WWF

STUDIE

D

2015

IN ZUSAMMEN-
ARBEIT MIT:

HEINRICH
BÖLL
STIFTUNG

Düngung | Ressourcenschutz | Ernährungssicherheit

BODENLOS

Negative Auswirkungen von Mineraldüngern in der tropischen Landwirtschaft

Autor Johannes Kotschi, AGRECOL – Association for AgriCulture and Ecology

Herausgeber Heinrich Böll Stiftung und WWF Deutschland
Erscheinungsdatum Mai 2013 (2. Auflage, April 2015, mit neuem Vorwort)
Autor Johannes Kotschi, E-Mail: kotschi@agrecol.de

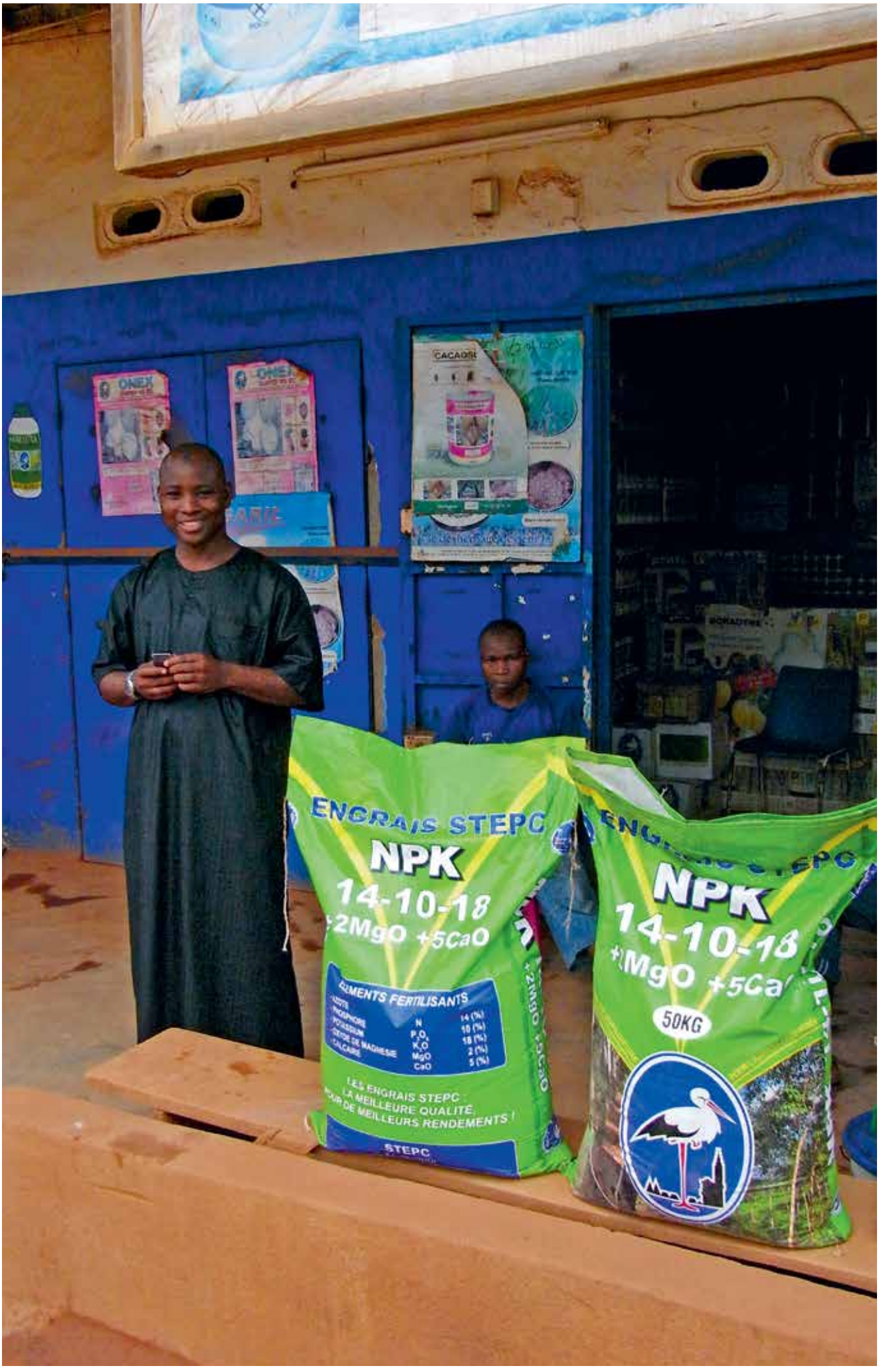
Danksagung Der Autor dankt allen, die ihn bei der Erstellung der Studie unterstützt haben. Ein ganz besonderer Dank gilt Arndt Feuerbacher und Johannes Mössinger, die bei der Auswertung von Schrifttum und bei der Aufbereitung von Statistiken geholfen haben. Matthias Meissner, Nikola Patzel und Joachim Raupp sei für ihre hilfreichen Kommentare bei Durchsicht des Manuskripts gedankt. Der Autor ist verantwortlich für den Inhalt der Studie.

Projekt-Koordinierung Birgit Wilhelm/WWF Deutschland, E-Mail: birgit.wilhelm@wwf.de und Christine Chemnitz/Heinrich Böll Stiftung, E-Mail: chemnitz@boell.de
Redaktion Thomas Köberich/WWF Deutschland
Korrektorat Joachim Mallaun, Berlin
Layout Thomas Schlembach/WWF Deutschland, Wolfram Egert
Bildnachweise © 4: Johannes Kotschi/AGRECOL; 9: Edward Parker/WWF-Canon; 10: Simon Rawles/WWF-Canon, 18: Wikicommons; 14, 24, 34: K+S KALI GmbH; 32: Chridtoph Arndt; 35: Edward Parker/WWF-Canon; 38: Johannes Kotschi/AGRECOL; 46: Masakazu Kashio; 49: icrisat.images

Dieses Dokument wurde mit finanzieller Unterstützung der Europäischen Union produziert. Für die Inhalte sind alleine der WWF und die Heinrich-Böll-Stiftung verantwortlich; der Inhalt kann in keiner Weise als Standpunkt der Europäischen Union angesehen werden.

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	**5**
	Zusammenfassung	**6**
1	**Einleitung**	**8**
2	**Potenziale für die Produktsteigerungen in der Landwirtschaft**	**11**
3	**Die Nährstofffrage**	**15**
3.1	Ungleiche regionale Verteilung der Nährstoffe	15
3.2	Mangelnde Nährstoffverfügbarkeit	16
4	**Produktion und Nutzung von Mineraldüngern – ein Überblick**	**19**
4.1	Produktion	19
4.2	Verbrauch	21
5	**Sinn oder Unsinn von Subventionen**	**25**
6	**Wirtschaftlichkeit von Mineraldüngern für Kleinbauern**	**29**
7	**Stickstoffdünger – Wirkungen auf die Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft**	**33**
7.1	Stickstoff und Bodenversauerung	33
7.2	Stickstoff und Bodenhumus	35
7.3	Stickstoff und Klima	36
7.4	Resümee	37
8	**Mineraldünger im Kontext nachhaltiger Intensivierung**	**39**
8.1	Bodenhumus hat Priorität	39
8.1.1	Bedeutung der Tierhaltung für Ackerbau	40
8.1.2	Kompost	41
8.1.3	Gründüngung und Intensivbrache	42
8.1.4	Agroforstwirtschaft	43
8.2	Mineraldünger – Innovationen generieren	43
8.2.1	Die Phosphorversorgung neu denken	44
8.2.2	Vom synthetischen zum biologischen Stickstoff	44
8.2.3	Maßnahmen gegen Bodenversauerung ergreifen	45
9	**Politische Forderungen**	**47**
	Anhang	**50**



Ein Düngemittelhändler aus Daloa im Landesinneren der Côte d'Ivoire. Vor allem Kakaobauern sind gute Kunden.

Vorwort

Agronomische Herausforderungen, wie die Höhe und die Stabilität der Erträge, haben angesichts des Bevölkerungswachstums und veränderter Ernährungsgewohnheiten an Bedeutung gewonnen. In allen Produktionssystemen spielt die Düngung eine wichtige Rolle, neben dem Pflanzenschutz und der Unkrautregulierung. Mit welchen praktischen Maßnahmen die Probleme angegangen werden, wird von (agrar-)ökologischen, integriert wirtschaftenden und konventionellen Bauern unterschiedlich beantwortet. Brauchbar sind aber nur Methoden, welche bei dauerhafter Produktion auch die Ökosysteme schonen.

Das Problem der Düngung kann nur gelöst werden, wenn sich die Schwerpunkte in der Forschung, in der Beratung und Ausbildung und somit auch in der Praxis verändern. Im Zentrum steht dabei zum Beispiel der Übergang vom synthetischen Stickstoff zum biologischen Stickstoff. Dies fordert die Forschung heraus, aber das Potenzial ist groß. Es muss aber auch die Frage angegangen werden, warum Bäuerinnen und Bauern die bereits bekannten Maßnahmen nicht in der Praxis umsetzen. Neben ökonomischen Gründen und dem Fehlen an unabhängiger Beratung können es auch kulturelle und soziale Gründe sein, welche die Innovation erschweren. Das gleiche gilt bei der Schließung von Kreisläufen beim Phosphor, wo die privaten Haushalte mit ihren Abfällen eine wichtige Rolle als zukünftige „Düngerproduzenten“ spielen werden. Erfreulich ist dabei, dass die naturwissenschaftliche und technische Forschung laufend neue Lösungsansätze bringt. Ebenso steigt die Erkenntnis, dass Forschung keine Einbahnstraße ist, sondern dass die Arbeit mit den Bauernfamilien und der Bevölkerung ein entscheidender Teil der Innovation ist.

Die natürliche Bodenfruchtbarkeit ist heute zurück auf der politischen und wissenschaftlichen Agenda. Auch die Züchtungsarbeit berücksichtigt verstärkt wieder die Abhängigkeit der Pflanzen vom Boden. Große Firmen entdecken das Potenzial von biologischen Düngern.

Um gute Lösungen zu finden, braucht es gute und differenzierte Informationen. Die vorliegende Studie ist dafür eine ausgezeichnete Grundlage, auch deshalb, weil sie nach allen Seiten kritische Fragen stellt und innovative Lösungsvorschläge macht.

Frick, im April 2015
Urs Niggli
Forschungsinstitut für biologischen Landbau – FiBL

Zusammenfassung

Noch nie wurde so viel Mineraldünger verwendet wie heute. Und gerade in Entwicklungsländern erlebt er eine Renaissance. Dabei wird seit vielen Jahren über die Wirksamkeit und Problematik von mineralischer Düngung gestritten. Die vorliegende Studie gibt einen Überblick über ökonomische und ökologische Potenziale sowie die Grenzen und negativen Wirkungen von mineralischer Düngung in den Tropen und Subtropen. Dabei legt sie ihren Schwerpunkt auf die besondere Situation kleinbäuerlicher Produzenten.

2 Die Intensivierung der Landwirtschaft in den letzten 60 Jahren verdankt sich dem Einsatz endlicher Ressourcen vor allem auf fruchtbaren Böden. Die kleinstrukturierte Landwirtschaft in Afrika, Asien und Lateinamerika, die mehreren Milliarden Menschen Einkommen und Nahrung verschafft, war von dieser Entwicklung zu einem großen Teil ausgeschlossen. Hier wurden die großen Potenziale zur Steigerung von Produktivität und Produktion noch nicht ausgeschöpft. Dafür sind die bisherigen Intensivierungsstrategien allerdings auch ungeeignet. Welche Rolle Mineraldünger jedoch dabei spielen kann, ist Gegenstand der Studie.

3 Die Produktion von Nahrung für geschätzte 9 Milliarden Menschen im Jahr 2050 ist nicht zuletzt auch eine Frage ausreichender Nährstoffversorgung in der Landwirtschaft. Die wird heute erschwert durch ungleiche regionale Verteilung von Nährstoffen. Die Industrieländer sind überversorgt, viele Entwicklungsländer unterversorgt. Ebenso wichtig ist auch eine gute Nährstoff-Verfügbarkeit in Böden. Die ist besonders von der Bodenstruktur und von der Bodenfruchtbarkeit abhängig. Deshalb greift die Forderung zu kurz, Mineraldüngung sei notwendig, um Nährstoffbilanzen im Boden auszugleichen.

4 Seit Mitte des letzten Jahrhunderts hat die Produktion von Mineraldüngern nahezu linear zugenommen. Dabei weist der Düngerverbrauch große regionale Unterschiede auf. Die Regionen mit dem höchsten Verbrauch sind Ostasien und Südasien, während der Verbrauch in Afrika vergleichsweise niedrig ist. Große Unterschiede gibt es auch bei der Düngungsintensität. Während die durchschnittliche Menge in China bei 344 kg pro Hektar und Jahr liegt, beträgt sie zum Beispiel in Ruanda 2,7 kg pro Hektar und in Ghana 7,5 kg. Dabei hat der Anteil von Stickstoff an den Hauptnährstoffen Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) immer weiter zugenommen; er liegt im globalen Durchschnitt heute bei 74 %, und seine Nutzungseffizienz ist gering.

5 Mineraldünger-Subventionen für Kleinbauern sind seit Jahren gängige Praxis in Entwicklungsländern, und Programme zur Subvention stehen gegenwärtig hoch im Kurs. Wie aktuelle Beispiele zeigen, lässt sich damit die Nahrungsproduktion in Regionen mit unzureichender Nahrungsmittelversorgung erheblich steigern, aber ohne dass dadurch die Bodenfruchtbarkeit langfristig gesteigert würde. Subventionen wirken somit kurzfristig, sind für nachhaltige Ernährungssicherung nicht geeignet und ihre volkswirtschaftliche Rentabilität ist gering. Mehr noch: Die Subventionsprogramme belasten die Agrarhaushalte. In einzelnen afrikanischen Ländern beanspruchen die Subventionen bis zu 70 % der im Agrarhaushalt eingestellten Mittel.

6 Die Wirtschaftlichkeit von Mineraldünger hat stark abgenommen. Dies ist zurückzuführen auf einen im Verhältnis zu Nahrungsmitteln überproportionalen Preisanstieg von Mineraldünger, auf hohe Transaktionskosten in Entwicklungsländern sowie auf abnehmende, die Wirksamkeit von Mineraldünger verringernde Bodenfruchtbarkeit. In vielen kleinbäuerlichen Betrieben der Tropen ist Mineraldünger, wenn überhaupt, nur in kleinsten Mengen rentabel.

7 Die negativen ökologischen Folgen der mineralischen Düngung haben inzwischen ein bedrohliches Ausmaß erreicht. Das betrifft vor allem die Düngung mit Stickstoff. Die Folgen sind Humusabbau, Verlust von Biodiversität, Bodenversauerung und Lachgas-Emissionen, mit negativen Auswirkungen auf die zukünftige Nahrungsproduktion. Die zunehmende Bodenversauerung verringert die Phosphat-Aufnahme, erhöht die Konzentration toxischer Ionen im Boden und hemmt das Pflanzenwachstum; verstärkter Humusabbau im Boden verringert sein Nährstoff-Speichervermögen, und Treibhausgase aus überschüssigem Stickstoff belasten das Klima. So zerstört synthetischer Stickstoff zentrale Produktionsgrundlagen der Landwirtschaft und gefährdet zukünftige Ernährungssicherung.

8 Die Herausforderung besteht also darin, Mineraldünger so zu nutzen, dass deren Wirkung Böden und Umwelt unbeschadet lassen und die Nährstoffe dem System erhalten bleiben. Auf synthetischen Stickstoff sollte deshalb vollkommen verzichtet werden, andere Nährstoffe müssen in den Kontext einer umfassenden Bodenfruchtbarkeitsstrategie integriert werden. Zentral sind dafür Techniken, die die Erhaltung und den Aufbau von Bodenhumus gewährleisten. Von wesentlicher Bedeutung sind hierbei Kompostierungsverfahren, tierische Dünger, Agroforstwirtschaft, Gründüngung und Intensivbrache. Bei den Mineraldüngern selbst ist eine Reihe von Innovationen bei Herstellung und Anwendung erforderlich. Die Dominanz physiologisch versauernder Dünger (v.a. Harnstoff, Ammoniumsulfat, Ammoniumnitrat) sollte zugunsten physiologisch neutral wirkender oder säurepuffender Dünger gebrochen werden.

9 So verkörpert gerade der Mineraldünger in der Landwirtschaft die Endlichkeit natürlicher Ressourcen, von fossilen Energieträgern, Gesteinslagerstätten und von Bodenfuchtbarkeit. Vor allem die heutige Stickstoffdüngung gefährdet die Ernährungssicherung von morgen. Deshalb ist ein Umdenken hin zu nachhaltiger Ressourcennutzung bei gleichzeitiger Intensivierung der Produktion erforderlich. Die Aufgaben für die Politik lassen sich in vier Forderungen zusammenfassen: (I) Stopp der Förderung synthetischen Stickstoffs, (II) Entwicklung nationaler Strategien zu einer „Infrastrukturentwicklung Bodenfruchtbarkeit“, (III) Aufbau von Agrarforschungsschwerpunkten, die diese Neuorientierung unterstützen, und (IV) Entwicklung von Übergangsszenarien für eine schrittweise Umstellung des Einsatzes von Mineraldünger vom kurzfristigen Verbrauchsgut zu einer langfristigen Investition in Bodenfruchtbarkeit.

1 Einleitung

Nie zuvor wurde in der Landwirtschaft so viel Mineraldünger verwendet wie heute. Einer der Gründe ist, dass viele asiatische und afrikanische Regierungen im Anbetracht stark schwankender und steigender Weltmarktpreise ihre nationale Agrarproduktion stärken wollen, um sich von Importen unabhängiger zu machen. In der Hoffnung, die nationale Produktion von Nahrungsmitteln zu verbessern, verwenden viele Länder Afrikas und Asiens große Teile ihres Agrarbudgets für die Subvention von Düngemitteln.

Viele Länder Afrikas und Asiens verwenden große Teile ihres Agrarbudgets für die Subvention von Düngemitteln.

Dabei wird über die Wirksamkeit der Mineraldüngung und die Probleme, die mit dessen Einsatz einhergehen, unter Fachleuten gestritten. Die einen glauben, in einer besseren Ausstattung mit Mineraldüngern in kleinbäuerlichen Betrieben der Tropen und Subtropen den Königsweg gefunden zu haben, um zeitnah mehr Nahrungsmittel zu produzieren und somit effektiv den Hunger bekämpfen zu können. Andere halten gerade diesen Weg für kontraproduktiv und argumentieren, Mineraldünger belaste die Umwelt, zerstöre die Bodenfruchtbarkeit und sei für kleinbäuerliche Produzenten ökonomisch nicht rentabel. Außerdem könnten die für Düngemittelsubventionen eingesetzten öffentlichen Mittel ökonomisch wesentlich rentabler und nachhaltiger verwendet werden.

Die Ausbringung von Stickstoff auf die Felder hat einen 310-mal klimaschädlicheren Effekt als Kohlendioxid.

Unumstritten sind die negativen Auswirkungen von Stickstoffdüngern auf das Klima. Gerade die Produktion von Stickstoff ist sehr energieintensiv, und durch die Düngung der Felder mit Stickstoff wird Lachgas freigesetzt – ein Gas das 310-mal klimaschädlicher ist als Kohlendioxid. Gleichzeitig sind die Preise für Mineraldünger aufgrund der energieintensiven Produktion an den Ölpreis gekoppelt. So werden bei steigenden Ölpreisen auch die Mineraldünger immer teurer.

Trotz dieser Aspekte verharrt die Diskussion bei der Frage, ob gerade kleinbäuerliche Produzenten, die ihre Flächen häufig sehr intensiv nutzen, nicht viel mehr mineralischen Dünger verwenden müssten, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und mehr Nahrungsmittel zu erzeugen.

Im Anbetracht der Renaissance, die Düngemittelsubventionen in vielen tropischen und subtropischen Ländern erleben, gibt die vorliegende Studie einen Überblick über die ökonomischen und ökologischen Grenzen, aber auch Potenziale bei der Anwendung von Mineraldünger in den Tropen und Subtropen. Sie nimmt dabei die besondere Situation kleinbäuerlicher Produzenten in den Fokus und die Bedeutung einer langfristigen Verbesserung der Bodenqualität für reale Erfolge bei der Ernährungssicherheit.

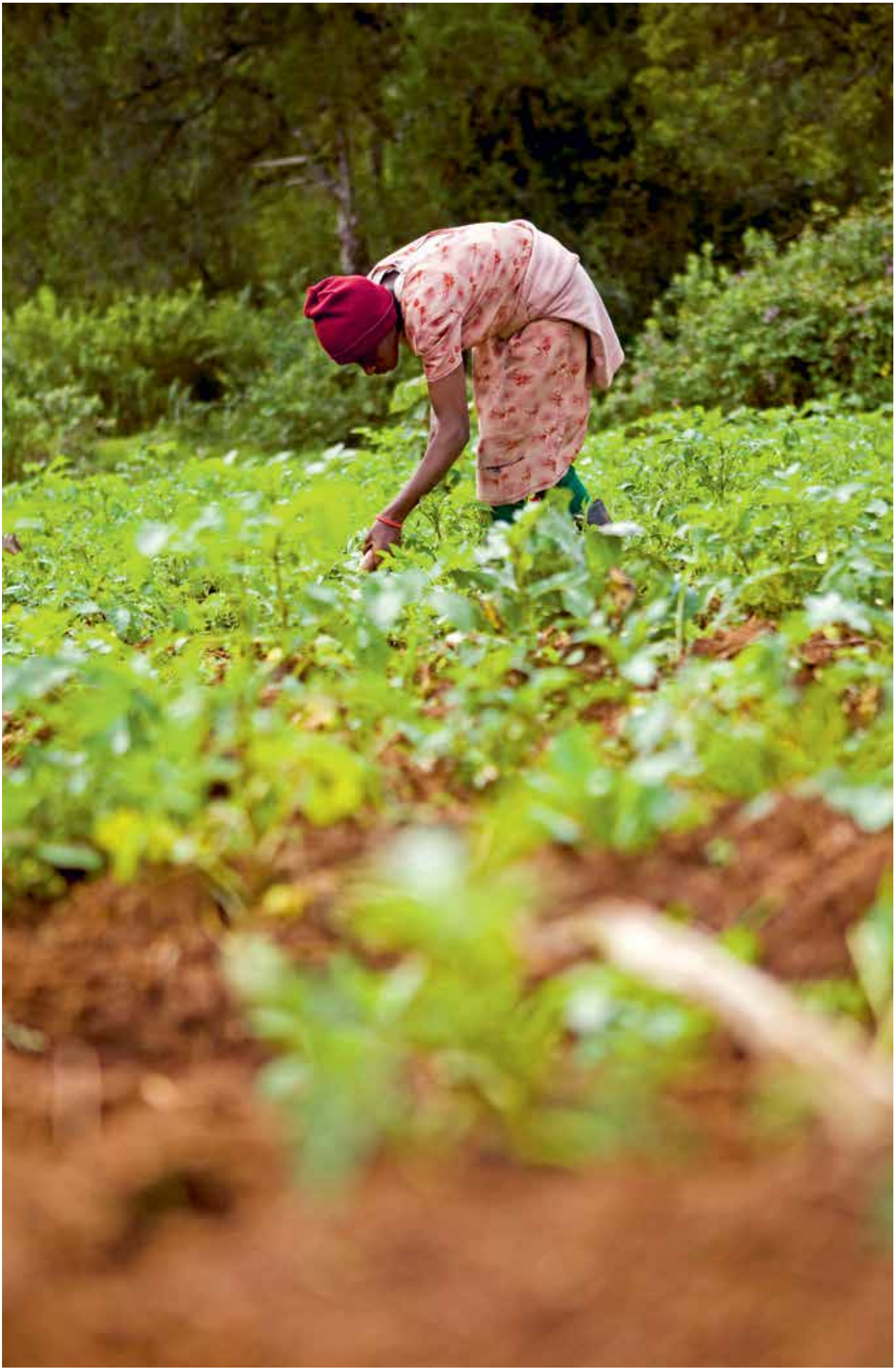
Nach einem einführenden Überblick in Kapitel 2 über die Möglichkeiten der Produktionssteigerung kleinbäuerlicher Betriebe und ihrer Bedeutung für die globale Ernährungssicherung geht die Studie in Kapitel 3 allgemein auf den Nährstoffbedarf in der Landwirtschaft ein. Ein besonderes Augenmerk findet die kritische Betrachtung der Überversorgung mit Stickstoff und den damit einhergehenden Auswirkungen auf Bodenfruchtbarkeit, Umwelt und Klima. In Kapitel 4 wird das große Spektrum der Nutzungsintensität bei Mineraldüngung aufgezeigt. Es reicht von Betrieben, die keinerlei Mineraldünger nutzen, bis hin zu Düngerintensitäten bisher unbekannten Ausmaßes. Kapitel 5 und 6 betrachten die gegenwärtige Praxis der staatlichen Subventionierung von mineralischem Dünger und analysieren anhand von Beispielen die ökono-

mische Rentabilität sowohl auf betriebswirtschaftlicher als auch auf volkswirtschaftlicher Ebene. Kapitel 7 gibt einen Überblick über das Ausmaß der Schäden, die durch Mineraldünger verursacht werden, und die sich gegen die Landwirtschaft selbst richten. Abschließend werden in Kapitel 8 bespielhaft Alternativen des nachhaltigen Bodenmanagements aufgezeigt und politische Maßnahmen entwickelt, als Elemente einer nachhaltigen Agrarpolitik, die Bodenschutz und Ernährungssicherheit zukunftsweisend kombinieren.

Die gegenwärtige Praxis der Mineraldüngung ist weder ökonomisch noch ökologisch zukunftsfähig.

Die gegenwärtige Praxis der Mineraldüngung ist in Anbetracht der ökologischen Grenzen und der zunehmend knapper werdenden Ressourcen weder ökonomisch noch ökologisch zukunftsfähig. So gefährdet der Mineraldünger die Ernährungssicherung langfristig, anstatt sie zu verbessern. Die Studie möchte dazu beitragen, dies zu verdeutlichen und zeigen, wie eng Ernährungssicherheit, Umwelt- und Klimaschutz mit der Bewahrung der Bodenfruchtbarkeit zusammenhängen.

Die Auswirkungen intensiver landwirtschaftlicher Produktion auf die Ökosysteme sind in vielen Regionen der Welt sichtbar. Die Probleme sind neben einem dramatischen Verlust von Biodiversität, Bodenerosion und der Rückgang der Bodenfruchtbarkeit.



Seit Mitte des letzten Jahrhunderts hat die Landwirtschaft eine nie dagewesene Intensivierung erfahren. Jedoch haben die meisten Kleinbauern – die hauptsächlich zur Ernährungssicherheit beitragen – kaum davon profitiert.

2 Potenziale für die Produktsteigerungen in der Landwirtschaft[1]

Seit Mitte des letzten Jahrhunderts hat die Landwirtschaft eine nie dagewesene Intensivierung erfahren. Innerhalb von 50 Jahren (1950–2000) konnte sich die globale Getreideproduktion nahezu verdreifachen.[2] Diese Entwicklung wurde im Wesentlichen durch enorme Fortschritte in der Pflanzenzüchtung, durch die großtechnische Produktion von synthetischem Stickstoff zu relativ niedrigen Kosten für Energie, durch den Ausbau von Bewässerungssystemen und durch den systematischen Einsatz von Herbiziden und Pestiziden zur Unkrautkontrolle sowie zur Krankheits- und Schädlingsbekämpfung erreicht. Gegen die Fortsetzung bisheriger Intensivierungsstrategien auf Gunststandorten sprechen neben vielschichtigen sozialen und menschenrechtlichen Aspekten die Belastbarkeit von Ökosystemen und das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs. Der Zusammenhang zwischen intensiver Landwirtschaftlicher Produktion und der Belastung oder Zerstörung von Ökosystemen ist in vielen Regionen der Welt sichtbar.

Neben einem dramatischen Verlust von Biodiversität nehmen Bodenerosion, Bodenversalzung und der Verlust von Bodenfruchtbarkeit deutlich zu. Nitratanreicherungen im Trinkwasser durch synthetischen Stickstoff als auch das „Umkippen“ von Gewässern durch Nährstoffauswaschung überdüngter Böden sind vielfach zu beobachten. Weniger sichtbar, aber nicht minder dramatisch sind die Lachgas-Emissionen aus mineralischem Stickstoff, die den größten Anteil des durch die Landwirtschaft bedingten Treibhauseffektes ausmachen.[3]

Ein weiteres Argument, das gegen die Fortsetzung bisheriger Intensivierung spricht, ist wirtschaftlicher Natur. Die Kostensteigerungen für Produktionsmittel bringen die klassische Intensivierung zum Stocken. So sinkt bei hochintensiver landwirtschaftlicher Produktion der Zuwachs an Flächenproduktivität. FAO-Statistiken zur Weltnahrungsproduktion bestätigen diesen Trend: Der relative Ertragszuwachs von 3 % im Jahr 1950 war im Jahr 2001 auf 1 % gesunken.

Diese Produktionssteigerung ist im Wesentlichen auf fruchtbaren Böden erzielt worden, auf denen unter optimaler Nährstoff- und Wasserversorgung produziert wird. Unter solchen Voraussetzungen wirtschaftet weltweit aber nur ein kleiner Teil landwirtschaftlicher Betriebe. Demgegenüber steht der Subsektor kleinbäuerlicher Landwirtschaft, der etwa 2,6 Milliarden Menschen im ländlichen Raum Nahrung und Erwerbsmöglichkeiten gibt, aber von den Intensivierungsstrategien der vergangenen Jahrzehnte kaum oder gar nicht profitiert hat. In vielen Regionen der Tropen und Subtropen stagniert die Flächenproduktivität kleinbäuerlicher Betriebe seit Jahren. Getreideerträge von 1 t/ha/Jahr oder weniger sind keine Seltenheit gegenüber Erträgen von 8, 10 oder gar 12 t/ha/Jahr bei hochintensiver Produktion auf Gunststandorten. Vor diesem Hintergrund kann die Studie der Global Task Force on Hunger[4] aus dem Jahr 2004 nicht überraschen: Die kommt zum Ergebnis, dass 80 % der weltweit Hungernden nicht in den Städten, sondern auf dem Lande leben. Zwei Drittel davon sind Kleinbauern.

Hinter dem Begriff Kleinbauern verbirgt sich eine sehr heterogene Gruppe. Das Spektrum reicht von mittelständischen landwirtschaftlichen Betrieben, die sich als Teil der Marktwirtschaft verstehen und sich an deren Prinzipien orientieren – ein Typus, der in vielen asiatischen Ländern stark ausgeprägt ist –, bis hin zu Kleinstbetrieben, die überwiegend Selbstversorgung betreiben und zu denen 75 % der weltweit Armen gehören.[5] Das verbindende Kriterium dieser heterogenen Gruppe ist eine Betriebsgröße mit einer Ackerfläche von 2 ha oder weniger.[6]

Tab. 2.1: Durchschnittliche Betriebsgröße nach Regionen (in Hektar) *Quelle: von Braun 2005*

Afrika	1,6
Asien	1,6
Lateinamerika und Karibik	67,0
Westeuropa	27,0
Nordamerika	121,0

Etwa 85% aller landwirtschaftlichen Betriebe weltweit sind kleinbäuerliche Betriebe.

Der Anteil kleinbäuerlicher Betriebe an allen landwirtschaftlichen Betrieben weltweit beträgt schätzungsweise 85 % (siehe Tabelle 2.2).[7] Mit 1,6 ha/Betrieb weisen sowohl Afrika als auch Asien sehr niedrige Durchschnittswerte auf. Der hohe Durchschnittswert für Lateinamerika erklärt sich aus der extrem ungleichen Landverteilung zwischen Großgrundbesitzern und Kleinbauern. Er bedeutet nicht, dass die Mehrzahl der Betriebe auf diesem Kontinent deutlich größer ist als in Afrika oder Asien. In einzelnen Ländern liegt ihr Anteil von Kleinbetrieben bei über 90 %, in Bangladesch und Vietnam sogar bei 96 % bzw. 95 %.[8]

Der globale Anteil kleinbäuerlich genutzter Flächen ist nicht genau bekannt. In den 1980er Jahren wurde ihr Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf 60 % geschätzt.[9] Aktuell kann von mindestens 40 % ausgegangen werden.

Tab. 2.2: Anteil kleinbäuerlicher Betriebe in Prozent der Gesamtbetriebe *Quelle: Nagayets (2005)*

	Prozent	Jahr
Äthiopien	87	2001/2002
Nigeria	74	2000
China	98	1997
Vietnam	95	2001
Ecuador	43	1999/2000
Peru	58	1994
Global	85	Schätzung

Die kleinbäuerliche Landwirtschaft ist Lebensgrundlage für mehr als 2,6 Milliarden Menschen im ländlichen Raum, die zumeist über keine alternativen Einkommensquellen verfügen. Für eine Sicherung der weltweiten Ernährung müssen diese Menschen in die Lage kommen, dauerhaft ausreichend Einkommen zu erwirtschaften oder eigene Nahrung zu produzieren. Der Weltagrarbericht[10] bestätigt, dass zur Verbesserung der Welternährung zwei Faktoren zentral sind: die ausreichende Produktion von Nahrungsmitteln und

der Zugang für diejenigen, die sie benötigen. Dabei geht es um die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion und die Steigerung des Einkommens aus der Landwirtschaft.[11] Ernährungssicherung kann also nur durch die Intensivierung der kleinbäuerlichen Landwirtschaft erreicht werden.

Dafür gibt es in den kleinbäuerlich besiedelten Regionen der Tropen und Subtropen großes Potenzial. Obwohl viele Standorte nur eine mittlere oder sogar niedrige Bodenfruchtbarkeit aufweisen, könnten niedrige Getreideerträge von 1 t/ha oder weniger durch systematischen Aufbau der Bodenfruchtbarkeit auf 2, 3 oder sogar 4 t/ha angehoben werden.[12] Gleichzeitig ist seit langem bekannt, dass unter gleichen Standortbedingungen die Flächenproduktivität kleinbäuerlicher Betriebe häufig wesentlich höher ist bei Großbetrieben.[13] Voraussetzung dafür sind Intensivierungsstrategien, die den besonderen ökologischen und ökonomischen Bedürfnissen von kleinbäuerlichen Produzenten entsprechen. Ökologische Produktionsmethoden sind hierfür besonders geeignet.[14] Welche Rolle Mineraldünger dabei spielen können, ist Gegenstand der nachfolgenden Kapitel.

Ernährungssicherung kann nur durch die Intensivierung der kleinbäuerlichen Landwirtschaft erreicht werden.

Nährstoffdefizite sind in der kleinbäuerlichen Landwirtschaft der Tropen und Subtropen weit verbreitet. Gleichzeitig ist auf degradierten Böden die Ertragswirkung von Mineraldünger besonders gering, da diese auf Grund der fehlenden organischen Substanz eine geringe Fähigkeit haben, gelöste Nährstoffe im Boden zu binden und diese wieder abzugeben, wenn die Pflanze sie benötigt.

3. Die Nährstofffrage

3.1 Ungleiche regionale Verteilung der Nährstoffe

Nährstoffe im Boden sind zentraler Bestandteil der Bodenfruchtbarkeit, der Fähigkeit eines Bodens, den Pflanzen als Standort zu dienen und Pflanzenerträge zu erzeugen. Die Bodenfruchtbarkeit – auch Ertragsfähigkeit genannt – ist abhängig vom Ausgangsgestein des Bodens und seinen chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften. Klima, Vegetation und Landnutzung sind weitere, die Bodenfruchtbarkeit prägende Faktoren. Die Nährstoffe im Boden und ihre Verfügbarkeit für Pflanzen werden durch alle diese Eigenschaften beeinflusst.[15]

Jede Form von Düngung dient dazu, Böden und Pflanzen mit Nährstoffen zu versorgen, um Wachstum und Ertragsbildung optimal zu ermöglichen. Pflanzen benötigen vor allem die „Makro"-Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium. Außerdem sind Schwefel, Calcium und Magnesium und zahlreiche weitere Spurenelemente nötig. Die benötigten Nährstoffmengen sind zum Teil erheblich. So entzieht eine durchschnittliche deutsche Weizenernte von 8 Tonnen auf einem Hektar Ackerland dem Boden 180 kg Stickstoff, 37 kg Phosphor und 124 kg Kalium.[16] Wird nur das Korn geerntet, aber das Stroh auf dem Acker belassen und in den Boden eingearbeitet oder über Einstreu in Ställen und Wiederausbringung als Mist dem Acker wieder zugefügt, so sind die Entnahmen aus dem System deutlich geringer. Sie betragen für Stickstoff 64 %, für Phosphor 41 % und für Kalium 18 % der ursprünglichen Pflanzentzüge. Bei aller Unterschiedlichkeit des Nährstoffbedarfs einzelner Pflanzen und Anbausysteme zeigt das Beispiel: Landwirtschaft entzieht dem Boden enorme Mengen an Nährstoffen, und je intensiver Landwirtschaft betrieben wird und je höher die Erträge sind, die entnommen werden, umso höher ist der Entzug. Weitere Nährstoffverluste entstehen durch Bodenerosion oder Versickerung von Bodenwasser in dem Nährstoffe gelöst sind. Außerdem können erhebliche Mengen an Stickstoff gasförmig in die Atmosphäre entweichen. Bei ungünstigen Bodenverhältnissen können Nährstoffe im Boden chemisch gebunden (Phosphor) oder physikalisch fixiert werden (Kalium), so dass sie für die Pflanze kaum noch verfügbar sind, obwohl sie dem Boden erhalten bleiben.

Bei extensiver Nutzung kann der Boden durch Nachlieferung aus dem Unterboden sowie durch Einträge aus der Atmosphäre Verluste zumindest teilweise ausgleichen. Lange Brachperioden in der Vergangenheit haben diese Regeneration befördert. Neuere Methoden wie der Anbau von Kleegras oder Luzerne in der Fruchtfolge ökologisch wirtschaftender Betriebe oder auch die Agroforstwirtschaft erzielen ähnliche Wirkungen (vgl. Kapitel 8.1). Die zusätzliche Versorgung mit Nährstoffen von außen wird umso wichtiger, je intensiver landwirtschaftliche Nutzung betrieben wird und je größer die Ernteentzüge sind.

Nährstoffdefizite sind in der kleinbäuerlichen Landwirtschaft der Tropen und Subtropen weit verbreitet – verursacht durch intensive Nutzung, keine oder zu geringe Düngung über Jahrzehnte sowie durch Bodenerosion und Auswaschung. Diese Übernutzung der Böden – auch soil mining genannt – wurde in zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen vor allem für die Länder Sub-Sahara Afrikas nachgewiesen.[17] Soil mining ist besonders in Afrika verbreitet, findet sich aber auch in zahlreichen asiatischen und südamerikanischen Regionen. Aufgrund der geringen Alternativen kleinbäuerlicher Produzenten und ihrer oft geringen Ressourcenausstattung, wie dem Zugang zu

Land und Kapital, besteht eine Korrelation zwischen Übernutzung der Böden und Armut. Miller & Larson[18] haben ermittelt, dass weltweit 135 Millionen Hektar Land mit Nährstoffen unterversorgt sind. Nahezu die gesamte Fläche (97 %) befindet sich in Entwicklungsländern.

Die Böden vieler Industrieländer sind mit Nährstoffen überversorgt. Westeuropa hat erhebliche Überschüsse an Stickstoff, Kalium und besonders Phosphor.

Umgekehrt sind die Böden vieler Industrieländer mit Nährstoffen überversorgt. Westeuropa hat erhebliche Überschüsse an Stickstoff, Phosphor und Kalium.[19] Besonders hoch sind sie bei Phosphor. Zu solchen Überschüssen tragen nicht nur übermäßige Mineraldüngergaben bei, sondern auch große Nährstoffimporte über die Einfuhr von Futtermitteln. Diese gelangen über tierische Dünger (v.a. Gülle) in den Nährstoffkreislauf. Etwa 35 Mio. t Soja und Sojaprodukte wurden im Durchschnitt der Jahre 2008–2010 in die EU importiert. Die Sojabohnen werden zu Sojaöl und Sojamehl weiterverarbeitet. Das Sojamehl geht fast ausschließlich in die Tierfütterung und stammt hauptsächlich aus Brasilien und Argentinien. So beanspruchte die EU im Durchschnitt der Jahre 2008–2010 eine Fläche von umgerechnet fast 15 Mio. ha.[20] Dies entspricht 90 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche von Deutschland. In Asien finden sich hohe Nährstoffüberschüsse infolge übermäßiger Düngung von Stickstoff und Phosphor vor allem in den Reisanbaugebieten Südchinas[21] sowie in Südkorea und Malaysia.[22]

Global gesehen kann von einem hohen Nährstoffdefizit keine Rede sein. Scheldick et al.[23] berechnen eine theoretische Verfügbarkeit für N, P und K mit 12 bzw. 5 und 20 kg pro Hektar und Jahr. Zu ähnlichen Größenordnungen kommen Tan et al.[24] in ihren Berechnungen für die weltweite Produktion von Getreide (Mais, Reis, Weizen und Gerste). Das heißt, es besteht ein regionales Ungleichgewicht in der Verteilung vorhandener Nährstoffe. Während Länder mit niedrigem Einkommen und stark wachsenden Bevölkerungen große Nährstoffdefizite aufweisen, verbuchen Länder mit hohem Einkommen und stabilen Bevölkerungszahlen hohe Überschüsse.

3.2 Mangelnde Nährstoffverfügbarkeit

So wichtig die Diskussion über soil-mining, regionale Ungleichgewichte und eine ausgeglichene Nährstoffbilanz im Boden auch ist – sie beleuchtet nur einen Teil des Problems. Auch Nährstoffverhältnisse spielen eine wichtige Rolle. So stören hohe, einseitige Stickstoff-Düngungen das Nährstoff-Gleichgewicht zwischen den drei Makro-Nährstoffen N, P und K. Nicht nur, dass der Stickstoff dadurch schlecht genutzt wird; er führt auch zu verstärktem Humusabbau, zunehmender Bodenversauerung und insgesamt einer Verminderung pflanzenverfügbarer Nährstoffe (vgl. Kapitel 7). Ebenso führt die Praxis mineralischer NPK-Düngungen nicht selten zum Mangel an Mikro-Nährstoffen, auch dies infolge gestörter Nährstoffverhältnisse.

Darüber hinaus wird die Nährstoffverfügbarkeit über zahlreiche Bodenparameter beeinflusst, die entscheidend zur Bodenfruchtbarkeit als Ganzes beitragen. Dazu gehören: die Durchlüftung des Bodens, dessen Wasserversorgung, Bodenstruktur, Säuregrad und Gehalt an organischer Substanz. Die Pflege der Bodenfruchtbarkeit ist daher zentral für die Verfügbarkeit der Nährstoffe. Zwei Aspekte sind dabei von besonderer Bedeutung: der Säuregehalt des Bodens und die organische Substanz.

Bei der Bodenversauerung handelt es sich um ein globales Problem, das in den humiden Tropen von besonderer Bedeutung ist. Starke Verwitterung und Auswaschung der Böden haben dazu geführt, dass ein hoher Anteil tropischer Böden sehr sauer ist. Der pH-Wert von landwirtschaftlich genutzten Böden sollte zwischen 5,5 und 7,5 liegen. In den Tropen sind pH-Werte unter 5,5 heute weitverbreitet und pH-Werte um 4,2 keine Seltenheit. Niedrige pH-Werte aber verringern die Nährstoffaufnahme und die Nährstoffverfügbarkeit; vor allem Phosphor wird im Boden festgelegt.

Degradierte Böden besitzen niedrige Bodenfruchtbarkeit und wenig organische Substanz. Die Ertragssteigerung durch Mineraldünger ist auf diesen Böden gering.

Auf degradierten Böden – also solchen mit niedrigerer Bodenfruchtbarkeit und geringer organischer Substanz – bleibt die Ertragswirkung von Mineraldünger besonders gering. Das liegt vor allem daran, dass degradierte Böden eine geringe Fähigkeit haben, gelöste Nährstoffe im Boden (zum Beispiel aus Mineraldüngung) zu binden und diese wieder abzugeben, wenn die Pflanze sie benötigt. Dadurch wird ein Großteil der Nährstoffe mit dem Bodenwasser ausgewaschen und geht verloren. Vor allem tropische Böden, deren stark verwitterte Tonminerale eine sehr geringe Ionenaustauschkapazität aufweisen, sind durch diese Eigenschaft geprägt. Allein die Oxisole, deren Tonminerale im Wesentlichen aus Kaolinit bestehen (Tabelle 3.1), machen 22 % der landwirtschaftlich nutzbaren Böden in den Tropen aus.[25] In dieser Situation kommt der organischen Substanz eine Schlüsselrolle zu mit ihrer Fähigkeit, Nährstoffe im Boden zu halten und an die Pflanze abzugeben. Aber in degradierten, ausgelaugten Böden ist die organische Substanz (Humus) im Boden weitgehend abgebaut (d.h. mineralisiert) und oft auf ein Minimum abgesunken. Sie beträgt dann nur noch ca. 20–30 %[26] des Ausgangswertes unter natürlicher Vegetation. So entfällt auch die organische Substanz weitgehend als möglicher Nährstoffspeicher, und Mineraldünger ist der Auswaschung schutzlos ausgesetzt.

Dieser Zusammenhang verdeutlicht, dass die Anwendung von Mineraldüngern auf stark verwitterten tropischen Böden wenig zielführend ist, um Ertragssteigerungen zu erreichen. Stattdessen muss die Kapazität der Böden zur Nährstoffspeicherung und damit die Verfügbarkeit von Nährstoffen für die Pflanzen verbessert werden.

Tab. 3.1: Kationenaustauschkapazität von Böden und ihren Bestandteilen *Quelle: Young 1976*

Verbreitete Böden	meq / 100 g
Oxisol (Tropen)	3–7
Parabraunerde (Mitteleuropa)	20–30
Tonminerale	
Kaolinit (altes Tonmineral)	3–15
Montmorillonit (junges Tonmineral)	80–120
Organische Substanz	150–300

Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass die Nährstofffrage hochkomplex ist und sich nicht auf die Bilanzierung von Entnahme und Zufuhr begrenzen lässt, wie dies die Diskussion um Mineraldünger immer wieder suggeriert. Um die Erträge gerade in Gebieten mit schlechter Bodenqualität zu steigern, ist die Nährstoffverfügbarkeit für die Pflanze und damit die Kapazität des Bodens, Nährstoffe zu speichern und bei Bedarf an die Pflanze wieder abzugeben, ein zentraler Aspekt. Dies kann nicht durch den Einsatz von Mineraldünger erreicht werden.

Phosphatabbau in der Negev-Wüste in Israel. Phosphor ist eine nicht substituierbare Ressource. Seine maximal mögliche Abbaurate (Peak Phosphor) könnte bereits in ca. 20 Jahren erreicht sein.

4 Produktion und Nutzung von Mineraldüngern – ein Überblick

4.1 Produktion

Im Jahre 1840 entdeckte der Chemiker Justus von Liebig die wachstumsfördernde Wirkung von Stickstoff, Phosphor und Kalium. Er gilt somit als Begründer der Düngung in der Landwirtschaft und schuf wesentliche Erkenntnisgrundlagen für die Intensivierung der Landwirtschaft. Bereits im 19. Jahrhundert wurden Kalisalze für Düngungszwecke abgebaut und als erster Phosphat-Dünger Thomasmehl aus der Eisen- und Stahlerzeugung gewonnen. Als Stickstoffdünger wurde Guano – auch „Chile-Salpeter“ genannt – aus den Exkrementen von Seevögeln gewonnen und von Südamerika nach Europa importiert. Überdies wurde verstärkt Klee als Futterpflanze angebaut und Stickstoff biologisch im Boden angereichert (verbesserte Dreifelderwirtschaft).

Ein Meilenstein war die Entwicklung des Haber-Bosch-Verfahrens Anfang des 20. Jahrhunderts zur synthetischen Gewinnung von Ammoniak aus atmosphärischem Stickstoff. Genutzt wurde dieses Verfahren im Krieg zur Herstellung von Sprengstoff und Giftgas. Erst nach Kriegsende, Ende der 40er Jahre, begann die industrielle Erzeugung von synthetischem Stickstoff in leerstehenden Produktionsstätten. Die bis dahin vorherrschende biologische Stickstoff-Versorgung konnte nun durch synthetischen Stickstoff ersetzt und Stickstoff an sich in bis dahin unbekannten Mengen verabreicht werden.

Mineraldünger wurde bereits in den 30er und 40er Jahren des letzten Jahrhunderts verwendet, aber ihre systematische Nutzung in der Landwirtschaft begann erst nach dem Ende des 2. Weltkrieges, also vor etwa 65 Jahren. Seit 1950 werden nennenswerte Mengen produziert und genutzt. Seitdem hat die Produktion von Mineraldünger mit den Nährstoffen Stickstoff, Kalium und Phosphor kontinuierlich zugenommen (Grafik 4.1). Nur in den 90er Jahren kam es infolge des Zusammenbruchs der Sowjetunion zu einer kurzen Unterbrechung dieses Trends. So hat sich die Produktion innerhalb von 50 Jahren verfünffacht.

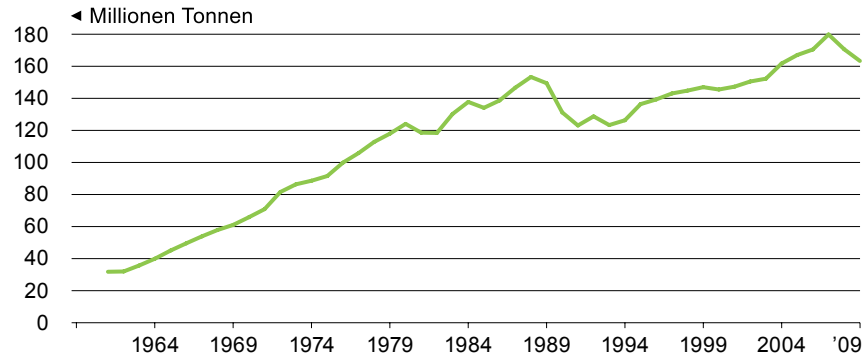
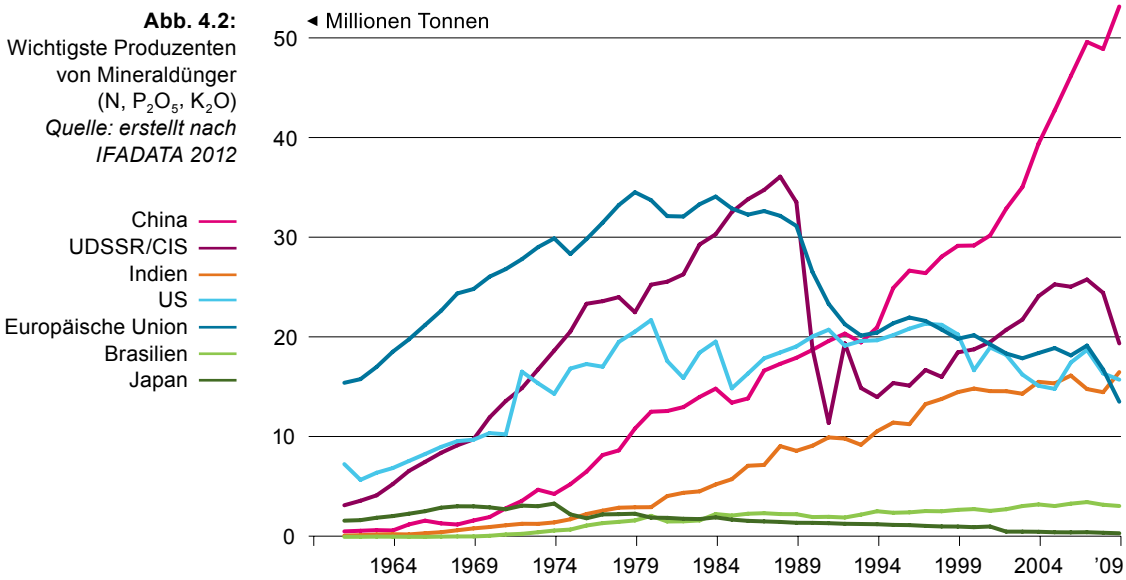


Abb. 4.1: Globale Produktion von Mineraldünger (N, P_2O_5, K_2O) *Quelle: erstellt nach IFADATA 2012*

Interessant in diesem Zusammenhang ist die regionale Verschiebung (Grafik 4.2). Während der Dünger zunächst ausschließlich im Norden, in den Industrieländern erzeugt wurde, stieg der Anteil der düngerproduzierenden Entwicklungs- und Schwellenländer kontinuierlich an und liegt heute bei 60 %. Die Region mit dem größten Produktionsvolumen ist Ostasien, mit der VR China als dem größten Erzeugerland, gefolgt von Nordamerika. Dagegen

Abb. 4.2:
Wichtigste Produzenten von Mineraldünger (N, P_2O_5, K_2O)
Quelle: erstellt nach IFADATA 2012

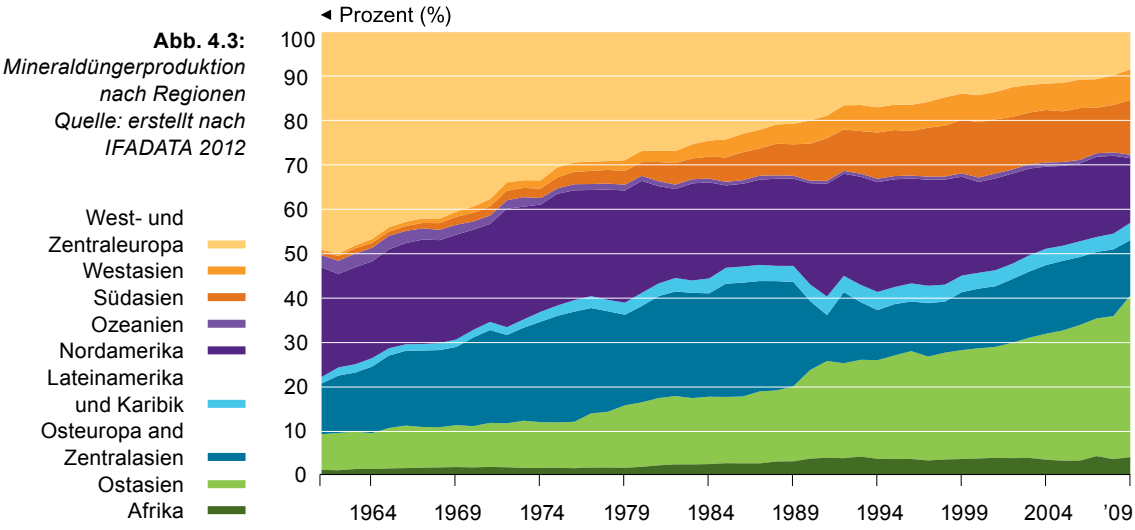


Entwicklungs- und Schwellenländer erzeugen heute 60% aller Mineraldünger.

ist die Düngererzeugung in der Europäischen Union, ehemals die Region mit dem höchsten Produktionsaufkommen, stark rückläufig und wird von Indien und den USA überholt. Die Produktion in den GUS-Staaten hat sich nach einem vollkommenen Zusammenbruch der Sowjetunion um 1990 inzwischen wieder auf ein mittleres Niveau eingependelt.

Die äußerst energieintensive Stickstoffproduktion konzentriert sich an Standorten, an denen fossile Energieträger zu vergleichsweise niedrigen Preisen angeboten werden. Dazu gehören Nordamerika, die großen Schwellenländer China und Indien und darüber hinaus Länder mit großen Erdgas- oder Erdölvorkommen wie Russland, der Mittlere Osten, die Karibik sowie Australien und Indonesien. Die Phosphordünger werden vor allem an Standorten mit Rohphosphat-Vorkommen hergestellt. Entsprechendes gilt auch für Kaliumdünger, die zu 80 % in nur 5 Ländern (Kanada, Deutschland, Israel, Russland, Weißrussland) verarbeitet werden, die große Kalium-Lagerstätten besitzen.

Abb. 4.3:
Mineraldüngerproduktion nach Regionen
Quelle: erstellt nach IFADATA 2012



Insgesamt wird heute der größte Teil der Mineraldünger in Schwellen- und Entwicklungsländern erzeugt (Abb. 4.3). Dabei konzentrieren sich Produktion und Handel von NPK-Düngern in den Händen weniger multinational agierender Unternehmen. Nach Berechnungen der Organisation Erklärung von Bern hatten im Jahr 2009 nur 10 Firmen einen Marktanteil von 55 %. Davon kamen drei Konzerne Yara (Norwegen), Mosaic und Agrium (beide USA) auf einen Anteil von 33 %.[27]

Die großtechnische Produktion an dafür günstigen Standorten durch wenige Firmen hat Mineraldünger zu einem international gehandelten Betriebsmittel gemacht, das von den meisten Entwicklungsländern mit kostbaren Devisen gekauft werden muss und den Preisschwankungen des Weltmarktes vollkommen ausgesetzt ist.[28]

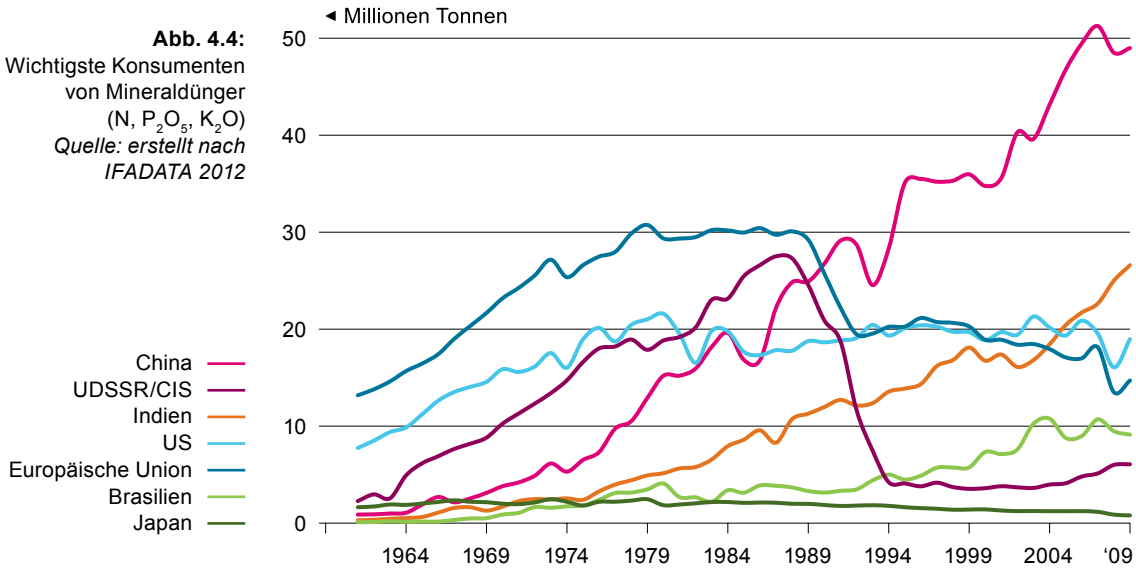
4.2 Verbrauch

Mit einem Drittel des weltweiten Verbrauchs hat sich China in den letzten fünfzig Jahren zum größten Verbraucher von Düngemitteln entwickelt.

Global betrachtet entwickelt sich der Verbrauch von Mineraldünger weitgehend parallel zu den stark angestiegenen Produktionsmengen. Doch regional gibt es große Unterschiede, und nicht alle Großverbraucher sind Großproduzenten. Die Regionen mit dem größten Verbrauch sind (in abnehmender Reihenfolge): Südostasien, Südasien, Europa und Nordamerika. Demgegenüber ist der Verbrauch in Afrika besonders niedrig.

China hat sich in den letzten fünfzig Jahren zum größten Verbraucher von Düngemitteln entwickelt (Grafik 4.4). Etwa 50 Millionen Tonnen wurden 2009 im Land erzeugt und verbraucht. Das ist fast ein Drittel des weltweiten Verbrauchs. In absoluten Zahlen ist Indien der zweitgrößte Verbraucher von mineralischem Dünger, ist aber im Unterschied zu China weitestgehend auf Importe angewiesen. Die Europäische Union, die bis Ende der 1980er Jahre als größter Verbraucher und nach Russland zweitgrößter Hersteller von Düngemitteln zählte, hat sowohl Produktion als auch Verbrauch um etwa die Hälfte reduziert.

Abb. 4.4:
Wichtigste Konsumenten von Mineraldünger (N, P_2O_5, K_2O)
Quelle: erstellt nach IFADATA 2012



Tab. 4.5:
Die Intensität der Mineraldüngung nach Ländern (gesamte Nährstoffe N, P, K kg/ha+Jahr)
Quelle: berechnet nach FAOSTAT, Durchschnitt für den Zeitraum 2005–2009

Industrieländer	
USA	99,76
Japan	239,27
Europäische Union	73,64
BRIC-Staaten	
Brasilien	295,56
Russland	11,66
Indien	113,38
China	344,39
Entwicklungsländer	
Bangladesch	163,57
Ghana	7,50
Kenia	21,50
Nepal	4,55
Ruanda	2,70
Tansania	4,74
Welt	80,69

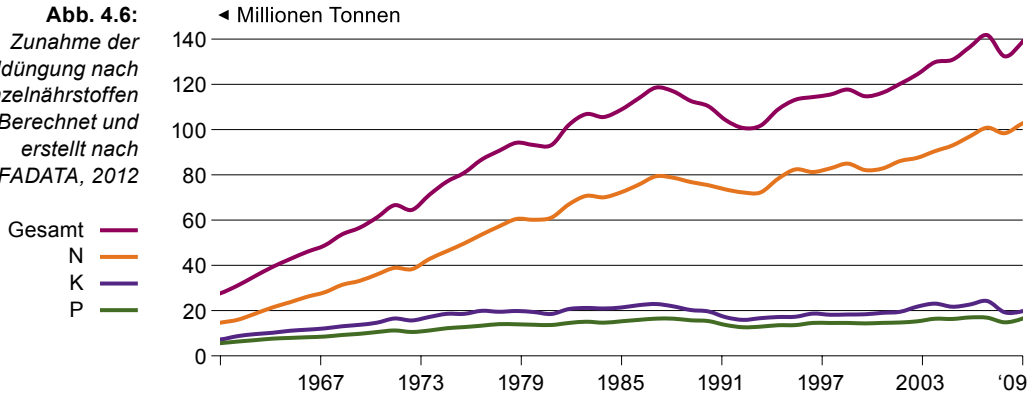
Im Hinblick auf die Düngungsintensität (Tab. 4.5), d.h. der gedüngten Menge pro Flächeneinheit, hält die VR China mit 344 kg pro Hektar und Jahr einen einsamen Rekord. Weitere Spitzenverbraucher sind Brasilien und Japan. Die EU bewegt sich mit einer Anwendung von etwa 74 kg Mineraldünger (N, P, K) pro Hektar im weltweiten Durchschnitt. Die durchschnittlichen Gaben vieler afrikanischer Länder liegen bei 5 kg pro Hektar und Jahr.

Der Anteil von Stickstoff hat über die Jahrzehnte überproportional zugenommen und lag 2009 weltweit bereits bei 74 %.

Nicht weniger bedeutend ist die Frage nach dem Verhältnis der gedüngten Nährstoffe. Pflanzen benötigen ein ausgeglichenes Nährstoffverhältnis.[29] Abgesehen von pflanzenspezifischen Unterschieden brauchen Pflanzen im Mittel ein Verhältnis der Hauptnährstoffe von N:P:K mit 1 zu 0,44 zu 1,25.[30] Demnach ergibt sich für Stickstoff ein angemessener durchschnittlicher Anteil von 37 %.

Die Realität sieht anders aus: Wie die Tabelle 4.6 zeigt, hat der Anteil von Stickstoff unter den N, P und K überproportional zugenommen. Während er 1961 unter 50 % lag, betrug er im Jahr 2009 bereits 74 %; in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern liegt der Stickstoffanteil häufig noch darüber (Tabelle 4.7). China erreicht einen Durchschnittswert von über 80 %. In Relation zum Nährstoffbedarf sind dies extrem hohe Werte. Zu erklären ist dieses Missverhältnis sowohl durch den relativ niedrigen Preis – vor allem von Harnstoff – und die unmittelbar ertragssteigernde Wirkung von synthetischen Stickstoffdüngern.

Abb. 4.6:
Zunahme der Mineraldüngung nach Einzelnährstoffen
Quelle: Berechnet und erstellt nach IFADATA, 2012



Tab. 4.7:
Stickstoffanteil (%) am Verbrauch von Mineraldüngern (N, P, K)
Quelle: berechnet nach FAOSTAT 2012

Jahr	1961	1971	1981	1991	2001	2009
Welt	49,20	58,60	64,50	68,40	71,20	74,00
China	93,50	86,70	84,80	79,60	76,00	80,10
Tansania	52,60	71,90	75,33	79,11	75,61	94,68
Bangla-desch	94,10	80,56	76,93	81,28	82,06	81,26
Nepal	nicht bekannt	81,31	83,20	83,75	81,57	65,20

Im weltweiten Durchschnitt ist der Stickstoffanteil doppelt so hoch wie erforderlich – mit katastrophalen Folgen für Umwelt, Bodenfruchtbarkeit und Klima.

Im weltweiten Durchschnitt ist der Stickstoffanteil also doppelt so hoch wie erforderlich – mit katastrophalen Folgen für Umwelt, Bodenfruchtbarkeit und Klima (vgl. Kapitel 7). Angesichts dieser Überversorgung wird ein erheblicher Teil (als Nitrat) vom Grundwasser ausgewaschen oder entweicht gasförmig (als Lachgas) in die Atmosphäre. Die Nutzungseffizienz dieses Nährstoffes bleibt so gering.

Großes Düngerlager in China. Die hohen Preise für Mineraldünger in Entwicklungsländern lassen sich hauptsächlich durch den aufwendigen Transport ins Landesinnere und den Verkauf in kleinsten Mengen erklären. Hafenferne Standorte sind deshalb besonders benachteiligt.

5 Sinn oder Unsinn von Subventionen

Die Subventionierung von Mineraldüngern gehört zur gängigen Praxis vieler Entwicklungsländer. Damit verbunden ist die Hoffnung, die Agrarproduktion zu steigern, um die nationale Ernährungslage zu verbessern und die Armut im ländlichen Raum zur verringern.[31]

Subventionsprogramme verfolgen unterschiedliche Ziele: Vor allem soll durch Subventionen ein größerer Anteil von Betrieben in die Lage versetzt werden, Mineraldünger zu nutzen. Davon sollen vor allem Kleinbetriebe mit geringer Liquidität, schlechter Ressourcenausstattung und fehlendem Zugang zu Agrarkrediten profitieren.[32] Aber auch mittleren und größeren Betrieben kommen staatliche Subventionsprogramme zugute. Die Mengenerhöhung eingesetzten Düngers ermöglicht es ihnen, die eigene Produktion zu erweitern[33], die Einkommen zu erhöhen und eine stärkere Marktanbindung zu erreichen.[34]

Verbunden sind Subventionen mit der Erwartung, dass sie in Zeiten starker Preisschwankungen die Endverbraucherpreise für Mineraldünger stabilisieren helfen.[35] Auch können bei staatlich niedrig gehaltenen Nahrungsmittelpreisen Mineraldüngersubventionen auf der Kostenseite ausgleichend wirken.[36]

Als weiteres Ziel wird auch die Wiederherstellung der Bodenfruchtbarkeit genannt.[37] Durch vermehrte Düngung soll mehr Biomasse produziert werden, die Humusversorgung im Boden verbessert, die Bodenerosion verringert und durch erhöhte CO_2-Bindung im Boden letztlich auch positiv zum Klimaschutz beiträgt.[38] Allerdings widerlegen bisherige Erkenntnisse diese Annahme (vgl. Kapitel 7). Gegenwärtige Mineraldüngerstrategien eignen sich nicht zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Im Gegenteil: Sie haben weitreichende negative Folgen für die Umwelt und den Boden – das wichtigste Kapital für Landwirtschaft.

Seit nunmehr fünf Jahrzehnten werden Mineraldünger in Entwicklungsländern subventioniert.

Seit nunmehr fünf Jahrzehnten werden Mineraldünger in Entwicklungsländern subventioniert. Auflagenfreie Subventionen für Mineraldünger waren im Zuge der grünen Revolution zwischen 1960 und 1980 vor allem in Asien und in Sub-Sahara Afrika weit verbreitet. In Asien hat der Ausbau der Bewässerungsinfrastruktur in Kombination mit vermehrtem Düngemitteleinsatz zu signifikanten Produktionssteigerungen geführt.[39] Da aber gleichzeitig die Preise für Agrarprodukte immer weiter sanken, haben die Subventionsprogramme zum Wirtschaftswachstum und zur Armutsbekämpfung wenig beigetragen.[40] Noch weniger konnten die Programme in Sub-Sahara Afrika überzeugen. Sie waren geprägt von Missbrauch und Korruption.

Diese Misserfolge und die Forderungen nach Struktur-Anpassungsprogrammen führten in den 90er Jahren in vielen Ländern zum Abbau von Subventionsprogrammen für Mineraldünger. Viele Programme der internationalen Gebergemeinschaft wurden eingestellt, und auch die ländliche Entwicklung wurde zurückgefahren. Stattdessen setzte man auf Privatisierung und Wirtschaftsförderung.

Eine Trendwende setzte um die Jahrtausendwende ein. Angesichts steigender Preise für Agrarprodukte und abnehmender Ernährungssicherheit begannen verschiedene afrikanische Regierungen und private Stiftungen wie die Gates Foundation, den Einsatz von Mineraldünger wieder zu fördern. Dieser Trend verstärkte sich durch Nahrungsmittelkrisen (2005/06 und 2007/08) und die zunehmende Preisvolatilität an den Nahrungsmittelmärkten. Den Durchbruch für groß angelegte Subventionsprogramme in Sub-Sahara Afrika brachte dann der „African Fertilizer Summit" 2006 in Abuja Nigeria, auf dem der African Fertilizer Development Financing Mechanism geschaffen wurde. In gleichem Maße setzten die im gleichen Jahr gegründeten Initiativen, Alliance for a Green Revolution in Africa[41] (AGRA) und das Programm der Millennium Villages voll auf landwirtschaftliche Intensivierung durch Mineraldünger. Somit werden gerade in afrikanischen Ländern über private und öffentliche Mittel erhebliche Summen für Düngersubventionen bereitgestellt, und Mineraldünger wird erneut als eine Schlüsselressource zur Steigerung der landeseigenen Nahrungsproduktion gesehen.

Inzwischen gibt es erste Bewertungen dieser jüngsten Phase der Düngersubventionierung für sechs afrikanische Länder (Ghana, Kenia, Nigeria, Malawi, Sambia und Tansania).[42] Alle verfolgen das Ziel, mit optimierter Nahrungsmittelproduktion Hunger effektiv im eigenen Land zu bekämpfen. Deshalb werden vor allem Grundnahrungsmittel, wie beispielsweise Mais, gefördert.[43]

Mit neuen Konzepten der Subventionierung, die unter dem Stichwort smart subsidies zusammengefasst werden, verbinden viele Regierungen und Geberorganisationen große Hoffnungen. Mit der Vergabe von „Düngegutscheinen" (voucher) an Kleinbauern soll vor allem ärmeren Bevölkerungsgruppen der Zugang zu Dünger erleichtert und der private Markt für Mineraldünger gefördert werden.[44] Mit diesen Gutscheinen kann Dünger zu geringeren Kosten erworben oder in kleinen Mengen (starterpacks) sogar kostenlos bezogen werden.

Das „smart subsidy Programm" in Malawi begann 2004 und erreichte im Jahr 2008/2009 mit einem Finanzvolumen von 265 Mio. US$[45] einen Höhepunkt. Mit der subventionierten Abgabe von Dünger gelang es, die kleinbäuerliche Maisproduktion des Landes erheblich zu steigern und die Ernährung zu sichern. Allerdings ist ungeklärt, wie sich der hohe Aufwand auf Dauer finanzieren lässt, sodass eine ausreichende Nahrungsproduktion auch zukünftig in Frage steht. Dennoch haben die Erfahrungen in Malawi andere afrikanische Länder wie Ghana, Kenia und Tansania ermutigt, ähnliche Subventionsprogramme aufzulegen oder bestehende zu erweitern.

In allen sechs Ländern offenbarten die Subventionsprogramme deutliche Schwächen: So konnten häufig kleinbäuerliche Betriebe in abgelegenen Gegenden, die eigentlich die wichtigste Zielgruppe der Subventionen sein sollten, nicht ausreichend mit Düngemitteln zum richtigen Zeitpunkt beliefert werden.[46] Entgegen dem Ziel, den Düngemittelmarkt zu verbessern und auch abgelegene Gebiete mit Mineraldünger zu versorgen, führten die Subventionen beispielsweise in Malawi dazu, dass kleinere Händler in den ländlicheren Regionen vom Markt verdrängt wurden[47], dass das Oligopol einiger weniger Düngemittellieferanten gestärkt[48] und die Korruption von Zwischenhändlern und Verwaltungen gefördert wurde.[49]

Grundsätzlich ist es schwer, Subventionen zu steuern und die wirklich Bedürftigen zu erreichen. In der Regel profitierten vor allem wohlhabendere Betriebe.

Außerdem kam es in allen Ländern zu einem Zielkonflikt. Einerseits wollte man die nationale Produktion steigern, andererseits vor allem ärmeren landwirtschaftlichen Betrieben zu Einkommenszuwächsen verhelfen.[50] Tatsächlich wurden hauptsächlich aufgrund höherer Erträge eher größere Betriebe und fruchtbarere Regionen mit subventioniertem Mineraldünger versorgt als kleinere Betriebe und abgelegene Gebiete.[51] Grundsätzlich ist es schwer, Subventionen zu steuern und die wirklich Bedürftigen zu erreichen. In der Regel profitierten vor allem wohlhabendere Betriebe.[52]

Auch aus ökologischer Perspektive besitzen die smart subsidy-Programme weitreichende Schwächen. Zwar hatten alle sechs nationalen Subventionsprogramme die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit als Ziel definiert, in der Praxis jedoch kam diese Intention gar nicht zur Geltung. Das fällt besonders schwerwiegend in solchen Regionen ins Gewicht, in denen die Bodenfruchtbarkeit sowieso schon niedrig ist und durch falsche Düngung weiter in Mitleidenschaft gezogen wird.

Mineraldüngersubventionen sind volkswirtschaftlich wenig rentabel und besitzen ein sehr schlechtes Nutzen-Kosten-Verhältnis.

Ein weiterer Kritikpunkt an den Subventionsprogrammen ist ihre geringe volkswirtschaftliche Rentabilität. Mineraldüngersubventionen verfügen über ein sehr schlechtes Nutzen-Kosten-Verhältnis. Langfristige positive Effekte der eingesetzten Mittel sind nicht zu erwarten. Im Gegenteil: Bei abnehmender Bodenfruchtbarkeit und kletternden Preisen für Mineraldünger steigen die jährlichen Kosten drastisch an. In Malawi wurden Nutzen-Kosten-Relationen im Bereich von 0,76–1,36 ermittelt.[53] Diese Ergebnisse korrespondieren mit den Zahlen einer IFPRI-Studie, die über vier Jahrzehnte (1960–1999) die Wirkungen verschiedener Investitionen und Subventionen im Sektor Landwirtschaft untersucht hat.[54] Sie kommt zu dem Ergebnis, dass Agrarforschung, landwirtschaftliche Beratung und Infrastrukturentwicklung eine hohe Kapitalverzinsung erbringen, während die Verzinsung von Mineraldünger sehr gering ausfällt oder wie in den 80er und 90er Jahren mit –12 % bzw. –47 % sogar deutlich negativ ist (Tabelle 5.1).

Tab. 5.1:
Rendite öffentlicher Investitionen im Sektor Landwirtschaft
Wachstum des Sektors Landwirtschaft in Rupien pro investierte Rupie
<1 = netto Verlust
>1 = netto Nutzen
Quelle: Fan et al. (2007)

	1960–69	1970–79	1980–89	1990–99
Agrarforschung	3,12	5,90	6,95	6,93
Ausbildung	5,97	7,88	3,88	1,53
Infrastrukturentwicklung (Straßen)	8,79	3,80	3,03	3,12
Mineraldüngersubventionen	2,14	3,03	0,88	0,53

Tab. 5.2: Belastung nationaler Agrarhaushalte in Sub-Sahara Afrika durch Subventionen
Quelle: Mössinger (2012)

Ghana[55]	46 % des nationalen Agrarbudgets 2012 werden für Mineraldüngersubventionen ausgegeben.
Kenia[56]	Geschätzte 37 Mrd. Ksh (~44.1 Mio. US$) für drei Jahre
Malawi[57]	Infolge hoher Düngemittelpreise 2009 wurden 91 % der Kosten für Mineraldünger subventioniert. Dies entsprach 74 % des Agrarbudgets und 16% des Staatshaushalts.
Nigeria[58]	Düngemittel werden bis zu 25 % subventioniert und beanspruchten zwischen 2001 und 2005 im Durchschnitt mehr als 43 % des Agrarbudgets.
Sambia[59]	Bis zu 70 % des Agrarbudgets werden für Düngemittelsubventionen und Maispreisunterstützung ausgegeben.
Tansania[60]	Die Preise für Düngemittel und Saatgut werden bis zu 50 % subventioniert. Erwartete Kosten: ca. 110–150 Mio. US$

Angesichts der geringen Rentabilität von Subventionen für Mineraldünger erschreckt, in welcher Größenordnung öffentliche Gelder in diesen Bereich fließen.

Angesichts der geringen Rentabilität von Subventionen für Mineraldünger erschreckt, in welcher Größenordnung öffentliche Gelder in diesen Bereich fließen. Die Subventionsprogramme belasten nationale Agrarhaushalte in hohem Maße. In Malawi wurden zeitweise 74 % des Budgets für Subventionen von Mineraldünger ausgegeben, und ähnliche Zahlen wurden für Sambia berechnet (Tabelle 5.2). Die Zahlen aus Ghana zeigen eindrucksvoll, wie sich die Ausgaben eines nationalen Agrarbudgets auf die Finanzierung von Mineraldünger ausrichten und ihr Anteil – absolut wie relativ – kontinuierlich ansteigt (Tabelle 5.3). Das sind Gelder, die für andere agrarpolitische Maßnahmen nicht zur Verfügung stehen.

Tab. 5.3: Nationale Kosten für Mineraldüngersubventionen in Ghana (Mio. US$)
Berechnet nach Angaben von MoFA (2012)

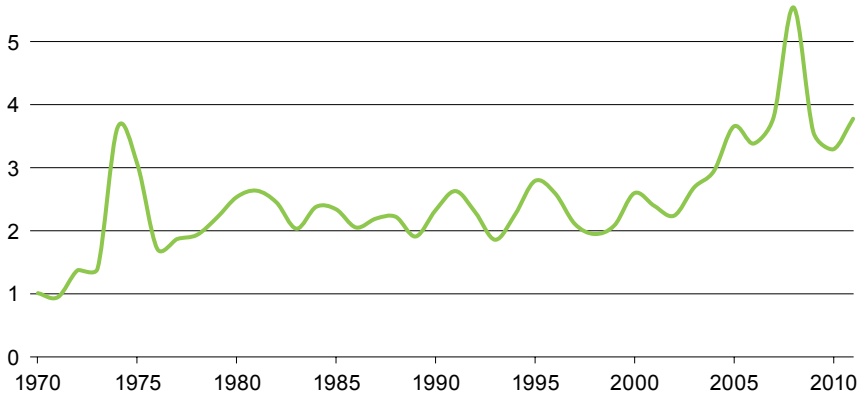
Jahr	Düngersubventionen (Mio. US$)	Agrarhaushalt (Mio. US$)	Anteil der Düngersubventionen am Agrarhaushalt (%)
2008	19	114	16
2009	24	140	17
2010	20	175	12
2011	50	142	36
2012	66	144	46

So bleiben grundsätzliche Probleme trotz vermeintlich besserer Konzepte ungelöst. Düngersubventionen führen kurzfristig zu Produktionssteigerungen, wirken sich aber langfristig negativ auf die Bodenfruchtbarkeit aus. Die vergleichsweise extrem niedrige Verzinsung eingesetzter Mittel bestätigt dies. Volkswirtschaftlich betrachtet sind sie nur als vorübergehende Maßnahmen mit Nothilfecharakter zu rechtfertigen. Kurzfristig können sie z.B. temporäre Preissteigerungen bei Dünger abfedern und Nahrungsproduktion ankurbeln, aber sie können nicht als nachhaltige Strategie für Ernährungssicherung herhalten.[61] Mineraldüngersubventionen sind deshalb ein Instrument der Soforthilfe zu hohen Kosten. Aber de facto werden einmal begonnene Subventionen über viele Jahre fortgesetzt und lassen sich nur gegen große Widerstände beenden, auch wenn sie die Haushalte mancher Länder erheblich belasten.

6 Wirtschaftlichkeit von Mineraldüngern für Kleinbauern

Die Wirtschaftlichkeit von Mineraldünger entspricht dem Verhältnis zusätzlicher Kosten zum zusätzlichen Ertrag. Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass in vielen kleinbäuerlichen Regionen Afrikas, Asiens und Lateinamerikas die durch Mineraldünger erzielbaren Mehrträge gering sind. Dies ist vor allem für Sub-Sahara Afrika gut dokumentiert.[62] Der Grund dafür ist die weit verbreitet geringe Fruchtbarkeit von Böden, die jahrzehntelang übernutzt, ausgelaugt, versauert oder der Erosion preisgegeben wurden. Das Vermögen degradierter Böden, gedüngte Nährstoffe pflanzenverfügbar zu machen und auch sonst günstige Wachstumsbedingungen zu ermöglichen, ist häufig auf ein Minimum reduziert.

Abb. 6.1:
Terms of Trade für Dünger und Nahrungsmittel
Düngerpreis-Index / Nahrungsmittelpreis-Index (1970=1)
Quelle: eigene Berechnungen



Die Weltmarktpreise von Mineraldüngern sind in Relation zu den Nahrungsmitteln deutlich gestiegen. In 40 Jahren hat sich der Dünger um mehr als 250% gegenüber Nahrungsmitteln verteuert.

Auf der Kosten-Seite ist zunächst festzustellen, dass sich die sogenannten Terms of Trade im Agrarsektor und hier besonders das Austauschverhältnis Mineraldünger zu Nahrungsmitteln über die Jahrzehnte stetig verschlechtert hat. Grafik 6.1 zeigt, wie sich das Verhältnis eines eigens berechneten Düngerpreis-Index[63] in Relation zum Weltbank Food Price Index[64] von 1970 bis 2011 entwickelt. Es wird deutlich, dass die Weltmarktpreise von Mineraldüngern in Relation zu den Nahrungsmitteln deutlich angestiegen sind. Dünger hat sich um mehr als 250 % gegenüber Nahrungsmitteln verteuert. Andere Studien kommen zu ähnlichen Ergebnissen.[65]

Die überproportionalen Kostensteigerungen bei Mineraldünger sind Ausdruck der Verknappung und Verteuerung natürlicher Ressourcen. Dazu gehören fossile Energieträger wie Erdöl und Erdgas sowie Phosphor und andere Mineralien. Dieser globale Trend wird in den meisten Entwicklungsländern durch weitere Kosten verstärkt. Für den Einzelbetrieb liegen die Kosten für Mineraldünger meist weit über, die Produktpreise dagegen deutlich unter den Weltmarktpreisen[66], denn an marktfernen Standorten sind Düngerkosten besonders hoch, während die Preise für Agrarprodukte gegenüber Standorten mit guter Marktanbindung deutlich schlechter ausfallen. Außerdem unterliegen die Düngerpreise hoher Fluktuation[67], besonders wenn es sich um devisenabhängige Importe handelt, wie in den meisten Entwicklungsländern.

Die hohen Verbraucherpreise von Mineraldüngern in Entwicklungsländern sind vor allem auf den Transport ins Landesinnere und den Verkauf in kleinsten Mengen zurückzuführen. Hafenferne Standorte sind deshalb besonders benachteiligt. So lag der Preis für Harnstoff im Einzelhandel in Lusaka/Sambia, in Lilongwe/Malawi oder in Abuja/Nigeria um 41–48 % über denen in Städten der USA (Tabelle 6.1). In Huambo/Angola erhöhte sich der Hafenpreis für NPK-Dünger allein durch Import, Transport und Handel im Lande sogar um 150 %.

Tab. 6.2: Auswirkungen der Transportkosten auf Düngemittelpreise in ländlichen Gebieten Afrikas (US$/Tonne in 2003) *Quelle: Gregory and Bump (2005)* fob = free on board, cif = cost included freight

	Transportweg	Preis (fob)	Preis (cif)	Einzel-handel
USA (Harnstoff)		135	160	227
Nigeria (Harnstoff)	Lagos – Abuja	135	165	336
Malawi (Harnstoff)	Beira – Lilongwe	145	170	321
Sambia (Harnstoff)	Beira – Lusaka	145	270	333
Angola (NPK)	Luanda – Huambo	226	323	828

Eine umfangreiche Studie im Auftrag der Gates Foundation[68] bestätigt diese Ergebnisse. So beträgt der Einzelhandelspreis im Jahr 2006 für Harnstoff in Lilongwe/Malawi 496 US$/t gegenüber einem fob-Preis von 191 US$/t. Für abgelegene Regionen sind weitere Zuschläge zu kalkulieren. Sanchez[69] rechnet für Malawi sogar mit einer Versechsfachung des Preises für Harnstoff, in Relation zum Preis im Hafen von Beira/Mosambik.

In einer Studie der Weltbank wurden zahlreiche Vorschläge erarbeitet, um die hohen Transaktionskosten für Import, Transport und Handel zu reduzieren. So wird empfohlen, den Zugang zu Agrarkrediten zu erleichtern, Marktinformationssysteme einzurichten, die Produktpalette zu vereinfachen, das Händlernetz auszubauen, staatliche Kontrollmechanismen zu verstärken.[70] Für Ostafrika schätzen Agrarökonomen, dass der Endpreis im Einzelhandel dadurch um 11–18 % reduziert werden könnte.[71] Das ist nicht viel und ändert am grundsätzlichen Problem überproportionaler Kosten für Mineraldünger in Entwicklungsländern wenig. Vor allem in abgelegenen landwirtschaftlichen Regionen sind die Produktpreise zu niedrig und die Kosten für Dünger zu hoch.

So ist Mineraldünger, wenn überhaupt, häufig nur in kleinen oder kleinsten Mengen rentabel. Auch wenn Düngerempfehlungen staatlicher Beratungsdienste oft weit darüber liegen, ist den Bäuerinnen und Bauern die geringe Rentabilität meist sehr bewusst, und sie düngen im Allgemeinen sehr gezielt und sparsam. Weit verbreitet ist die Praxis, Pflanzen einzeln mit Dünger zu versorgen. Für die richtige Dosierung werden im südlichen Afrika zum Beispiel Kronkorken von Bierflaschen verwendet.

Die Rentabilität von Mineraldünger wird häufig durch das Nutzen-Kosten-Verhältnis angegeben. Hierbei wird der Verkaufswert des Mehrertrages durch die Kosten des aufgewendeten Düngers geteilt. Untersuchungen zum Nutzen-Kosten-Verhältnis belegen die geringe Rentabilität von Mineraldünger in kleinbäuerlichen Regionen. So lag das durchschnittliche Nutzen-Kosten-Verhältnis von Mais zu Stickstoff im Jahr 2000 in Tansania und Sambia bei 1,1 gegenüber Werten von 5,2 bzw. 6,5 im Jahr 1980.[72] Theoretisch gilt der Mineraldüngereinsatz als profitabel, wenn das Nutzen-Kosten-Verhältnis

größer 1 ist. Aber nach Einschätzung von Agrarökonomen des internationalen Forschungsinstituts CIMMYT sollten Getreidebauern in den Tropen mindestens mit einem Wert von 2 rechnen[73] und an Standorten mit erhöhten Produktions- oder Verkaufsrisiken werden sogar Nutzen-Kosten-Verhältnisse von 3 oder höher für notwendig erachtet.[74]

Ohnehin stellt sich die landwirtschaftliche Praxis noch viel komplexer dar: Je ärmer ein Haushalt ist, umso weniger Mineraldünger wird benutzt[75]; je degradierter der Boden und geringer damit die unmittelbar ertragssteigernde Wirkung von Mineraldünger, umso weniger wird verabreicht[76]; hofferne Felder erhalten weniger Dünger als hofnahe Felder, ebenso nutzen marktferne Betriebe weniger Dünger als marktnahe[77] und schließlich werden Verkaufskulturen eher gedüngt als Nahrungskulturen, die der Selbstversorgung dienen. Damit ist ein großes Spektrum einzelbetrieblicher Entscheidungssituationen aufgezeigt.

Vor allem in Sub-Sahara Afrika ist die Rentabilität von Mineraldünger rückläufig. So lässt sich festhalten:

» Mineraldünger ist für viele Betriebe in Entwicklungsregionen ein sehr teures und kaum rentables Produktionsmittel. In der kleinbäuerlichen Landwirtschaft wird er – wenn überhaupt – meist nur in sehr geringen Mengen angewendet. Das ist angesichts geringer Bodenproduktivität ein betriebswirtschaftlich sehr rationales Verhalten.
» Langfristig hat sich der Mineraldünger überproportional verteuert, wie hier am Preisverhältnis von Mais zu Dünger dargestellt wurde. Mit der langfristigen Verschlechterung der Preisverhältnisse von Nahrungsmitteln zu Dünger sinkt die Wirtschaftlichkeit des Mineraldüngereinsatzes, wenn die Kosten gleich bleiben. Nur durch einen effizienteren Einsatz von Düngemitteln und damit verbunden Kostensenkung kann dies ausgeglichen werden.
» In Zeiten großer Preissteigerungen, wie zum Beispiel während der Nahrungsmittelkrise 2008/2009, stiegen die Düngerpreise in vielen Entwicklungsregionen deutlich stärker als die Preise für Nahrungsmittel. Dementsprechend ist der Düngerverbrauch in Krisenzeiten eher rückläufig als zunehmend. Das gilt besonders für marktferne Regionen.

Die Wirtschaftlichkeit von Mineraldünger hat in der kleinbäuerlichen Landwirtschaft über die Jahrzehnte immer weiter abgenommen.

So lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die Wirtschaftlichkeit von Mineraldünger in der kleinbäuerlichen Landwirtschaft über die Jahrzehnte immer weiter abgenommen hat. Eine Trendwende könnte nur erreicht werden, wenn sich die Preisverhältnisse Mineraldünger zu Nahrungsmitteln zugunsten der Nahrungsmittel verändern oder wenn durch Steigerung der Bodenfruchtbarkeit die Wirkung von Düngungen deutlich erhöht würde. Unter den gegenwärtigen Bedingungen ist beides nicht zu erwarten.

Die Bodenversauerung ist besonders in den feuchten Tropen ein großes Problem. Systematische Kalkung – wie hier auf einer Mangoplantage in Ghana – ist notwendig, um stark versauerte Böden zu regenerieren und die Erträge zu verbessern.

7 Stickstoffdünger – Wirkungen auf die Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft

Nach gängiger Lehrmeinung gelten Mineraldünger neben der Pflanzenzüchtung als wichtigste Maßnahme, um Erträge zu steigern und Ernährung zu sichern. Dieses Argument ist so mächtig, dass negative Düngerwirkungen Boden, Umwelt und Klima oft ausgeblendet oder als externe Kosten behandelt werden, die einfach in Kauf zu nehmen sind. Ebenso wird meist pauschal von Mineraldünger gesprochen, und nur selten wird differenziert zwischen den einzelnen Nährstoffen und ihren Düngerformen.

Die Stickstoffdünger haben erhebliche negative Wirkungen auf Landwirtschaft und Umwelt. Die meisten fördern die Bodenversauerung und belasten den Humushaushalt der Böden; außerdem tragen sie ganz erheblich zum Klimawandel bei.

7.1 Stickstoff und Bodenversauerung

Der Säuregrad von Böden ist ein herausragender Parameter im komplexen Wirkungsgefüge der Bodenfruchtbarkeit (vgl. Kapitel 3). In stark versauerten Böden ist die Verfügbarkeit von Nährstoffen, vor allem von Phosphat, eingeschränkt und die Konzentration toxischer Metalle in der Bodenlösung erhöht. Auch das Leben von Mikroorganismen im Boden ist stark beeinträchtigt; die Bodenproduktivität ist insgesamt geringer.

Besonders gravierend wirkt sich die Versauerung auf die ausreichende Versorgung der Pflanze mit Phosphor und die Wirkung von Phosphatdüngern aus. Phosphat wird in sauren Böden leicht festgelegt. Stickstoff führt dazu, die effiziente Nutzung dieses kostbaren und knappen Nährstoffs zu verringern. Phosphor ist eine nicht substituierbare Ressource. Seine maximal mögliche Abbaurate (Peak Phosphor[78]) könnte bereits in ca. 20 Jahren erreicht sein. Deshalb ist er ein besonders teurer Nährstoff.

Die Ausbringung von synthetischem Stickstoffdünger verstärkt und beschleunigt die Bodenversauerung dramatisch.

Synthetische Stickstoffdünger, die überwiegend auf Ammoniakverbindungen basieren (wie Harnstoff, Ammoniumnitrat, Ammoniumsulfat und Ammoniumphosphate), beschleunigen die Bodenversauerung dramatisch. Tabelle 7.1 gibt einen Überblick über die versauernde Wirkung einzelner Dünger. Der Säureindex gibt an, wie viel Calcium dem Boden zugeführt werden muss, um 1 kg N-Dünger zu neutralisieren. Für Harnstoff, der global betrachtet einen Anteil von 67 % am Gesamtverbrauch von N-Düngern hat[79], sind für jedes Kilogramm 0,71 kg Kalk ($CaCO_3$) erforderlich, um seine Säurewirkung zu neutralisieren.

Tab. 7.1: Bodenversauerung durch Düngung
Quelle: Hart (1998)

	Säureindex[80] kg $CaCO_3$/kg Dünger
Harnstoff	0,71
Ammoniumsulfat	1,10
Ammoniumnitrat	0,62
Monoammoniumphosph	0,58
Diammoniumphosphate	0,37

Aber Kalk, vor allem sein Transport zu den Orten des Bedarfs, ist teuer. Oft sind Kalkmehle auch gar nicht verfügbar. So ist die Praxis systematischer Kalkung im Allgemeinen auf die wohlhabenden Länder, wie beispielsweise die Westeuropas, beschränkt. Hingegen ist die regelmäßige Verwendung von Kalk in der kleinbäuerlichen Landwirtschaft der Tropen nahezu unbekannt. Das führt dazu, dass Böden, die von Natur aus bereits sauer sind, durch Stickstoffdüngung weiter versauern. Häufig liegt der pH-Wert unter 5,5 und erreicht nicht selten Werte zwischen 4,2 und 4,5.

Besonders deutlich ist dieser Zusammenhang in der VR China zu beobachten. Untersuchungen an mehr als 8.000 Bodenproben im Südosten des Landes ergaben, dass im Zeitraum von 1980–2000 – also innerhalb von 20 Jahren – der pH-Wert in Reisböden um durchschnittlich 0,5 Messpunkte abgesunken war.[81] In anderen Untersuchungen wurde sogar ein Absinken der pH-Werte um bis zu 2,2 Einheiten gemessen.[82] Gleichzeitig wurden Ertragsrückgänge von 30–50 % ermittelt, die auf Bodenversauerung zurückzuführen sind.[83] Stickstoff gilt dabei als Hauptverursacher, denn seit 1980 ist die Stickstoffdüngung enorm angestiegen. 32,6 Millionen Tonnen Stickstoff, die 2007 in China verbraucht wurden, entsprechen einem Anstieg von 191 % gegenüber 1981. Mit 344 kg Mineraldünger pro Hektar und Jahr, von denen im Mittel 80 % auf Stickstoff entfallen (Tabellen 4.5 und 4.7), belegt China den Spitzenplatz.

China hat sich in den letzten fünfzig Jahren zum größten Verbraucher von Düngemitteln entwickelt. Im Land werden etwa 50 Millionen Tonnen Dünger erzeugt und verbraucht. Das ist fast ein Drittel des weltweiten Verbrauchs.

7.2 Stickstoff und Bodenhumus

Ein zweiter, zentraler Parameter für Bodenfruchtbarkeit und Nachhaltigkeit in der Produktion ist der Humusgehalt im Boden. Bodenhumus lebt von der Zufuhr organischer Substanz wie Pflanzenresten und tierischen Düngern. Er wird von spezifischen Mikroorganismen-Gruppen gebildet und von anderen wieder abgebaut (mineralisiert). Nachhaltige Bodenfruchtbarkeit lebt also vom Gleichgewicht zwischen Humusaufbau und Humusabbau, von Zufuhr und Verbrauch organischer Substanz.

Böden mit hohem Humusgehalt können Mineraldünger besonders gut verwerten. Die ertragssteigernde Wirkung einer gut dosierten Mineraldüngung kann dann sehr hoch ausfallen. Das hängt unter anderem damit zusammen, dass die organische Substanz im Boden als wichtiger Zwischenspeicher für gedüngte Nährstoffe fungiert (vgl. Kapitel 3, Tabelle 3.1). In Böden mit sehr niedrigen Humusgehalten ist auch die Speicherfähigkeit für Nährstoffe sehr gering, und ein Großteil der über Mineraldünger verabreichten Nährstoffe geht durch Auswaschung verloren.

Deshalb wird argumentiert, Mineraldünger habe nicht nur die Aufgabe, Erträge zu steigern, sondern auch Biomasse zu produzieren, die dem Feld nicht entnommen, sondern dem Boden als organische Substanz zugeführt wird (Wurzelmasse und Erntereste). Überdies verhelfe eine ausgiebige und ausgeglichene Nährstoffversorgung dazu, dass mit der gestiegenen Biomasseproduktion deutlich mehr Stroh und andere Pflanzenreste, wie Wurzelbiomasse anfallen, die den Humus im Boden anreichern. Würde diese Annahme stimmen, wäre Mineraldünger eine Investition in den langfristigen Erhalt landwirtschaftlich genutzter Böden.

Die größte Herausforderung bei jeder Art der Düngung ist es, den Humusgehalt des Bodens zu erhöhen. Diese Bäuerin nutzt auf ihrem Hof in Kolumbien Mist und Pflanzenreste, um Kompost zu erzeugen.

Aber das Gegenteil ist der Fall. Die Ergebnisse zahlreicher Dauerversuche kommen zu dem Ergebnis, dass die regelmäßige Düngung mit N, P, und K (Stickstoff, Phosphat und Kalium), im Gegensatz zur organischen Düngung, den Humusgehalt des Bodens trotz erheblicher Zufuhr von Ernterückständen[84] langfristig reduziert. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass mit erhöhter Dosierung des Stickstoffs, etwa um Maximalerträge zu erzielen, der Humusabbau verstärkt wird.[85]

In dem berühmten Dauerversuch der „Morrow Plots“ in Illinois/USA wurden einzelne Felder über ein halbes Jahrhundert (1955–2001) mit N, P und K gedüngt und diese Mineraldüngung mit erheblichen in den Boden eingebrachten Mengen an Ernterückständen verbunden. Obwohl die Mineraldüngung höhere Pflanzenbestände erlaubte, die als Biomasse dem Boden wieder zugutekam, verringerte sich der Bodenhumus kontinuierlich und signifikant. Die tieferen Bodenschichten (15–30 cm und 30–46 cm) waren übrigens davon stärker betroffen. Das heißt: Die Bodenfruchtbarkeit hat sich insgesamt eindeutig verschlechtert und die Bindung von Kohlendioxid im Boden verringert.[86]

Stickstoff fördert die Zersetzung von organischer Substanz im Boden. Je höher die N-Gaben und die N-Überschüsse, umso stärker ist die Zersetzung.

Zahllose Untersuchungen[87] bestätigen, dass mineralischer Stickstoff die Zersetzung von organischer Substanz im Boden fördert, und dies umso mehr, je höher die N-Gaben und je höher N-Überschüsse sind. De facto werden weltweit sehr hohe Stickstoffüberschüsse produziert, und die Nutzungseffizienz von Stickstoff ist stark gesunken. Nach neueren Berechnungen ist sie innerhalb von 40 Jahren stark zurückgegangen.[88] Für die globale Getreideproduktion wird sie mit nur noch 33–36 % beziffert.[89] Diese Vergeudung von Ressourcen hat System: Die Höhe der Mineraldüngung richtet sich nicht nach dem Pflanzenbedarf, sondern nach dem betriebswirtschaftlich erzielbaren Höchstertrag einer Ernte und geht auf Kosten der mittel- bis langfristigen Bodenfruchtbarkeit.

7.3 Stickstoff und Klima

Stickstoff ist der größte Verursacher von Klimagasen in der Landwirtschaft.

Die globale Landwirtschaft trägt heute mit etwa 12 % zur Emission von Klimagasen bei.[90] Sie gehört damit zu den Hauptverursachern des Klimawandels. Innerhalb dieses Sektors entfallen nach neueren Berechnungen 47 % allein auf Rodung und Brandrodung zur Erschließung landwirtschaftlicher Nutzflächen. 17 % gehen auf Lachgas (N_2O) zurück, das von landwirtschaftlichen Flächen freigesetzt wird. Das sind Überschüsse, die aus der Düngung mit Stickstoff stammen.[91] Das heißt, in der Landwirtschaft (ohne Einbeziehung der Landerschließung) beträgt das Lachgas, welches überwiegend aus mineralischer Stickstoffdüngung stammt, mehr als ein Drittel aller landwirtschaftlichen Emissionen.[92]

Darin sind Emissionen, die durch die Produktion von Mineraldüngern entstehen, noch nicht eingerechnet. Vor allem bei der Herstellung mineralischer Stickstoffdünger entstehen große Mengen an Kohlendioxid. Die Stickstoffsynthese gehört zu den Industrieprozessen mit dem höchsten Energieverbrauch. Für die Haber-Bosch-Synthese zur weltweiten Herstellung von Ammoniak werden ca. 1,2 % des weltweiten Energiebedarfs benötigt.[93] Innerhalb der Düngemittelindustrie werden 90 % der eingesetzten Energie für die Herstellung von synthetischem Stickstoff verwendet. Schließlich werden bei der Herstellung von Salpetersäure, einem weitere wichtigen Grundstoff der N-Düngemittelherstellung, große Mengen an Lachgas freigesetzt.

7.4 Resümee

Stickstoff führt zu enormen kurzfristigen Ertragssteigerungen und schädigt gleichzeitig Boden und Klima – Produktionsgrundlagen der Landwirtschaft. So ist der Vergleich mit einer Droge, die einen Athleten kurzfristig zu Höchstleistungen aufputscht und seinen Körper langfristig zerstört, nicht ganz falsch. Der hohe Verbrauch von Stickstoffdünger in China und die daraus resultierende Bodenversauerung zeigen exemplarisch, wie die weltweit auf synthetischem Stickstoff basierende Landwirtschaft knappe Ressourcen (Energie, Phosphat) verschwenderisch vergeudet und gleichzeitig auch die eigenen Produktionsgrundlagen systematisch zerstört und Ernährungssicherheit verringert. Subventionsprogramme, die darauf abzielen, über smart subsidies vor allem ärmere landwirtschaftliche Betriebe mit Mineraldünger – vorzugsweise mit Stickstoff – zu versorgen, verschärfen mittel- bis langfristig deren Armut, anstatt sie zu beheben, da der Stickstoff die Bodenfruchtbarkeit zerstört.

Der durch Stickstoff verursachte Schaden bedroht nicht nur die Umwelt, sondern auch die Landwirtschaft selbst.

Dabei stehen gerade für die Stickstoffdüngung organische Alternativen bereit: Stickstoff ist der einzige der drei Hauptnährstoffe, der durch Mikroorganismen biologisch im Boden gebunden und angereichert werden kann. Stickstoff ist somit eine erneuerbare Ressource, während Phosphor und Kalium nur in begrenzten Mengen aus dem Boden nachgeliefert werden können. Vor allem die meisten tropischen Böden sind auf die Rückführung oder den Ersatz von Phosphor und Kalium angewiesen.

Die negativen Wirkungen das synthetischen Stickstoffs haben ein Ausmaß erreicht, das nicht mehr ignoriert werden kann. Sie bedrohen nicht nur die Umwelt, sondern auch die Landwirtschaft selbst. Deshalb wird der Stickstoff neben den Kohlendioxid-Emissionen und dem Rückgang der Biodiversität zu den drei globalen Einflussgrößen gezählt, die die sogenannten planetary boundaries bereits deutlich überschritten haben.[94]

Dünger ist kostbar: Ein sambischer Bauer düngt jede Pflanze einzeln; zur genauen Dosierung verwendet er Kronkorken.

8 Mineraldünger im Kontext nachhaltiger Intensivierung

Die Landwirtschaft steht heute vor der großen Herausforderung, intensive Produktion mit Nachhaltigkeit verbinden zu müssen. Nachhaltiger zu produzieren, heißt: natürliche Ressourcen effizient und so weit wie möglich wiederverwendbar zu nutzen und negative Auswirkungen auf Umwelt und Boden möglichst zu vermeiden, mit dem Ziel, diese dauerhaft zu erhalten. Mit Blick auf die Nährstoffe gilt es, Verluste zu minimieren, die z.B. durch Erosion und Auswaschung oder Festsetzung im Boden entstehen und hierdurch, wie auch durch die Rückführung entnommener Stoffe, Nährstoffkreisläufe zu stärken.

Organische Dünger, mit denen Nährstoffkreisläufe wiederhergestellt oder belebt werden können, haben Potenzial, aber vermögen es alleine nicht, den großen Nährstoffbedarf zu decken. Dies gilt ungleich stärker für Felder, die ihre Nährstoffe über Jahrzehnte durch Ernten und Erosion eingebüßt haben, sodass die Bodenfruchtbarkeit systematisch wieder aufgebaut werden muss. Betriebseigene Maßnahmen organischer Düngung gelangen hier schnell an ihre Grenzen, und ohne Nährstoffzufuhr von außen ist ein Intensivierungssprung in der Produktion meist nicht erreichbar.[95]

Mineraldünger ist als eine ergänzende Maßnahme zur organischen Düngung und im Kontext einer umfassenden Bodenfruchtbarkeitsstrategie zu sehen.

Auf Mineraldünger wird deshalb nicht verzichtet werden können. Aber im Hinblick auf seine Verwendung ist ein grundsätzliches Umdenken erforderlich. Es genügt nicht, komplementär zur Mineraldüngung Maßnahmen zur Humuspflege zu ergreifen. Vielmehr sollte der Umkehrschluss gelten: Mineraldünger ist als eine ergänzende Maßnahme im Kontext einer umfassenden Bodenfruchtbarkeitsstrategie zu sehen. So gesehen geht es bei der Düngung nicht unmittelbar um Ertragssteigerung und die Düngung der Pflanze, sondern um den Aufbau der Bodenfruchtbarkeit. Genau dies meinte Rudolf Steiner (ähnlich wie andere Entwickler des ökologischen Landbaus) mit seinem inzwischen berühmt gewordenen Satz „Düngen heißt den Boden beleben".[96]

Für die kleinbäuerliche Landwirtschaft mit ihrer herausragenden Rolle für Ernährungssicherung ist die Herausforderung besonders groß. Betriebe mit begrenzt verfügbaren Mitteln müssen befähigt werden, in Bodenfruchtbarkeit zu investieren, um so die Produktion zu steigern, Ernährung zu sichern, Vermarktungsüberschüsse zu erhöhen und das Produktionsrisiko zu verringern.

8.1 Bodenhumus hat Priorität

Vorrang haben alle Maßnahmen, die den Humusgehalt im Boden steigern und zu verstärkten Nährstoff- und Energiekreisläufen führen.

Vorrang bei diesem Intensivierungsweg haben zunächst alle Maßnahmen, die den Humusgehalt im Boden steigern und zu verstärkten Nährstoff- und Energiekreisläufen führen. Damit sind Technologien angesprochen, die im Englischen unter dem Begriff Sustainable Land Management (SLM)[97] zusammengefasst werden und im ökologischen Landbau systematische Anwendung finden. Das Spektrum reicht von der Verwendung tierischer Dünger und Komposte über Gründüngung und Intensivbrachen bis hin zum Aufbau agroforstlicher Systeme. Ebenso bedeutsam sind Maßnahmen der Boden- und Wasserkonservierung (soil and water conservation, SCW), die Bodenerosion verhindern, Niederschlagswasser auffangen (water harvesting), Wasserspeicherkapazität des Bodens erhöhen und den Biomasseertrag steigern. SLM- und SWC-Maßnahmen führen dem Boden organische Substanz zu, schaffen einen Ausgleich zu kontinuierlicher Humusmineralisierung und bieten die

Möglichkeit, den Humusgehalt im Boden zu erhöhen. Damit wird das Potenzial des Bodens erhöht, Nährstoffe zu absorbieren und pflanzenverfügbar zu halten (s. Tabelle 3.1) und die Grundlage für weitere Düngung geschaffen. Von besonderer Bedeutung ist die mit dem Humusaufbau einhergehende erhöhte Aktivität von Mikroorganismen im Boden. So können zum Beispiel durch verstärkte Mykorrhiza-Tätigkeit deutlich höhere Mengen an Phosphor im Boden mobilisiert und von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden. Die Zufuhr von Nährstoffen kann in dieser Aufbauphase eine wichtige Rolle spielen. Nicht selten sind degradierte Böden von akutem Phosphatmangel betroffen und stark versauert. Kalk- und Phosphorgaben sind dann unverzichtbar.

Die Leistungsfähigkeit von Methoden nachhaltiger Landwirtschaft kann sehr hoch sein, wenn sie systematisch angewendet werden. Zahlreiche Untersuchungen bestätigen, dass durch sie die Bodenfruchtbarkeit verbessert wird und die Produktivität gesteigert werden kann.[98] Das gilt besonders unter ökologisch schwierigen Produktionsbedingungen.[99] Die Eignung dieser SLM-Techniken zum Aufbau tropischer Böden – einzeln oder in Kombination mit anderen – richtet sich nach den Bedingungen eines jeweiligen Standortes, das heißt nach seinen natürlichen, ökonomischen und soziokulturellen Gegebenheiten. Zur Verdeutlichung von Prinzip und Wirkungsweise sollen einzelne Beispiele im Folgenden kurz dargestellt werden.

8.1.1 Bedeutung der Tierhaltung für Ackerbau

Die Verbindung von Ackerbau mit Tierhaltung gilt in vielen Agrarnutzungssystemen als Grundlage für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. In manchen Regionen ist die Erzeugung von Mist für die Betriebe sogar von größerer Bedeutung als die Gewinnung anderer Produkte wie Milch, Fleisch, Häute etc. Das gilt z.B. für weite Teile Ruandas, ebenso wie für die Betriebe in den Usambara-Bergen Tansanias; trotz großer Landknappheit nutzt das Vieh Futterquellen, die nicht mit der Nahrungsproduktion aus dem Ackerbau konkurrieren (Brachland, Weide, Bäume, Sträucher). Auf diese Weise werden Nährstoffe „gesammelt“, die über den Mist für die Düngung der Ackerflächen genutzt werden können. Der Trend geht dahin, die Mistproduktion durch Stallhaltung und Futterbau zu steigern und den Mist zu einem noch hochwertigeren Dünger (Mistkomposte, Mischdünger) aufzubereiten. Tabelle 8.1 gibt einen Überblick über die Nährstoffgehalte verschiedener Frischmiste. Dabei fallen die relativ hohen Phosphorgehalte auf, die angesichts des verbreiteten Phosphormangels besonders wertvoll sind. Sie enthalten überdies nennenswerte Calcium-Gehalte, die der Versauerung entgegenwirken können.

Tab. 8.1: Nährstoffgehalte und organische Substanz (%) in Frischmisten verschiedener Haustiere
Quellen: Sauerlandt (1948), Jaiswal et al. (1971)

	Wasser %	organische Substanz	Stickstoff N	Phosphat P_2O_5	Kalium K_2O	Calcium CaO
Rind	80	16	0,30	0,20	0,15	0,20
Pferd	73	22	0,50	0,25	0,30	0,20
Schwein	78	17	0,50	0,40	0,07	0,07
Schaf/ Ziege	64	31	0,70	0,40	0,25	0,40
Huhn	57	29	1,50	1,30	0,80	4,0

Mit regelmäßiger Mistdüngung lässt sich der Humusgehalt im Boden konstant halten oder sogar steigern.

Die Wirkung von Misten wurde vielfach untersucht. Mist wirkt nicht nur allein ertragssteigernd, sondern kann auch die Wirkung von Mineraldüngern (wie Stickstoff, Phosphor und Kalium) erheblich steigern (Tabelle 8.2).[100] Viel entscheidender aber ist, dass der Humusgehalt im Boden durch regelmäßige Mistdüngungen konstant gehalten oder sogar gesteigert werden kann, wie sich dies auch in neueren Arbeiten für subhumide und semiaride Standorte nachweisen ließ.[101] Darüber hinaus hilft er auf stark versauerten Böden, die Wirkung von Phosphordüngern zu verbessern[102] und den pH-Wert anzuheben.[103]

Tab. 8.2:
Wirkung von Stallmist und Mineraldünger auf den Maisertrag (kg/ha+Jahr)
Quellen: Abdullahi (1971) zitiert in Mokwunye (1980)

N – P – K	Langjährige Düngung mit Stallmist (t/ha Stallmist pro Jahr, über 20 Jahre)			
	0	2.5	7.5	12.5
0 – 0 – 0	33	584	2.543	3.145
124 – 28 – 56	1.016	2.316	3.775	3.821
268 – 56 – 112	2.056	3.311	4.108	4.247

8.1.2 Kompost

Meist reichen die tierischen Dünger nicht aus. Auch gibt es viele Betriebssysteme, in denen die Tierhaltung keinen Platz hat. Deshalb kommt der Kompostierung pflanzlicher Materialien große Bedeutung zu. Durch eine gelenkte biologische und chemische Zersetzung und Umwandlung tierischer und pflanzlicher Abfälle wird ein hochwertiger Humusdünger erzeugt. Diese Methode, die in der Vergangenheit unterschätzt und oft als Maßnahme „nur für Hausgärtner" abgetan wurde, erlebt in der tropischen bäuerlichen Landwirtschaft inzwischen einen regelrechten Boom. Auch kann über Mitkompostierung tierischer Dünger ihre Effizienz deutlich erhöht werden. Ebenso wird die Kompostierung menschlicher Fäkalien zukünftig stärker berücksichtigt werden müssen.

Große Verbreitung findet gegenwärtig die Herstellung von Wurmkomposten (Vermicompost). Dieses Verfahren, das mit hohen Regenwurmpopulationen arbeitet, führt zu sehr hochwertigen Humusverbindungen. Zahlreiche Forschungsergebnisse der letzten zehn Jahre belegen die überaus positiven Wirkungen von Vermicompost auf den Pflanzenertrag – allein[104] und in Kombination mit Mineraldüngern.[105] Außerdem wurden in zahlreichen Arbeiten positive Wirkungen auf den Humushaushalt[106], die bodenbiologische Aktivität[107], den pH-Wert und die Phosphatverfügbarkeit nachgewiesen.[108]

Die zentrale Herausforderung bei aller Düngung ist es, die Humusgehalte im Boden trotz landwirtschaftlicher Nutzung zu bewahren oder aufzubauen.

Die zentrale Herausforderung bei aller Düngung ist es, die Humusgehalte im Boden trotz landwirtschaftlicher Nutzung zu bewahren oder aufzubauen. Im Hinblick auf diese Humus-Reproduktionsleistung schneiden die Komposte am besten ab, und tierische Dünger stehen an zweiter Stelle.[109]

Natürlich ist die Humusbildung abhängig von der Menge organischen Materials. Neuere Ergebnisse zeigen jedoch, dass für den Humusaufbau nicht nur die Menge entscheidend ist, sondern die zur Humussynthese notwendigen mikrobiologischen Prozesse eine große Rolle spielen. Das beginnt bei Mist im Verdauungstrakt des Tieres und endet bei der Arbeit der Mikroorganismen im Boden. Je besser es gelingt, diesen Prozess im Sinne von Dauerhumusbildung zu steuern, umso wertvoller ist die Düngung. So konnten Bachinger

und Raupp[110] in Langzeitversuchen unter biologisch-dynamischer Bewirtschaftung nachweisen, dass durch Anwendung von Bakterienpräparaten (den sogenannten Kompost-Präparaten) Humusgehalt und bodenbiologische Aktivität deutlich anstiegen (Tab. 8.3).

Tab. 8.3: Organischer Kohlenstoff, Mikroben-Biomasse und Enzymaktivität im Oberboden nach 18 Jahren Düngung mit Stallmist oder Mineraldünger *Quellen: Raupp 1998 Bachinger 1996*

	Kohlenstoff %TS	Proteinase-Aktivität mg/g Tyr	Mikroben-Biomasse mg/100g C	Dehydrogenase-Aktivität µg/10g TPF
Kompostierter Stallmist	0,91	0,27	34,9	109,1
Kompostierter Stallmist und b.d. Kompostpräparate	1,00	0,26	37,8	121,9
Mineraldünger	0,79	0,20	36,1	75,9

Kompostierung ist eine Zukunftstechnologie, und in der Weiterentwicklung von Kompostierungsverfahren liegt großes Potenzial für weitere nachhaltige Intensivierung.

8.1.3 Gründüngung und Intensivbrache

Gründüngung und Intensivbrache dienen dazu, mehr Biomasse zu erzeugen und Nährstoffe aus dem Unterboden in den Oberboden zu bringen. Es gibt zahlreiche Methoden. Dazu gehören Untersaaten in Nahrungskulturen wie z.B. bei Mais und anderen Getreidearten, Zweitfrüchte, die nach der Hauptkultur angebaut und dann in den Boden eingearbeitet werden, Futterpflanzen wie Kleegrasgemenge, die als Bestandteil in der Fruchtfolge wirtschaftseigenes Futter für die Tierhaltung produzieren, aber auch ein- bis zweijährige wüchsige Intensivbrachen, die nur der Bodenregeneration dienen. Bei allen Methoden geht es darum, dem Boden zusätzliche Biomasse und biologisch gebundenen Stickstoff zuzuführen, um so zur Regeneration des Bodenhumus beizutragen, den Boden zu bedecken, um Wasserverluste und Humusabbau zu verringern und Unkräuter besser zu kontrollieren.

In allen Fällen spielen Leguminosen eine zentrale Rolle, die raschwüchsig sind, d.h. in kurzer Zeit große Mengen an Biomasse erzeugen und gleichzeitig erhebliche Mengen an biologischem Stickstoff bilden können. In Simbabwe konnten Rattray and Ellis[111] in einem 23 Jahre dauernden Versuch nachweisen, dass durch die Rotation von Maisanbau mit einer einjährigen Intensivbrache – einem Gemenge aus Mucuna und Crotalaria (Leguminosen) – der Maisertrag gegenüber dem Daueranbau von Mais mehr als verdoppelt werden kann. Zu ähnlichen Ergebnissen kam Rodriguez in seinen Versuchen mit Dolichos in Kolumbien.[112]

Soweit es überhaupt möglich ist, die Wirkung von Gründüngungen und Intensivbrachen als Parameter der Bodenfruchtbarkeit allgemein zu beurteilen, so lässt sich feststellen, dass die Wirkungen auf den Ertrag von Folgekulturen hoch ist. Beim größten Teil der Gründüngungspflanzen handelt es sich um Leguminosen, die in Symbiose mit Mikroorganismen erhebliche Mengen an Stickstoff biologisch binden können. Aufgrund des hohen Stickstoffgehaltes

ist die Biomasse von Gründüngungen meist leicht mineralisierbar und dient nachfolgenden Kulturpflanzen als Nährstoffquelle. Dagegen ist der Aufbau stabilerer Huminstoffe, die zur Bildung von Dauerhumus führen, deutlich geringer als bei Mist oder Kompost.

8.1.4 Agroforstwirtschaft

Methoden der Agroforstwirtschaft haben sich als sehr erfolgreich erwiesen, die kleinbäuerliche Landwirtschaft zu intensivieren. Deshalb gehören sie auch in vielen tropischen Ländern zu den angestammten Verfahren kleinbäuerlichen Wirtschaftens. Die räumliche Trennung von Feld und Wald ist aufgehoben. Im „mehrstufigen Anbau“ werden landwirtschaftliche Kulturen, Sträucher und Bäume räumlich so kombiniert, dass die einzelnen Vegetationselemente oberirdisch und im Wurzelraum so wenig wie möglich um Nährstoffe, Wasser oder Licht konkurrieren und so ein Optimum an Flächenproduktivität erzielen.

So führte ein langjähriger Feldversuch in Ruanda mit 250 Bäumen pro Hektar trotz geringerer Anbaufläche zu Mehrerträgen von Mais und Bohnen, die in Mischkultur angebaut wurden. Und das Gesamteinkommen aus Nahrungskulturen, Holz und Viehfutter stieg um 140 % gegenüber den Vergleichsflächen.[113] Der kontinuierliche Laubfall der tiefwurzelnden Bäume versorgte die Felder nicht nur mit Nährstoffen, sondern auch mit organischer Substanz zum Ausgleich der Humusbilanz (Tabelle 8.4).

So lässt sich die Nährstoffbilanz verbessern und der Bodenversauerung entgegenwirken – wenn auch nur in engen Grenzen. Das Beispiel zeigt, wie gering die Phosphatgehalte sind, die mobilisiert werden können, und weist auf die große Bedeutung von Phosphatdüngungen hin.

Tab. 8.4: Jährliche Nährstoffzufuhr durch Laubfall von Bäumen im Feld
Quelle: Neumann und Pietrowicz (1985)
Standort: Nyabisindu/ Ruanda, 190–250 Bäume pro ha älter als 4 Jahre (Grevillea robusta)

Organische Substanz (Laubfall)	4,0	t/ha
Stickstoff (N)	34,0	kg/ha
Phosphor (P)	0,4	kg/ha
Kalium (K)	16,0	kg/ha
Calcium (Ca)	36,0	kg/ha
Magnesium (Mg)	4,8	kg/ha

8.2 Mineraldünger – Innovationen generieren

Die Wirkungsanalysen zur Mineraldüngung in der kleinbäuerlichen Landwirtschaft stellen die Düngerprodukte und Düngerpraxis vielfach infrage. Alternativen sind erforderlich, die die Mineraldüngung wirtschaftlich rentabler und ökologisch verträglicher machen. Innovationsbedarf besteht vordringlich in den folgenden drei Punkten.

8.2.1 Die Phosphorversorgung neu denken

Für viele Betriebe ist Phosphor der am stärksten ertragsbegrenzende Nährstoff. Zur Überwindung des teilweise akuten Phosphatmangels in der Landwirtschaft und der Endlichkeit großer Phosphatlagerstätten sollte nach neuen Lösungswegen gesucht werden. Ein Recycling von Nährstoffen und alternative Formen der Düngerherstellung aus lokalen Lagerstätten besitzen ein großes und bisher kaum genutztes Potenzial.

Haushaltsabfälle und menschliche Fäkalien sind im Hinblick auf die in ihnen enthaltenen Nährelemente ein wertvoller Rohstoff. Ihre Rückführung über Klärschlämme und Stadtkomposte in die Landwirtschaft ist ein dringend notwendiger Schritt, um Nährstoff-Kreisläufe wiederherzustellen.

Haushaltsabfälle und menschliche Fäkalien sind im Hinblick auf die in ihnen enthaltenen Nährelemente (P, K und Spurenelemente) ein wertvoller Rohstoff. Ihre Rückführung über Klärschlämme und Stadtkomposte in die Landwirtschaft ist besonders in den Tropen ein dringend notwendiger Schritt um Nährstoff-Kreisläufe wiederherzustellen. Dabei ist allerdings das verbreitete Problem von Schwermetallen, Medikamenten-Reststoffen und anderen Chemikalien in diesen Abfällen zu lösen.[114]

Gleichzeitig weist van Straaten[115] darauf hin, dass weit mehr als bisher lokale Phosphatlagerstätten erschlossen und mit alternativen Technologien zur kleinindustriellen Herstellung von Phosphatdüngern genutzt werden könnten. Anstelle der großtechnologischen Behandlung mit Schwefelsäure zur Herstellung von hochlöslichem Single- und Triple-Superphosphat werden dann teilaufgeschlossene Rohphosphate genutzt. Entscheidend ist dabei, wie der Aufschluss aus schwerlöslichen Rohphosphaten erreicht werden kann, damit Phosphor pflanzenverfügbar wird und eine Düngerwirkung entfalten kann. So kann durch mechanische Verkleinerung und die Herstellung feiner Gesteinsmehle die Oberfläche des Materials erhöht und damit für Säuren angreifbarer gemacht werden; durch die Zugabe von Phosphatmehlen in Komposte werden sie den dort gebildeten Huminsäuren ausgesetzt, und der Gehalt löslichen Phosphats im Kompost kann so erheblich gesteigert werden.[116],[117] Und durch Förderung spezifischer Mikroorganismen (Mykorrhiza[118], Aspergillus niger[119]) kann dieser Prozess eines biologischen Phosphat-Aufschlusses weiter optimiert werden. Teilaufgeschlossene Rohphosphate haben zwar eine geringere Phosphorlöslichkeit, können aber in ihrer Düngerwirkung gleiche oder sogar bessere Ergebnisse bringen als Superphosphate. Außerdem ist die Düngerwirkung länger anhaltend und das Risiko der Festlegung von Phosphat im Boden geringer.

Wirtschaftlich und volkswirtschaftlich betrachtet, ergeben sich ebenfalls eindeutige Vorteile. Indem kostengünstigere Herstellungsverfahren gewählt und weite Transportwege vermieden werden, kann Phosphatdünger zu wesentlich geringeren Kosten herstellt und die Abhängigkeit vom Weltmarkt (Preisfluktuation) verringert werden.

8.2.2 Vom synthetischen zum biologischen Stickstoff

Anders ist die Stickstoffversorgung zu beurteilen. Stickstoff kann biologisch über luftstickstoffbindende Mikroorganismen oder als Mineraldünger zugeführt werden. Unstrittig ist, dass verstärkte Nahrungsproduktion höhere Stickstoffdüngung erfordert. Strittig ist dagegen, ob dies nur über synthetische Mineraldünger möglich ist. Dem halten Badgley et al. (2006) entgegen, dass mit den Methoden biologischer Stickstoffbindung über Leguminosen (Futterpflanzen, Gründüngung, Agroforstwirtschaft) sowie über andere Techniken (Azolla im Nassreisanbau etc.) mehr als genug organischer Stick-

stoff erzeugt werden könne, ausreichend um den Einsatz von mineralischem Stickstoffdünger für gegenwärtige und zukünftige Nahrungsproduktion vollkommen zu ersetzen. Tabelle 8.5 vermittelt einen Eindruck vom Potenzial biologischer Stickstoffbindung am Beispiel einzelner Pflanzen. Dabei handelt es sich zum Teil um Nutzpflanzen, die „nebenbei Stickstoff produzieren“ und andere, die sich für eine Integration in landwirtschaftliche Nutzungssysteme gut eignen, sodass die eigentliche Produktion nicht beeinträchtigt wird.

Tab. 8.5: Jährliche biologische Stickstoffbindung von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen (kg N/ha+Jahr)

Körnerleguminosen:	kg N /ha+Jahr	Referenz
Mungbohne	63–342	Nutman 1976
Cajanus cajan (pigeon pea)	168	Cited in Hamdi 1982
Soja-Bohne	64–206	Ayanaba and Dart 1977
Futter- und Gründüngungspflanzen:		
Centrosema pubescens	126–395	Ayanaba and Dart 1977
Desmodium intortum	406	Whitney 1982
Leucaena leucocephala	74–548	Nutman 1976
Azolla pinnata (Wasserfarn im Reisanbau)	600–1.000	Hamdi 1982

Der vollständige Umstieg von synthetischer Produktion auf biologische Stickstoffgewinnung wird sich nicht von heute auf morgen umsetzen lassen, aber der Wechsel sollte möglichst bald beginnen. Intensive Forschung und Entwicklung in diesem Bereich können helfen, Anbausysteme zu entwickeln, in denen die biologische Stickstoffproduktion keine Konkurrenz zum Anbau der Nutzpflanzen darstellt.

8.2.3 Maßnahmen gegen Bodenversauerung ergreifen

Als erster Schritt gegen die zunehmende Bodenversauerung sollte auf physiologisch sauer wirkende Mineraldünger vollkommen verzichtet werden. Dies betrifft die meisten verbreiteten Stickstoffdünger, vor allem Ammoniumnitrat, Ammoniumsulfat und Harnstoff. Mit dem Ersatz von synthetischem durch biologischen Stickstoff würde die wichtigste Quelle von Bodenversauerung eliminiert. Für eine Übergangsphase, in der auf synthetischen Stickstoff noch nicht vollständig verzichtet werden kann, sollte mit basisch wirkenden Stickstoffdüngern wie Kalkstickstoff, Kalkammonsalpeter und Kalksalpeter gearbeitet werden.

Gleichzeitig ist nach Wegen zu suchen, wie stark versauerte Böden durch systematische Kalkung regeneriert werden können. Betriebseigene Calcium-Ressourcen wie Holzasche oder die Erde von Termitenhügeln sind wertvolle lokale Ressourcen, können aber meist nur einen sehr bescheidenen Beitrag leisten. Wichtiger ist es, lokale Lagerstätten auf das Vorhandensein von Kalkgestein und dessen Qualität zu prüfen, ebenso die Kosten für Aufbereitung (Herstellung von Kalkmehlen) und für den Transport.[120]

Agroforstsysteme sind in den Tropen weit verbreitet. Sie integrieren Bäume in den Anbau von weiteren Mischkulturen und fördern so die Bodenfruchtbarkeit – wie in diesem Betrieb in Vietnam.

9 Politische Forderungen

Gerade in der Landwirtschaft werden die Grenzen des Wachstums immer deutlicher sichtbar und kaum ein anderes Beispiel demonstriert diese Endlichkeit besser als der Mineraldünger. Hergestellt unter Einsatz großer Mengen fossiler Energie (Erdöl und Erdgas) und angesichts der Endlichkeit von Gesteinslagerstätten sind die Preise für Mineraldünger überproportional angestiegen, denn diese Ressourcen werden knapp.

Die Stickstoffdüngung von heute gefährdet die Ernährungssicherung von morgen.

Und noch andere begrenzt verfügbare Ressourcen werden durch Mineraldünger zerstört. Synthetischer Stickstoff mindert die Bodenfruchtbarkeit und die Ertragswirksamkeit weiterer Düngergaben. Die Stickstoffdüngung von heute gefährdet die Ernährungssicherung von morgen.

Beide Entwicklungen münden in eine Sackgasse. Unrentable Düngersubventionen aus öffentlichen Mitteln werden daran nichts ändern können.

Erforderlich ist ein Umdenken hin zu nachhaltiger Ressourcennutzung bei gleichzeitiger Intensivierung der Produktion.

Deshalb ist ein Umdenken hin zu nachhaltiger Ressourcennutzung bei gleichzeitiger Intensivierung der Produktion erforderlich. Mit Blick auf die Nutzung von Nährstoffen sind dafür grundlegende Veränderungen notwendig. Dezentrale, kapitalextensive Strategien, die den Bedürfnissen von Kleinbauern Rechnung tragen, spielen dabei eine zentrale Rolle. Die wichtigsten Aufgaben für die Politik lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1 Synthetischer Stickstoff sollte grundsätzlich nicht mehr subventioniert werden. Vielmehr sollten staatliche oder private Subventionsprogramme dem Aufbau von Bodenfruchtbarkeit zugutekommen, sozusagen als Maßnahme zur Infrastruktur-Entwicklung von Regionen mit degradierten Böden. Dazu gehört auch die Integration der biologischen Stickstoff-Fixierung mit dem Anbau von Leguminosen in die Produktionssysteme.

2 Zu den vordringlichsten Maßnahmen einer nationalen Strategie „Infrastrukturentwicklung nachhaltiger Bodenfruchtbarkeit“ gehören:

» Wirtschaftsförderung zur Erschließung nationaler Phosphat- und Kalklagerstätten; Aufbau von Produktionskapazitäten und Vertriebssystemen der im Inland hergestellten Mineraldünger.

» Wirtschaftsförderung zur Einrichtung städtischer Kompostierungsanlagen, die organische Dünger für die Landwirtschaft im Umfeld städtischer Ballungsräume erzeugen und somit einen Nährstoff-Rückfluss von der Stadt aufs Land ermöglichen.

» Unterstützung von landwirtschaftlichen Betrieben, die Saatgut und Pflanzgut für stickstoffbildende Pflanzen herstellen, damit Agrarnutzungssysteme breitenwirksam auf biologische Stickstoffversorgung umstellen können.

» Neuausrichtung landwirtschaftlicher Beratungsdienste, in denen landwirtschaftliche Fachkräfte in Techniken nachhaltiger Anbauverfahren (SLM) zum Aufbau und Erhalt der Bodenfruchtbarkeit geschult werden und auch das Mandat erhalten, diese zu einem Schwerpunkt ihrer Tätigkeit zu machen.

3 Auch für die Agrarforschung eröffnen sich bedeutende, neue Arbeitsfelder. Neben Grundlagenforschung haben angewandte Forschungsfragen einen hohen Stellenwert; vorhandene Technologien müssen weiterentwickelt und optimiert werden und an jeweilige Standortbedingungen angepasst werden. Wichtige Themenfelder für den Einstieg in die nachhaltige Intensivierung des Pflanzenbaus sind zum Beispiel:

» Qualitative Verbesserung von Bodenhumusgehalten und ihrer Huminsäure-Zusammensetzung durch Steuerung von Kompostierungsverfahren,

» Entwicklung von mechanischen, chemischen, mikrobiologischen und biologischen Verfahren zum Aufschluss von Rohphosphaten für kleinindustrielle Düngerproduktions-Anlagen als Alternative zum großtechnologischen Schwefelsäure-Aufschlussverfahren zur Herstellung von Superphosphat,

» Entwicklung von Anbausystemen, die neben einem hohen Ertrag auch ausreichend biologischen Stickstoff fixieren, sodass auf die synthetische Variante verzichtet werden kann (Leguminosen-Untersaaten, Mischkulturen, Agroforstsysteme),

» Optimierung von Verfahren zur Kompostierung städtischen Hausmülls und Analyse der Düngerwirksamkeit dieses Materials,

» Entwicklung von Verfahren zur Rückführung menschlicher Fäkalien in den Kreislauf von Agrarnutzungssystemen.

4 Insgesamt ist ein derartiger Strategiewechsel hin zu nachhaltiger Intensivierung Ergebnis eines längerfristigen Prozesses, denn Technologien müssen erprobt, weiterentwickelt und den Bedingungen angepasst werden. Nur so kann ein Einbruch der Nahrungsproduktion vermieden werden. Für diesen Übergang müssen Szenarien und Konzepte entwickelt werden. Mit großen Widerständen ist zu rechnen. Schließlich steht der skizzierte Systemwechsel im Widerspruch zu zahlreichen wirtschaftlichen Interessen, die am jetzigen System der Finanzierung von Mineraldünger aus öffentlichen Mitteln prächtig verdienen, allen voran die Mineraldüngerwirtschaft, die als Oligopol große Macht ausübt.

Damit Mineraldünger einen sinnvollen Beitrag zur Ernährungssicherung leisten kann, ist eine vollkommene Neuorientierung bei Produktion, Handel und Düngung notwendig, die speziell die Bedürfnisse kleinbäuerlicher Betriebe in den Fokus nimmt. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass der Einsatz von Mineraldünger in den Tropen und Subtropen nur gerechtfertigt ist, wenn er in ein Konzept zum Aufbau langfristiger Bodenfruchtbarkeit eingebettet wird.

Die zwei Bäuerinnen in Tansania wissen Pigeon Pea auf ihren Feldern zu schätzen. Leguminosen spielen für den Aufbau von Bodenfruchtbarkeit eine zentrale Rolle. Am besten geeignet sind schnellwachsende Pflanzen, die in kurzer Zeit große Mengen an Biomasse erzeugen und beträchtliche Mengen an Luft-Stickstoff fixieren.

Anhang: Literaturnachweis

Adesina AA. 1996. “Factors affecting the adoption of fertilizers by rice farmers in Cote d’Ivoire”, Nutrient Cycling in Agroecosystems, 46: 29–39.

Agboola AA, GO Obigbesan and AAA Fayemi. 1975. Interrelations between organic and mineral fertilizer in the tropical rainforest of Western Nigeria. FAO Soils Bulletin 27: 337–351. Rome.

Arcand M und KD Schneider. 2006. Plant and microbial based mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock. A review. An. Acad. Bras. Cienc. 78: 791–807.

Ariga J, TS Jayne, B Kibara und JK Nyoro. 2008. Trends and Patterns in Fertilizer Use by Small Farmers in Kenya 1997–2007. Paper presented at Egerton Tegemoe Institute Agricultural Policy Conference. September 2008. Nairobi, Kenya.

Ayanaba A und W Dart (eds.). 1977. Biological nitrogen fixation in farming systems of the tropics. Symposium held at the IITA, Ibadan, Nigeria in Oct. 1975. Chichester. 377 p.

Badgley CJ, E Quintero, E Zakem, MJ Chappell, K Avilés-Vázques, A Samulon and I Perfecto. 2006. Organic agriculture and the global food supply. Renewable Agriculture and Food Systems: 22(2): 86–108.

Bach M und HG Frede. 1998. Agricultural N, P, and K balances in Germany 1970 to 1995. Pflanzenernährung und Bodenkunde 161:385–93.

Bache BW und RG Heathcote. 1969. Long-term effects of fertilizers and manure on soil and leaves of cotton in Nigeria. Expl. Agric. V. 5 241–7. 50

Bachinger J. 1996. Der Einfluß unterschiedlicher Düngungsarten (mineralisch, organisch, biologisch-dynamisch) auf die zeitliche Dynamik und die räumliche Verteilung von bodenchemischen und mikrobiologischen Parametern der C- und N-Dynamik sowie auf das Pflanzen und Wurzelwachstum von Winterroggen. Dissertation, Universität Gießen.

Banful AB. 2009. “Operational Details of the 2008 Fertilizer Subsidy in Ghana–Preliminary Report“. Ghana Strategy Support Program (GSSP) – International Food Policy Research Institute: 11–12.

Barker T, I Bashmakov, L Bernstein, JE Bogner, PR Bosch, R Dave, OR Davidson, BS Fisher, S Gupta, K Halsnæs, GJ Heij, S Kahn Ribeiro, S Kobayashi, MD Levine, DL Martino, O Masera, B Metz, LA Meyer, GJ Nabuurs, A Najam, N Nakicenovic, HH Rogner, J Roy, J Sathaye, R Schock, P Shukla, REH Sims, P Smith, DA Tirpak, D Urge-Vorsatz, D Zhou. 2007. Technical Summary. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B Metz, OR Davidson, PR Bosch, R Dave, LA Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Available at www.mnp.nl/ipcc/pages_media/FAR4docs/final_pdfs_ar4/TS.pdf

Bellarby J, B Foereid, A Hastings, P Smith. 2007. Cool farming: climate impacts of agriculture and mitigation potential. Greenpeace International, Netherlands.

Bigsten A und S Tengstam. 2008a. “Food Security Research Project”. http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/54490/2/wp_31.pdf

Blum JD, A Klaue, CA Nezat, CT Driscoll, CE Johnson, TRG Siccama, C Eagars, TJ Fahey and GE Likens. 2002. Mycorrhizal weathering of apatite as an important calcium source in base-poor forest ecosystems. Nature 417: 729–731.

Bruinsma J. 2009. The resource outlook to 2050: By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? Paper presented at the FAO Expert Meeting, 24–26 June 20090, Rome on “How to feed the World in 2050”. Economic and Social Development Department. FAO. Rome.

Chemonics und IFDC. 2007. Fertilizer Supply and Costs in Africa. http://www.inter-reseaux.org/IMG/pdf

Chien SH und LL Hammond. 1988. Agronomic evaluation of partially acidulated phosphate rocks in the tropics. IFDC’s experience. IFDC. Muscle Shoals.

CIMMYT. 1988. From Agronomic Data to Farmer Recommendations: An Economics Training Manual. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Mexico City.

Crawford EW, TS Jayne und VA Kelly. 2006. Alternative Approaches to Promoting Fertilizer Use in Africa. Agriculture and Rural Development Discussion Paper 22. The World Bank. Washington DC.

Dalrymple DG. 1975. “Evaluating Fertilizer Subsidies in Developing Countries.” Mimeo. Office of Policy Development and Analysis, Bureau for Program and Policy Coordination, U.S. Agency for International Development, Washington, DC, July.

Denning G, P Kabambe, P Sanchez, A Malik, R Flor, R Harawa, P Nkhoma, C Zamba, C Banda, C Magombo, M Meating, J Wangila, J Sachs. 2009. „Input subsidies to improve smallholder maize productivity in Malawi: Toward an African Green Revolution“. *PLoS biology* 7(1): e1000023.

Deutsche Bank Research. 2009. The Global Food Equation. Food Security in an environment of increasing scarcity. Trend Research. Current Issues. Frankfurt.

Donovan G. 2004. “Fertilizer Subsidies in Sub-Saharan Africa: A Policy Note.” Draft. World Bank, Washington, DC.

Dorward A, E Chirwa, D Boughton, E Crawford, T Jayne, R Slater, V Kelly und M Tsoka. 2008. Towards “smart” subsidies in agriculture? Lessons from a recent experience in Malawi. Natural Resource Perspectives 116:1–6.

Dorward A und C Poulton. 2008. The global fertiliser crisis and Africa. Future Agricultures Briefing, June. www.futureagricultures.org

Dorward A. 2009. “Rethinking Agricultural Input Subsidy Programmes in a Changing World”. http://eprints.soas.ac.uk/8853/1/Dorward_FAO_Subsidy_Paper_FINAL.pdf

Dorward A und E Chirwa. 2011. “The Malawi agricultural input subsidy programme: 2005/06 to 2008/09”. *International Journal of Agricultural Sustainability* 9(1): 232–247. Dyson T. 1999a. World food trends and prospects to 2025. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Vol. 96. 5929–2936.

Dyson T. 1999. Prospects for feeding the world. British Medical Journal. 319(7215): 988–991.

Easterling WE, PK Aggarwal, P Batima, KM Brander, L Erda, SM Howden, A Kirilenko, J Morton, JF Soussana, J Schmidhuber und FN Tubiello. 2007. Food, fibre and forest products. In: Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the IPCC. ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der Linden und CE Hanson (eds.). Cambridge: Cambridge University Press.

Eisenhauer N et al. 2013. Plant diversity effects on soil food webs are stronger than those of elevated CO_2 and N deposition in a long-term grassland experiment. PNAS. DOI: 10.1073/pnas.1217382110

Ellis F. 1992. Agricultural Policies in Developing Countries. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

Erklärung von Bern. 2011. AGROPOLY. Wenige Konzerne beherrschen die weltweite Lebensmittelproduktion. EvB-Dokumentation #01/April 2011. Bern.

Fan S, A Gulati und S Thorat. 2007. Investment, Subsidies and Pro-Poor Growth in Rural India. IFPRI Discussion Paper No. 716. International Food Policy Research Institute. Washington, DC.

FAO. 2012. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://faostat.fao.org/

Francis CA. 1986. Multiple Cropping Systems. 383 pp. Macmillan. New York.

Gatsi W, W Muzari. 2010. The impact of human activities on agricultural ecosystems in the tropics: implications for global warming. International Journal of Climate Change: Impacts and Responses 2 (1): 161–72. Victoria: Common Ground Publishing.

Gregory DI und BL Bump. 2005. Factors Affecting Supply of Fertilizer in Sub-Saharan Africa. Agriculture and Rural Development. Discussion Paper 24. World Bank. Washington D.C.

Gregory I. 2006. “The role of input vouchers in pro-poor growth”. *Background Paper for the African Fertilizer Summit. Abuja, Nigeria* 9. http://www.worldbank.org/html/extdr/fertilizeruse/documentspdf/GregoryOnVouchers.pdf

Gladwin C. 1992. “Gendered Impacts of Fertilizer Subsidy Removal Programs in Malawi and Cameroon”. Agricultural Economics 7: 141–153.

Godefroy J. 1979: Composition de divers résidues organiques utilisés comme amendement organo-minéral. Fruits 34 (10): 579–584.

Govereh J, TS Jayne, M Isiimwa und D Daka. 2006. Agricultural Trends in Zambia’s Smallholder Sector: 1990–2005. Working Paper 19. Lusaka: Food Security Research Project.

Guo JH, J Liu, Y Zhang, JL Shen, WX Han, WF Zhang, P Christie, KWT Goulding, PM Vitousek und FS Zhang. 2010. Significant Acidification in Major Chinese Croplands. Science 327, 1008.

Hagerberg D, G Thielin und H Wallander. 2003. The production of ectomycorrhizal mycelium in forests. Relation of nutrient status and local mineral sources. Plant Soil 252: 279–90.

Hamdi YA. 1982. Application of nitrogen fixing systems in soil management. FAO Soils Bulletin 49. 188 pp. FAO. Rome.

Harris JM. 2001. “Agriculture in a Global Perspective”, Global Development and Environment Institute Working Paper No. 01–04, February 2001.
Available from http://ase.tufts.edu/gdae/publications/working_papers/agric4.workingpaper.pdf

Hart J. 1998. Fertilizer and Lime Materials. Oregon State University Extension Service. http://extension.oregonstate.edu/catalog/pdf/fg/fg52-e.pdf

Hati KM, A Swarup, AK Dwivedi, AK Misra, KK Bandyopadhyay. 2007. Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. Agriculture, Ecosystems & Environment 119 (1/2), 2007, 127–34.

Henao J und C Banaante. 2006. Agricultural Production and Soil Nutrient Mining. Implications for Resource Conservation and Policy Development. IFDC. Muscle Shoals.

Huerta E, O Vidal, A Jarquin, V Geissen, R Gomez. 2010. Effect of vermicompost on the growth and production of amashito pepper, interactions with earthworms and rhizobacteria. Compost Science & Utilization 18 (4) Emmaus: J G Press Inc., 2010, 282–88.

IAASTD. 2008. International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development. www.agassessment.org

IFADATA. 2012. Fertilizer Consumption Statistics. International Fertilizer Industry Association. www.fertilizer.org/ifa/ifadata/search

IFDC. 2003. Input Subsidies and Agricultural Development: Issues and Options for Developing and Transitional Economies. Paper Series P-29. International Fertilizer Development Center (IFDC). Muscle Shoals.

International Center for Soil Fertility and Agricultural Development, IFDC. 2005. “Developing Agricultural Input Markets in Nigeria (DAIMINA) Grant No. 620-G-00-01-00270 End of Project Report”.

Jayne T. 2008. Food Policy Challenges in Eastern and Southern Africa in Light of the Current World Food Price Situation. Agricultural Policy Conference. September 18, 2008. Egerton University-Tegemeo Institute. Nairobi.

Jayne TS, N Mason, R Myers, J Ferris, D Mather, M Beaver, N Lenski, A Chapoto und D Boughton. 2010. Patterns and trends in food staples markets in Eastern and Southern Africa: toward the identification of priority investments and strategies for developing markets and promoting smallholder productivity growth. MSU International Development Working Paper 104. Michigan State University.

Jouquet P, T Plumere, Thuy Doan Thu, C Rumpel, Toan Tran Duc, D Orange. 2010. The rehabilitation of tropical soils using compost and vermicompost is affected by the presence of endogeic earthworms. Applied Soil Ecology 46 (1) Oxford: Elsevier Ltd, 2010, 125–33.

Kaboré D und C Reij. 2004. The Emergence and Spreading of Improved Traditional Soil and Water Conservation Practices in Burkina Faso. EPTD Discussion Paper 14. International Food Policy Research Institute. Washington DC.

Kelly VA. 2007. Factors Affecting Demand for Fertilizer in Sub-Saharan Africa. Agriculture and Rural Development Discussion Paper 23. The World Bank. Washington DC.

Kemp-Benedict E. 2003. The Future of Crop Yields and Cropped Area. Case Study No 1. IPAT a scripting language for sustainability scenarios. www.altavista.com/web/results?itag=ody&q=kemp-benedict+yield&kgs=0&kls=0

Khan SA, RL Mulvaney und TR Ellsworth. 2007. The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration. J. Environ. Qual. Oct. 24:36(6): 1821–32.

Kherallah M, C Delgado, E Gabre-Madhin, N Minot und M Johnson. 2002. Reforming Agricultural Markets in Africa. Baltimore, MD: IFPRI/Johns Hopkins University Press.

Kongshaug G. 1998. Energy Consumption und Greenhouse Gas Emissions in Fertilizer Production. IFA Technical Conference, Marrakesch, Marokko, 28. September bis 1. Oktober 1998.

Kotschi J, G Weinschenck, R Werner. 1991. Ökonomische Bewertungskriterien für die Beurteilung von Beratungsvorhaben zur standortgerechten Landnutzung in bäuerlichen Familienbetrieben. Forschungsberichte des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit, Band 99. 353 S. Köln.

Kotschi J. 2010. Beitrag der ökologischen Landwirtschaft zur Welternährung. Gutachten im Auftrag des Büros für Technikfolgeabschätzung beim Deutschen Bundestag. AGRECOL Januar 2010.

Kotschi J. 2011. Less hunger through more ecology. What can organic farming research contribute? Heinrich Böll Stiftung. Berlin.

Ladha JK, H Pathak, TJ Krupnik, J Six, und C van Kessel. 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: Retrospects and prospects. Adv. Agron. 87: 85–156.

LFL. 2006. Basisdaten zur Berechnung des KULAP-Nährstoff-Saldos 2006. Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft. München.

Liebig J v. 1862. Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. Viehweg.

Liebscher G. 1895. Untersuchungen über die Bestimmung des Düngebedürfnisses der Ackerböden und Kulturpflanzen, in: Journal für Landwirtschaft 43.

Lin X, C Yin und D Xu. 1996. Input and output of soil nutrients in high-yield paddy fields in South China. Pp. 93–97. In Proceedings of the International Symposium on Maximizing Rice Yields through Improved Soil and Environmental Management. Khon Kaen, Thailand.

Lines T. 2013 forthcoming. Commodity Prices and Global Food Security. Why farmers still struggle when food prices rise.

Lipton M. 2005. The family farm in a globalized world: The role of crop science in alleviating poverty. 2020 Vision for Food, Agriculture and the Environment Initiative Discussion Paper No. 40. International Food Policy Research Institute. Washington DC.

Manna MC, A Swarup, RH Wanjari, HN Ravankar. 2007. Long-term effects of NPK fertiliser and manure on soil fertility and a sorghum-wheat farming system. Australian Journal of Experimental Agriculture 47 (6), 700–11 Collingwood: CSIRO Publishing.

Marenya PP und CB Barrett. 2007. “State-conditional fertilizer yield response on western Kenya farm,” Working Paper, Department of Applied Economics and Management, Cornell University, Ithaca.

Martius C, H Tiessen, PLG Vlek. 2001. Social, economic and policy dimensions of soil organic matter management in sub-Sahara Africa: Challenges and opportunities. Nutrient Cycling in Agroecosystems 61 (1/2) 183–95.

Meertens B. 2005. A realistic view on increasing fertiliser use in sub-Saharan Africa. Paper presented on the Internet, December. www.meertensconsult.nl

Mengel K. 1968. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 436 p. Jena.

Miao Y, BA Steward und F Zhang. 2011. Long-term experiments for sustainable nutrient management in China. A review. Agronomy for Sustainable Development. 31(2). 397–414.

Miller FP und WE Larson. 1990. Lower input effects on soil productivity and nutrient cycling. Pp. 549–568. In CA Edwards, R Lal, P Madden, RH Miller und G House (eds): Sustainable Agricultural Systems. Soil Conservation Soc. Am. Ankeny.

Minde I, TS Jayne, E Crawford, J Ariga und J Govereh. 2008. "Promoting Fertilizer Use in Africa: Current Issues and Empirical Evidence from Malawi, Zambia and Kenya". *Re-SAKSS Working Paper No. 13. ICRISAT, IFPRI and IWMI, Pretoria.*

Minot N und T Benson. 2009. Fertilizer Subsidies in Africa. Are Vouchers the Answer? Issue Brief 60. International Food Policy Research Institute. Washington DC.

Mitscherlich EA. 1919. Das Gesetz des Minimums und das Gesetz des abnehmenden Bodenertrages, in: Landwirtschaftliche Jahrbücher Bd. 38, 1909, S. 537–52.

MoFA. 2012. Planning Documents 2012. Ministry of Food and Agriculture. Government of Ghana. Accra.

Mössinger J und A Feuerbacher. 2012. Subventionsprogramme in Afrika seit 2000 – Eine sozio-ökonomische und ökologische Analyse. Mimeo, unveröffentlicht.

Mogues T, M Morris, L Freinkman, A Adubi, S Ehui. 2008. Agricultural public spending in Nigeria. Discussion Paper 00789. IFPRI. Washington DC.

Morris M, VA Kelly, RJ Kopicki und D Byerlee. 2007. Fertilizer Use in African Agriculture. Lessons Learned and Good Practice Guidelines. World Bank. Washington DC.

Müller-Sämann K und J Kotschi. 1994. Sustaining Growth. Soil fertility management in tropical smallholdings. 486 p. Margraf Verlag. Weikersheim.

Mulvaney RL, SA Khan und TR Ellsworth. 2009. Synthetic Nitrogen Fertilizers Deplete Soil Nitrogen: A Global Dilemma for Sustainable Cereal Production. J. Environ. Qual. Oct. 29. 38(6): 2295–314.

Nagayets O. 2005. Small farms: Current Status and Key Trends. Information Brief. Prepared for the Future of Small Farms Research Workshop. Wye College, June 26–29, 2005.

Narayanan S und A Gulati. 2002. Globalization and the smallholders: A review of issues, approaches and implications. Markets and Structural Studies Division Discussion Paper No. 50. International Food Policy Research Institute. Washington DC.

Neumann I und P Pietrowicz. 1985. Agroforstwirtschaft in Nyabisindu. Untersuchungen zur Integration von Bäumen und Hecken in die Landwirtschaft. PAP. Etudes et Experiences No. 9. Zitiert in: Kotschi et al. (1991), Standortgerechte Landwirtschaft in Ruanda. Zehn Jahre Forschung und Entwicklung in Nyabisindu. GTZ Schriftenreihe 223. Eschborn.

Nutman, SP (ed.) 1976. Nitrogen Fixation in Plants. Cambridge University Press. Cambridge.

Nye PH und DJ Greenland. 1960. The soil under shifting cultivation. Commonwealth Bureau of Soils, Royal, Techn. Communication 51. 156 pp. Farnham.

Odame H und E Muange. 2011. "Can Agro-dealers Deliver the Green Revolution in Kenya?" IDS Bulletin 42(4): 78–89.

Odongo NE, K Hyoung-Ho, HC Choi, Pv Straaten, BW McBride, Romney DL. 2007. Improving rock phosphate availability through feeding, mixing and processing with composting manure. Bioresource Technol. 98 (15): 2911–8.

Pan L und L Christiaensen. 2011. „Who is vouching for the input voucher? Decentralized targeting and elite capture in Tanzania". Available at SSRN 1833175. http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1833175

Parrot N und T Marsden. 2002. The Real Green Revolution, Organic and Agro-ecological Farming in the South. Greenpeace Environmental Trust. London.

Pender J. 2009. Food Crisis and Land. The world food crisis, land degradation and sustainable management: linkages, opportunities and constraints. TERRAFRICA/GTZ.

Pender J, E Nkonya und M Rosegrant. 2004. Soil Fertility and Fertilizer Subsidies in Sub Saharan Africa: Issues and Recommendations. PowerPoint presentation. IFPRI, Washington DC.

Phuong TN, C Rumpel, TT Doan, P Jouquet. 2012. The effect of earthworms on carbon storage and soil organic matter composition in tropical soil amended with compost and vermicompost. Soil Biology & Biochemistry 50 Amsterdam: Elsevier Ltd, 2012, 214–20.

Pimbert M. 2008. Towards Food Sovereignty. IIED. London.

Poulton C, J Kydd, A Dorward. 2006. Increasing Fertilizer Use in Africa: What Have We Learned? Agriculture and Rural Development. Discussion Paper 25. The World Bank. Washington DC.

Prasad B und AP Singh. 1980. Changes in soil properties with long-term use of fertilizer, lime and farmyard manure. J. Indian Soc. Soil Sci. 28 (4): 465–68.

Pretty JN und RE Hine. 2001. Reducing food poverty with sustainable agriculture. A summary of new evidence. Final Report from the “SAFE World” research project. University of Essex. Essex.

Raupp J. 2001. Manure Fertilization for Soil Organic Matter Maintenance and its Effects Upon Crops and the Environment, Evaluated in a Long-term Trial. In: Rees et al. (2001): Sustainable Management of Soil Organic Matter. pp. 301–8. Wallingford.

Pretty JN, AD Noble, D Bossio, J Dixon, RE Hine, FWT Penning de Vries und JIL Morison. 2006. Resource conserving agriculture increases yields in developing countries. Environmental Science and Technology 40(4): 1114–19.

Raun WR und GV Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agron. J. 91: 357–63.

Raun WR und JS Schepers. 2008. Nitrogen management for improved use efficiency. p. 675–693. In JS Schepers und WR Raun (ed.) Nitrogen in agricultural systems. Agron. Monogr. 49. ASA and SSSA, Madison.

Ravishankara, AR, JS Daniel, RW Portmann. 2009. Nitrous Oxide (N_2O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century. Science 2. Vol. 326 (5949): 123–25.

Reinhold J. 2008. Nutzen und Grenzen der Anwendung von organischen Reststoffen (organische Primärsubstanzen) zur Humusanreicherung in landwirtschaftlichen Böden – eine ingenieurtechnische Betrachtung. In: Hüttel et al. (2008): Humusversorgung von Böden in Deutschland. Publikationen des Umweltbundesamtes. Dessau.

Rockström J, W Steffen, K Noone, Å Persson, FS Chapin, E Lambin, TM Lenton, M Scheffer, C Folke, H Schellnhuber, B Nykvist, CA De Wit, T Hughes, S van der Leeuw, H Rodhe, S Sörlin, PK Snyder, R Costanza, U Svedin, M Falkenmark, L Karlberg, RW Corell, VJ Fabry, J Hansen, B Walker, D Liverman, K Richardson, P Crutzen und J Foley. 2009. Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. Ecology and Society 14(2): 32. [online] www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/

Rogner HH, D Zhou, R Bradley, P Crabbé, O Edenhofer, B Hare, L Kuijpers, M Yamaguchi. 2007. Introduction. In: Metz B, OR Davidson, PR Bosch, R Dave, LA. Meyer (eds). Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, New York.

Sanchez PA. 2002. Soil Fertility and Hunger in Africa. Science 295: 2019–20.

Sánchez P, AM Izac, R Buresh, K Shepherd, M Soule, U Mokwunye, C Palm, P Woomer und C Nderitu. 1997. Soil Fertility Replenishment in Africa as an Investment in Natural Resource Capital. In: Buresh RJ, PA Sánchez und F Calhoun (eds). Replenishing Soil Fertility in Africa. Soil Science Society of America. Madison.

Sanchez PA. 1976. Properties and management of soils in the tropics. Wiley. New York.

Sanders JH, BI Shapiro und S Ramaswamy. 1996. The Economics of Agricultural Technology in Semiarid Sub-Saharan Africa. Johns Hopkins University Press. Baltimore.

Scheffer F und P Schachtschabel. 1970. Lehrbuch der Bodenkunde. Enke. Stuttgart.

Schmidtner E und S Dabbert. 2009. Nachhaltige Landwirtschaft und Ökologischer Landbau im Bericht des Weltagrarrates (International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development, IAASTD 2008). Institut für landw. Betriebslehre, Universität Hohenheim. Stuttgart.

Sharma KL, K Neelaveni, JC Katyal, AS Raju, K Srinivas, JK Grace, M Madhavi. 2008. Effect of combined use of organic and inorganic sources of nutrients on sunflower yield, soil fertility and overall soil quality in rainfed alfisol. Communications in Soil Science and Plant Analysis 39 (11/12) Philadelphia: Taylor & Francis, 2008, 1791–31.

Sheldrick WF, JK Syers und J Lingard. 2002. A conceptual model for conducting nutrient audits at national, regional, and global scales. Nutrient Cycling in Agroecosystems 62: 61–72.

Siband P. 1972. Étude de l'évolution des sols sous culture traditionelle en Haute Casamance. Principaux résultats. L'Agron. Trop. 27: 574–91.

Sibbesen E und A Runge-Metzger. 1995. Phosphorus balance in European agriculture–status and policy options. Pp. 43–57. In H. Tiessen (ed.) Phosphorus in the Global Environment: Transfers, Cycles and Management. SCOPE 54. John Wiley & Sons. Chichester.

Simon S, KJ Hülsbergen, D Vogelsang. 2009. Geschlossene Stoffkreisläufe ein Grundprinzip des Biolandbaus. Bioland 11/2009. 8–10.

Singh, CP und A Amberger. 1990. Humic substances in straw compost with rock phosphate. Biol. Waste 31: 165–174.

Singh G, R Kishun, E Chandra. 2005. Feasibility of organic farming in guava (Psidium guajava L.). Acta Horticulturae (735) Leuven: International Society for Horticultural Science (ISHS), 2007, 365–372.

Singh BK, KA Pathak, AK Verma, VK Verma, BC Deka. 2011. Effects of vermicompost, fertilizer and mulch on plant growth, nodulation and pod yield of French bean (Phaseolus vulgaris L.). Vegetable Crops Research Bulletin 74 Warsaw: Versita, 2011, 153–165.

Smith P, D Martino, Z Cai, D Gwary, H Janzen, P Kumar, B McCarl, S Ogle, F O'Mara, Rice, B Scholes, O Sirotenko. 2007. Agriculture. In: Metz B, OR Davidson, PR. Bosch, R Dave, LA. Meyer (eds): Climate Change 2007, Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York.

SOAS, Wadonda, MSU, ODI. 2008. Evaluation of the 2006/7 Agricultural Input Subsidy Programme, Malawi. Final Report. School of Oriental African Studies, Wadonda Consult, Michigan State University and Overseas Development Institute.

Srivastava PK, Manjul Gupta, RK Upadhyay, Suresh Sharma, Shikha, Nandita Singh, SK Tewari, Bajrang Singh. 2012. Effects of combined application of vermicompost and mineral fertilizer on the growth of Allium cepa L. and soil fertility. Special Issue: Focus issue: management-induced changes in soil physical properties. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 175 (1). 101–7. Wiley-Blackwell. Weinheim.

Stoorvogel JJ und EMA Smaling. 1990. Assessment of soil nutrient depletion in sub-Sahara Africa: 1983–2000, 4 Volumes. Report 28. The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research, Wageningen.

Stoorvogel JJ und EMA Smaling. 1998. Research on soil fertility decline in tropical environments: Integration of spatial scales. Nutrient Cycling in Agroecosystems 50: 151–58.

Tharmaraj K, P Ganesh, K Kolanjinathan, KR Suresh, A Anandan. 2011. Influence of vermicompost and vermiwash on physico chemical properties of rice cultivated soil. Current Botany 2 (3) Vidyanagar: Society for Scientific Research, SSR, 2011, 18–21.

Tan ZX, R Lal, KD Wiebe. 2006. Global Soil Nutrient Depletion und Yield Reduction. Journal of Sustainable Agriculture 26(1): 123–46. 2005.

Task Force on Hunger. 2004. Halving hunger by 2015: A framework for action. Interim Report, Millennium Project. United Nations, New York.

Tilman D, KG Cassman, PA Matson, R Naylor und S Polasky. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 418: 671–7.

Townsend RF. 1999. Agricultural Incentives in Sub-Saharan Africa: Policy Challenges. World Bank Technical Paper 444. World Bank. Washington, DC.

van der Pol F. 1992. Soil mining: An unseen contributor to farm income in Southern Mali. Bull. 35. The Royal Tropical Institute, Amsterdam.

van Straaten P. 2002. Rocks for crops: Agrominerals of Sub-Saharan Africa. ICRAF. Nairobi.

van Straaten P. 2007. Agrogeology: The use of rocks for Crops. Enviroquest Limited. 440 pp. Cambridge.

van Straaten P. 2011. Small scale mining and alternative processing of phosphate rocks. Presentation Global TraPs workshop August 29–30, 2011. ETH Zürich.

von Braun J. 2005. Small scale farmers in a liberalized trade environment. In: Huvio T, J Kola und T Lundström (eds): Small-scale farmers in liberalised trade environment. Proceedings of the seminar, October 18–19, 2004, Haikko, Finland. Department of Economics and Management Publications No. 38. Agricultural Policy. Helsinki: University of Helsinki. http://honeybee.helsinki.fi/mmtal/abs/Pub38.pdf Accessed June 2005.

von Witzke H, S Noleppa und I Zhirkova. 2011. Fleisch frisst Land. 73 S. WWF Deutschland, Berlin.

Voortman R, B Sonneveld und M Keyzer. 2000. “African Land Ecology: Opportunities and Constraints for Development.” Center for International Development Working Paper 37. Boston: Harvard University.

Waggoner PE und J Ausubel. 2001. “How Much Will Feeding More and Wealthier People Encroach on Forests?” Pop. Dev. Rev. 27(2): 239–57, June 2001.

Wegner J und L Theuvsen. 2010. Handlungsempfehlungen zur Minderung von stickstoffbedingten Treibhausgasemissionen in der Landwirtschaft. WWF Deutschland. Berlin.

Weight D und V Kelly. 1999. “Fertilizer Impacts on Soils and Crops of Sub-Saharan Africa”. MSU International Development Paper 21. Michigan State University. East Lansing.

Whitney AS. 1982. The role of legumes in mixed pasture. In: Graham und Harris (eds). 1982. Biological nitrogen fixation technology for tropical agriculture. 361–67. CIAT. Cali.

Wiggins S, J Brooks. 2010. “The Use of Input Subsidies in Developing Countries”. Global Forum on Agriculture. OECD. Paris.

Windfuhr M und J Jonsén. 2005. Food sovereignty: towards democracy in localized food system. FIAN. ITDG Publishing – working paper. 64pp.

World Bank. 1975. The assault of world poverty. Problems of rural development, education and health. Johns Hopkins University Press. Baltimore.

World Bank. 2003. Reaching the rural poor: A renewed strategy for rural development. Washington, DC.

World Bank. 2007. Agriculture for Development. World Development Report 2008. World Bank. Washington DC.

Yanggen D, V Kelly, T Reardon und A Naseem. 1998. Incentives for fertilizer use in sub-Saharan Africa: a review of empirical evidence on fertilizer response and profitability. MSU International Development Working Paper No. 70, Department of Agricultural Economics, Michigan State University, East Lansing.

Yawson DO, FA Armah, EKA Afrifa und SKN Dadzie. 2010. “Ghana’s Fertilizer Subsidy Policy: Early field lessons from farmers in the Central Region“. Journal of Sustainable Development in Africa 12(3): 191–203.

Young A. 1976. Tropical Soils and Soil Survey. 468 p. Cambridge University Press. Cambridge.

Fußnoten

1 Dieses Kapitel bezieht sich auf Kotschi 2010
2 Dyson 1999a
3 Bellarby et al. 2008
4 Task Force on Hunger 2004
5 Nagayets 2005
6 ibid.
7 von Braun 2005
8 Nagayets 2005
9 Francis 1986
10 IAASTD 2008
11 Schmidtner und Dabbert 2009
12 Harris 2001
13 Worldbank 1975, IAASTD 2008
14 Kotschi 2011
15 Scheffer-Schachtschabel 1970
16 LFL 2006
17 z.B. Van der Pol 1992, Stoorvogel & Smaling 1990 und 1998, Henao & Baanante 2006
18 Miller & Larson 1992
19 Bach & Frede 1998
20 von Witzke et al. 2011
21 Lin et al. 1996
22 Tan et al. 2005
23 Scheldick et al. 2002
24 Tan et al 2005
25 Sanchez 1976
26 Nye & Greenland 1960, Sanchez 1976, Siband 1972
27 Erklärung von Bern 2011
28 Ariga et al. 2009
29 Liebig 1862, Liebscher 1895, Mitscherlich 1909
30 Mengel 1968
31 Dorward & Chirwa 2011; Gregory 2006; Minde et al. 2008; Odame & Muange 2011; Pan & Christiaensen 2011; Yawson et al. 2010
32 Dorward 2009; Wiggins 2010
33 Dalrymple 1975
34 Ellis 1992
35 IFDC 2003, Kherallah et al. 2002
36 Ellis 1992
37 Crawford et al. 2006
38 Donovan 2004, Gladwin et al. 2002
39 Morris et al. 2007
40 Fan et al. 2007
41 Maßgeblich finanziert von der Bill & Melinda Gates Foundation, der Rockefeller Foundation und dem britischen Entwicklungsministerium
42 Mössinger 2012
43 Denning et al. 2009; Minde et al. 2008; Odame & Muange 2011
44 Poulton et al. 2006
45 Dorward & Chirwa 2011
46 Banful 2009; Minde et al. 2008; Odame & Muange 2011
47 Dorward & Chirwa 2011

48 Banful 2009

49 Morris et al. 2007

50 Pan & Christiaensen 2011

51 Banful 2009; International Center for Soil Fertility and Agricultural Development 2005; Minde u. a. 2008; Odame & Muange 2011

52 Donovan 2004, Kherallah 2002

53 SOAS et al. 2008

54 Fan et al. 2007

55 Odame & M

56 Odame & Muange 2011

57 Dorward & Chirwa 2011

58 Mogues u. a. 2008

59 Bigsten & Tengstam 2008

60 Minot et al. 2009; Pan & Christiaensen 2011

61 Morris et al. 2007

62 z. B. Adesina 1996, Marenya & Barret 2007, Townsend 1999, Voortmann et al. 2000, Weight & Kelly 1999

63 Der Dünger-Index ist ein gewichteter Mittelwert der jährlichen Preise von Harnstoff (Gewichtung: 63,9 %), Triple-Super-Phosphat (20 %) und Kalium (16,1 %). Die Gewichtung wurde anhand des jeweiligen durchschnittlichen Anteils der weltweiten Produktion aller drei Komponenten berechnet. Die weltweiten Produktionsdaten stammen von IFA.

64 Der Weltbank Food Price Index berechnet einen Güterpreisindex für Länder mit niedrigem und mittlerem Einkommen. Er beinhaltet drei Komponenten: Fette und Öle, Getreide und andere Nahrungsmittel (Fleisch, Zucker etc.). Er ist auf das Jahr 2005 indexiert, und die Gewichtung der Komponenten wurde auf Basis des Exportwerts zwischen 2002 und 2004 ermittelt.

65 Dorward & Polton 2008, Pender 2009 und Lines 2013

66 Yanggen et al. 1998, Guo et al. 2008

67 Ariga et al. 2009

68 Chemonics & IFDC 2007

69 Sanchez 2002

70 Gregory und Bump 2005, Kelly 2007

71 Crawford et al. 2005

72 Meertens 2005

73 CIMMYT 1988, Guo et al. 2008

74 Morris et al. 2007

75 Ariga et al. 2008

76 ibid.

77 Adesina 1996

78 Peak Phosphor beschreibt den Zeitpunkt des mengenmäßig größten Abbaus. Danach geht er infolge abnehmender Vorräte wieder zurück.

79 IFADATA 2010

80 Der Säureindex gibt die Kalkmenge (kg $CaCO_3$) an, die notwendig ist, um 1 kg physiologisch sauren Mineraldünger zu neutralisieren.

81 Guo et al. 2010

82 Miao et al. 2010

83 Guo et al. 2010

84 Khan et al. 2007, Mulvaney 2010

85 Khan et al. 2007

86 Mulvaney 2010

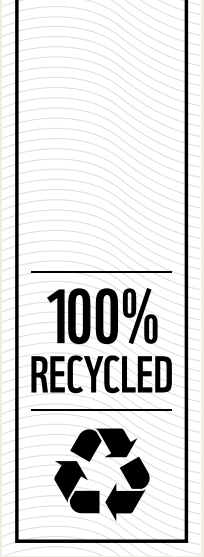
87 zitiert in Khan 2007

88 Tilman et al. 2002, Raun & Schepers 2008

89 Raun & Johnson 1999 und Ladha et al. 2005

90 Smith et al. 2007, Rogner et al. 2007

91 Bellarby et al. 2007
92 Wegner & Theuvsen 2010
93 Kongshaug 1998
94 Rockström et al. 2009
95 Sanchez 1997
96 Steiner 1924
97 dargestellt z.B. in Müller-Sämann & Kotschi 1994.
98 Pretty und Hine 2001, Parrot und Marsden 2002
99 Kotschi 2011
100 Abdullahi 1971, Rodel et al. 1980
101 Martius et al. 2001, Manna et al. 2007, Gatsi und Muzari 2010
102 Agboola et al. 1975, Godefroy 1979, Prasad und Singh 1980
103 Bache & Heathcote 1969
104 Huerta et al. 2010
105 Sharma et al. 2008, Singh 2011
106 Jouquet 2010
107 Srivastava et al. 2012
108 Singh 2005, Tharmaraj et al. 2011
109 Reinhold 2008
110 Bachinger 1996, Raupp 2001
111 zitiert in Webster & Wilson 1980
112 Rodriguez 1972
113 Kotschi et al. 1991
114 Simon et al. 2009
115 van Straaten 2006
116 Singh & Amberger 1998
117 Odongo et al. 2007
118 Blum et. al. 2002, Hagerberg et al. 2003
119 Arcand & Schneider 2006, van Straaten 2011
120 van Straaten 2002



Heinrich-Böll-Stiftung e.V.
Schumannstr. 8
10117 Berlin | Germany

Tel.: +49 (0)30 285 34-0
Fax: +49 (0)30 285 34-109
E-Mail: info@boell.de
www.boell.de

WWF Deutschland
Reinhardtstr. 14
10117 Berlin | Germany

Tel.: +49 (0)30 311 777-0
Fax: +49 (0)30 311 777-199
E-Mail: info@wwf.de
www.wwf.de

© 1986 Panda symbol WWF – World Wide Fund For Nature (Formerly World Wildlife Fund) • ® "WWF" is a WWF Registered Trademark. • Gedruckt auf 100% Recyclingpapier • Stand: 05/13