Ziel ist dafür öffentliche Unterstützung erforderlich, einschließlich neu gestalteter Düngemittelsubventionen. Lektionen, die aus Ländern gelernt wurden, die Politiken im Zusammenhang mit der Zahlung für SOC-Sequestrierung im Boden eingeführt haben, könnten eine Grundlage sein um ähnliche Politiken in SSA zu entwickeln. Verbesserte Maßnahmen zum Nährstoffrecycling aus organischer Abfallströmen können insbesondere in ländlichen Gebieten in der Nähe von Städten eine zunehmende Rolle spielen. Nationale und/oder regionale Bodengesundheitsüberwachungseinheiten mit der notwendigen Expertise und den notwendigen Techniken müssen eingerichtet und unterhalten werden.

Investoren müssen die Bodengesundheitsplanung als zentrale Bedingung für finanzielle Unterstützung integrieren und die Umsetzung von Finanzmechanismen zur Förderung der Bodengesundheit unterstützen. Eine fortwährende öffentliche Unterstützung zur Erleichterung von Investitionen der Landwirte in die Bodengesundheit wird mittel- bis langfristig benötigt, um die Bodengesundheit auf vertretbare Niveaus zu steigern.

Zivilgesellschaftliche Organisationen müssen das Bewusstsein in allen Gesellschaftssektoren für die Bedeutung der Bodengesundheit, die Rolle von Nährstoffeinträgen, sowohl organischen als auch mineralischen, sowie deren Erhaltung und Verbesserung stärken. Sie müssen zeigen, wie eine bessere Bodengesundheit klimawandelbezogenen Belastungen, Ertragsrückgängen und Umweltdegradationen entgegenwirken kann. Ihre Arbeit sollte auf wissenschaftlichen Studien basieren, nicht auf Ideologien oder unwissenschaftlichen Dogmen. Verbraucher werden ermutigt, bodengesundheitspositive Lebensmittel zu kaufen und sich aktiv an Diskussionen im Zusammenhang mit der Bodengesundheit zu beteiligen, wie es bereits in Bezug auf den Klimawandel geschieht.

Der Nahrungs- und Einzelhandelssektor muss bodengesundheitspositive Produktionspraktiken in seine Prozesse zur Zertifizierung verantwortungsvoller Produktion einbeziehen.

Verbraucher werden ermutigt, bodengesundheitspositive Lebensmittel zu kaufen und sich aktiv an Diskussionen im Zusammenhang mit der Bodengesundheit zu beteiligen, wie es bereits in Bezug auf den Klimawandel geschieht.

WIE WÜRD ERFOLG AUSSEHEN?

Einerleichterter Zugang zu Informationen und Praktiken zur Bodengesundheitsverwaltung: Integriertes Bodenfruchtbarkeitsmanagement (ISFM) ist in landwirtschaftliche Entwicklungsprogramme integriert. Düngersubventionsprogramme unterstützen Praktiken zur Verbesserung der Bodengesundheit im Sinne von ISFM, einschließlich Aspekten von 4R Nährstoffmanagement. Geldgeber bieten mittel- bis langfristige Unterstützung zur Verbesserung der Bodengesundheit in ihren jeweiligen landwirtschaftlichen Entwicklungsprogrammen an. Mindestens 70% der Kleinbauern auf dem Afrikanischen Kontinent haben Zugang zu gezielten agronomischen Empfehlungen für spezifische Kulturen, Böden und klimatische Bedingungen, um eine größere Effizienz und nachhaltige Verwendung von Düngemitteln zu gewährleisten.

Eine vielfältigere Palette von Düngemittelprodukten und organischen Inputs ist verfügbar und bezahlbar: Die inländische Produktion und Verteilung von Düngemitteln und organischen Inputs wird innerhalb der nächsten 10 Jahre verdreifacht und ermöglicht so den Zugang und die Bezahlbarkeit für Kleinbauern. Um die Produktion, Beschaffung und Verteilung von Düngemitteln und organischen Inputs zu verbessern, ist der Afrikanische Düngemittelfinanzierungsmechanismus (AFFM) voll funktionsfähig. Politiken und Vorschriften werden formuliert und umgesetzt, um ein förderliches Umfeld für Düngemittel- und Bodengesundheitsinterventionen zu schaffen.

Die Bodengesundheitsbedingungen verbessern sich als Ergebnis des Afrikanischen Düngemittel- und Bodengesundheitsgipfels von 2024: Es wird Einigkeit über Schlüsselindikatoren in Bezug auf die Bodengesundheit erzielt, standardisierte Betriebsverfahren zur Messung dieser zusammen mit Trends oder Schwellenwerten, die positive Veränderungen anzeigen. Nach der Übernahme von Praktiken zur Bodengesundheitsverwaltung verzeichnen viele kleinbäuerliche Anbausysteme in der SSA positive Veränderungen im großen Maßstab. Die agronomische Effizienz von Düngemitteln verdoppelt sich (z.B. von 10 auf 20 kg Mais pro kg Düngemittelnährstoff) mit deutlichen Erhöhungen der Ernteerträge und der Verfügbarkeit von Ernterückständen, wodurch auch die Verfügbarkeit von organischen Inputs zur Verbesserung der Bodengesundheit am Standort erhöht wird. Mindestens 30% der degradierten Böden werden innerhalb von 10 Jahren wiederhergestellt.

Beratungs- und Verlängerungsdienste integrieren Informationen zur Bodengesundheitsverwaltung: Beratungsdienste sind auf dem neuesten Stand über Düngemittel- und Bodengesundheitsmanagement und werden von einem großen Netzwerk von zertifizierten Agronomen unterstützt, die gebündelte Dienstleistungen für landwirtschaftliche Gemeinschaften anbieten. Rückmeldungen über die Leistung von agronomischen Praktiken informieren die R&D-Gemeinschaft um die Wirksamkeit und Effizienz spezifischer Empfehlungen weiter zu verbessern.

Die nationale und regionale Wissenschaftskapazität ist in der Lage, lokal relevante Empfehlungen für das Bodengesundheitsmanagement zu erzeugen und zu verbreiten: Die wissenschaftliche Kapazität wird auf nationaler und regionaler Ebene gestärkt, insbesondere in Bereichen wie Datenwissenschaft, fortschrittlicher Analytik und künstlicher Intelligenz, und unterstützt so die Entwicklung, Validierung und Verbreitung von standortspezifischen, lokalen Empfehlungen. Effektive Verbindungen werden zwischen der R&D-Gemeinschaft, Dienstleistern und dem Personal für die letzte Meile hergestellt.

Öffentliches Bewusstsein und Unterstützung: Die Öffentlichkeit ist sich der Rolle der Bodengesundheit bei der Bewältigung vieler Herausforderungen, mit denen Landwirte und die Gesellschaft insgesamt konfrontiert sind, bewusst und schätzt die Rolle von Düngemitteln und organischen Nährstoffinputs bei der Erhaltung und Verbesserung der Bodengesundheit. Der Einzelhandelssektor übernimmt Bodengesundheits-fördernde Zertifizierungssysteme während Verbraucher vorzugsweise Produkte kaufen, die die Bodengesundheit fördern.

REFERENZEN

1. B. Vanlauwe *et al.*, *Fertilizer and soil health in Africa: The role of fertilizer in building soil health to sustain farming and address climate change* (2023) (available at <https://ifdc.org/resources/fertilizer-and-soil-health-in-africa-the-role-of-fertilizer-in-building-soil-health-to-sustain-farming-and-address-climate-change/>).
2. T. Chang, G. Feng, V. Paul, A. Adeli, J. P. Brooks, Soil health assessment methods: Progress, applications and comparison. *Adv. Agronomy*. 172, 129–210 (2022), doi:10.1016/bs.agron.2021.10.002.
3. B. N. Moebius-Clune *et al.*, *Comprehensive assessment of soil health. The Cornell framework* (Cornell University, Ithaca, New York, ed. 3, 2022).
4. S. S. Andrews, D. L. Karlen, C. A. Cambardella, The soil management assessment framework. A quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*. 68, 1945–1962 (2004), doi:10.2136/sssaj2004.1945.
5. EEA, *Soil monitoring in Europe. Indicators and thresholds for soil quality assessments* (Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023).
6. H.-J. Vogel *et al.*, Quantitative evaluation of soil functions: potential and state. *Front. Environ. Sci.* 7 (2019), doi:10.3389/fenvs.2019.00164.
7. S. Kuyah *et al.*, Innovative agronomic practices for sustainable intensification in sub-Saharan Africa. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 41, 1–21 (2021), doi:10.1007/s13593-021-00673-4.
8. N. Fierer, S. A. Wood, C. P. Bueno de Mesquita, How microbes can, and cannot, be used to assess soil health. *Soil Biol. Biochem.* 153, 108111 (2021), doi:10.1016/j.soilbio.2020.108111.
9. K. D. Shepherd *et al.*, A global soil spectral calibration library and estimation service. *Soil Security*. 7, 100061 (2022), doi:10.1016/j.soisec.2022.100061.
10. E. L. Balota, A. Colozzi-Filho, D. S. Andrade, M. Hungria, Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 22, 641–649 (1998), doi:10.1590/S0100-06831998000400009.
11. Alves de Castro Lopes, André *et al.*, Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 77, 461–472 (2013), doi:10.2136/sssaj2012.0191.
12. I. d. C. Mendes *et al.*, Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. *Applied Soil Ecology*. 139, 85–93 (2019), doi:10.1016/j.apsoil.2019.02.025.
13. I. C. Mendes *et al.*, in *Soil health and sustainable agriculture in Brazil, Madison: Soil Science Society of America*, I. C. Mendes, M. R. Cherubin, Eds. (Soil Science Society of America, Madison, WI, 2024), pp. 220–250.
14. 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.
15. N. Winnie *et al.*, Assessment of the 2006 Abuja Fertilizer Declaration with emphasis on nitrogen use efficiency to reduce yield gaps in maize production. *Front. Sustain. Food Syst.* 5 (2022), doi:10.3389/fsufs.2021.758724.
16. 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.
17. C. I. Ludemann *et al.*, A global reference database in FAOSTAT of cropland nutrient budgets and nutrient use efficiency: nitrogen, phosphorus and potassium, 1961–2020. *Earth Syst. Sci. Data* (2023), doi:10.5194/essd-2023-206.
18. J. J. Stoorvogel, E. M. A. Smaling, B. H. Janssen, Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. 1. Supra-national scale. *Fert. Res.* 35, 227–235 (1993).
19. E. M. A. Smaling, J. J. Stoorvogel, P. N. Windmeijer, Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. 2. District scale. *Fert. Res.* 35, 237–250 (1993).
20. P. A. Sánchez, in *Transactions of the 15th World Congress of Soil Science, Vol. 1*, ISSS, Ed. (International Soc. Soil Sci. and Mexican Soc. Soil Sci., Acapulco, 1994), vol. 1, pp. 65–88.
21. C. Reijntjes, B. Haverkort, A. Waters-Bayer, *Farming for the future: An introduction to Low-External Input and Sustainable Agriculture* (Macmillan, London, 1992).
22. R. J. Buresh, P. A. Sanchez, F. Calhoun, *Replenishing soil fertility in Africa. SSSA Special Publication Number 51* (Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 1997).
23. B. Vanlauwe *et al.*, Integrated soil fertility management: Operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Outlook on Agriculture*. 39, 17–24 (2010).
24. K. E. Giller, F. Kanampiu, M. Hungria, B. Vanlauwe, The role of nitrogen fixation in African smallholder agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 285, 106601 (2019), doi:10.1016/j.agee.2019.106601.
25. C. N. Sible, J. R. Seebauer, F. E. Below, Plant biostimulants: a categorical review, their implications for row crop production, and relation to soil health indicators. *Agronomy*. 11, 1297 (2021), doi:10.3390/agronomy11071297.
26. C. Masso, J. R. Awuor Ochieng, B. Vanlauwe, Worldwide contrast in application of bio-fertilizers for sustainable agriculture: lessons for Sub-Saharan Africa. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 5, 34–50 (2015).
27. K. E. Giller, E. Witter, M. Corbeels, P. Tittonell, Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view. *Field Crops Res.* 114, 23–34 (2009).
28. B. Vanlauwe *et al.*, A fourth principle is required to define Conservation Agriculture in sub-Saharan Africa: The appropriate use of fertilizer to enhance crop productivity. *Field Crops Res.* 155, 10–13 (2014), doi:10.1016/j.fcr.2013.10.002.
29. A. Kassam, T. Friedrich, R. Derpsch, Successful experiences and lessons from Conservation Agriculture worldwide. *Agronomy*. 12, 769 (2022), doi:10.3390/agronomy12040769.
30. T. I. Bouwman, J. A. Andersson, K. E. Giller, Adapting yet not

- adopting? Conservation agriculture in Central Malawi. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **307**, 107224 (2021), doi:10.1016/j.agee.2020.107224.
31. K. E. Giller, R. Hijbeek, J. A. Andersson, J. Sumberg, Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. *Outlook Agric*, 003072702199806 (2021), doi:10.1177/0030727021998063.
32. K. E. Giller, Why the buzz on regenerative agriculture? *Growing Africa*. **1**, 12–16 (2022).
33. J.-F. Soussana *et al.*, Matching policy and science: Rationale for the '4 per 1000 - soils for food security and climate' initiative. *Soil and Tillage Research*. **188**, 3–15 (2019), doi:10.1016/j.still.2017.12.002.
34. R. J. Haynes, R. Naidu, Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutr Cycl Agroecosyst*. **51**, 123–137 (1998), doi:10.1023/A:1009738307837.
35. J. K. Ladha, C. K. Reddy, A. T. Padre, C. van Kessel, Role of nitrogen fertilization in sustaining organic matter in cultivated soils. *J. Environ. Qual.* **40**, 1756–1766 (2011), doi:10.2134/jeq2011.0064.
36. J. Kihara, P. Bolo, M. Kinyua, S. S. Nyawira, R. Sommer, Soil health and ecosystem services: Lessons from sub-Saharan Africa (SSA). *Geoderma*. **370**, 114342 (2020).
37. D. Beillouin *et al.*, A global overview of studies about land management, land-use change, and climate change effects on soil organic carbon. *Global Change Biol.* **28**, 1690–1702 (2022), doi:10.1111/gcb.15998.
38. P. Chivenge, B. Vanlauwe, J. Six, Does the combined application of organic and mineral nutrient sources influence maize productivity? A meta-analysis. *Plant Soil*. **342**, 1–30 (2011).
39. J. B. Naab, G. Y. Mahama, I. Yahaya, P. V. V. Prasad, Conservation agriculture improves soil quality, crop yield, and incomes of smallholder farmers in North Western Ghana. *Front. Plant Sci.* **8**, 996 (2017), doi:10.3389/fpls.2017.00996.
40. S. Powlson, P. R. Poulton, M. J. Glendining, A. J. Macdonald, K. W. Goulding, Is it possible to attain the same soil organic matter content in arable agricultural soils as under natural vegetation? *Outlook Agric*. **51**, 91–104 (2022), doi:10.1177/00307270221082113.
41. S. Zingore, C. Manyame, P. Nyamugafata, K. E. Giller, Long-term changes in organic matter of woodland soils cleared for arable cropping in Zimbabwe. *European Journal of Soil Science*. **56**, 727–736 (2005), doi:10.1111/j.1365-2389.2005.00707.x.
42. C. A. Kirkby, A. E. Richardson, L. J. Wade, M. Conyers, J. A. Kirkegaard, Inorganic nutrients increase humification efficiency and C-sequestration in an annually cropped soil. *PLoS ONE*. **11**, e0153698 (2016), doi:10.1371/journal.pone.0153698.
43. P. Tittonell, K. E. Giller, When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crops Res.* **143**, 76–90 (2013).
44. 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).
45. C. Bonilla-Cedrez, J. Chamberlin, R. J. Hijmans, Fertilizer and grain prices constrain food production in sub-Saharan Africa. *Nature Food*. **2**, 766–772 (2021), doi:10.1038/s43016-021-00370-1.
46. A. Abdulai, V. Owusu, R. Goetz, Land tenure differences and investment in land improvement measures: Theoretical and empirical analyses. *J. Dev. Econ.* **96**, 66–78 (2011), doi:10.1016/j.jdeveco.2010.08.002.
47. S. Bedeke, W. Vanhove, M. Gezahegn, K. Natarajan, P. van Damme, Adoption of climate change adaptation strategies by maize-dependent smallholders in Ethiopia. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*. **88**, 96–104 (2019), doi:10.1016/j.njas.2018.09.001.
48. R. H. Oostendorp, F. Zaai, Land acquisition and the adoption of soil and water conservation techniques: a duration analysis for Kenya and The Philippines. *World Development*. **40**, 1240–1254 (2012), doi:10.1016/j.worlddev.2011.11.001.
49. A. Hirpa Tufa *et al.*, Gender differences in technology adoption and agricultural productivity: Evidence from Malawi. *World Development*. **159**, 106027 (2022), doi:10.1016/j.worlddev.2022.106027.
50. T. Hengl *et al.*, African soil properties and nutrients mapped at 30 m spatial resolution using two-scale ensemble machine learning. *Sci. Rep.* **11**, 6130 (2021), doi:10.1038/s41598-021-85639-y.

AUTOREN, ZITATION UND KONTAKT

Autoren: Mitglieder des Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition.

Bernard Vanlauwe (International Institute of Tropical Agriculture, Kenya), Patrick H Brown (University of California - Davis, USA), Tom Bruulsema (Plant Nutrition Canada), Achim Dobermann (International Fertilizer Association, France), Mariangela Hungria (Embrapa, Brazil), Kaushik Majumdar (African Plant Nutrition Institute, Morocco), Michael McLaughlin (University of Adelaide, Australia), Claudia Wagner-Riddle (University of Guelph, Canada), Xin Zhang (University of Maryland, USA), Fang-jie Zhao (Nanjing Agricultural University, China)

Zitierung: Scientific Panel on Responsible Plant Nutrition. 2024. Fertilizer and soil health for enhanced productivity and sustainability in sub-Saharan Africa. Issue Brief 06. Available at <https://sprpn.org>

Anerkennung: Dieser Brief basiert auf einem technischen Dokument, das für den Afrikanischen Düngemittel- und Bodengesundheitsgipfel vorbereitet wurde, der 2024 in Nairobi abgehalten wird (1).

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