

Erhard Albert (†31.08.2014), Hans Eckert, Manfred Roschke, Manfred Kerschberger und Gerhard Breitschuh

1 Welche Nährstoffe benötigt die Pflanze und wie wird der Bedarf abgesichert?

Pflanzennährstoffe sind chemische Elemente, die für eine normale Entwicklung von Pflanzen notwendig sind und nicht ersetzt werden können. Dazu gehören neben den Grundelementen der organischen Substanz (Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff) die Makronährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium, Schwefel, Calcium und Magnesium sowie die Mikronährstoffe Bor, Kupfer, Mangan, Molybdän, Zink und Eisen. Neben diesen essentiellen Elementen können auch Natrium, Silizium, Kobalt, Nickel¹⁴⁾ und Chlor^{13) 14)} das Wachstum der Pflanzen fördern. Der Bedarf an den genannten Nährstoffen wird aus dem Bodenvorrat sowie durch gezielte Düngungsmaßnahmen gedeckt. Ausreichend und ausgewogen mit Nährstoffen versorgte Böden sichern nicht nur ein optimales Pflanzenwachstum, sondern bilden gleichzeitig die Voraussetzung für eine gesunde Ernährung von Mensch und Tier.

2 Wodurch unterscheiden sich Mineraldünger und organische Dünger?

Mineraldünger enthalten einen oder mehrere Pflanzennährstoffe in definierter Zusammensetzung. Sie können daher gezielt und exakt entsprechend dem Pflanzenbedarf und Nährstoffgehalt des Bodens dosiert werden. Da die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe in Mineraldüngern bekannt ist, werden eine effiziente, zeitlich differenzierte Düngung und eine gezielte Beeinflussung des Pflanzenwachstums möglich.

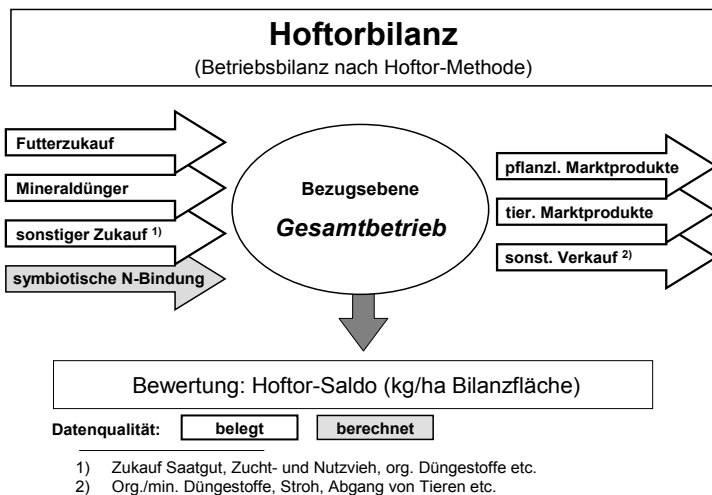
Organische Dünger (Stalldung, Gülle, Gärreste, Komposte, Gründüngung) hingegen sind Mehrnährstoffdünger, deren Nährstoffgehalte und -verfügbarkeit in weiten Grenzen schwanken können. Eine bedarfsorientiert hohe Nährstoffzufuhr verbunden mit optimaler Nährstoffeffizienz ist damit nicht zu realisieren. Das betrifft insbesondere den organisch gebundenen Stickstoff (N), dessen Mineralisierung (mikrobieller Abbau zu anorganischen und damit pflanzenaufnehmbaren N) von den Boden- und Witterungsbedingungen abhängt und auch in vegetationslosen Zeiten erfolgt. Insbesondere Letzteres kann zu erheblichen Nitratkonzentrationen und zu Umweltbelastungen durch Nitratauswaschung führen. Im Vergleich zur Mineraldüngung ist daher die N-Verwertung der organischen Dünger deutlich geringer.

Wesentliche Aufgabe der organischen Dünger ist neben der Humusreproduktion und der Nährstoffzufuhr die positive Beeinflussung biologischer, chemischer und physikalischer Bodeneigenschaften. Viele Dauerversuche zeigen daher die ertragsmäßige Überlegenheit einer kombinierten mineralisch-organischen Düngung gegenüber einer reinen Mineraldüngung oder ausschließlichen organischen Düngung.

3 Welche Risiken birgt die Anwendung von organischen und mineralischen Düngern?

Unsachgemäße Düngung kann zu negativen Umweltwirkungen führen, von denen die Eutrophierung von Böden und Gewässern durch Düngennährstoffe besonders ins Gewicht fällt. Relevant sind dabei vor allem die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor. Ursachen für Eutrophierungen können u.a. sein:

- a) eine unangepasste Düngung, die zu viele Nährstoffe im Boden hinterlässt,
- b) eine zu hohe Bodenerosion, durch die N, P u.a. Nährstoffe direkt mit dem Boden ausgetragen werden,
- c) hohe NH₃-Emissionen, die Stickstoff in empfindliche Ökosysteme verfrachten,
- d) nicht optimale Boden-pH-Werte, die den Nährstoffaustrag begünstigen oder
- e) ein übersteigertes Mineralisierungspotential infolge zu hoher Zuführung von organischem N, das zu erhöhten Nitratausträgen führen kann.



Diese Risiken lassen sich im Betrieb objektiv erfassen, quantifizieren und abstellen. Nährstoffbilanzierungen⁽¹⁾ z.B. versetzen den Landwirt in die Lage, die Umweltverträglichkeit seiner betrieblichen Düngung mit Maß und Zahl zu bewerten und unerwünschte Umweltwirkungen zu vermeiden.

Abb. 1: Nährstoffbilanzierung im Landwirtschaftsbetrieb

4 Wie hat sich die Mineraldüngung in den letzten hundert Jahren entwickelt?

Die industrielle Revolution führte in Deutschland zu einem enormen Bevölkerungswachstum. Zwischen 1800 und 1900 stieg die Bevölkerung von 22 Millionen auf 56 Millionen⁽²⁾, deren Ernährung eine massive Steigerung der Erträge erforderte. Dass diese Herausforderung angenommen und zugleich die periodischen Hungerkrisen beendet wurden, zählt zu den großen Leistungen des 19. Jahrhunderts. Grundlage dieses Erfolgs war die Mineraldüngung, die sich in den 1880er Jahren, basierend auf den Erkenntnissen vor allem von Sprengel und Liebig, durchsetzte und die industrielle Herstellung von Mineraldüngern auslöste. Es ist eingetreten, was Liebig⁽³⁾ 1840 formulierte: „Es wird eine Zeit kommen, wo man den Acker, wo man jede Pflanze, die man darauf erzielen will, mit dem ihr zukommenden Dünger versieht, den man in chemischen Fabriken bereitet“.

Meilensteine dieser Entwicklung waren

- 1810: Haenkes führte den ersten Chilesalpeter ein
- 1843: Erste Fabrik zur Produktion von Superphosphat in England
- 1856: Entdeckung und Abbau kalihaltiger Salze in Staßfurt
- 1898: Frank und Caro gelingt die Azotierung von Calciumcarbid unter Bildung von Kalkstickstoff
- 1909-1913: Entwicklung des Haber-Bosch-Verfahrens zur Ammoniaksynthese
- 1914: Erste Ammoniakfabrik der Welt in Oppau/Pfalz
- 1914: Carl Bosch gründet die Versuchsstation Limburgerhof
- 1922: Erste industrielle Produktion von Harnstoff auf der Basis von Ammoniak.

Im Hinblick auf den Mineraldüngereinsatz kommt den in dieser Zeit gegründeten landwirtschaftlichen Versuchsstationen und –anstalten, auch denen der Düngemittelindustrie, besondere Bedeutung zu. In Feldversuchen wurde die Wirkung der Nährstoffe auf das pflanzliche Wachstum und die Ertragsbildung erforscht und demonstriert. Dennoch wurde dem „Kunstdünger“ als einem Ersatzprodukt zunächst misstraut. Der Inlandsabsatz an Nährstoffen entwickelte sich daher nur zögerlich (Tab. 1).

Tabelle 1: Kennzahlen der Agrarentwicklung^{(4), (5)}

Jahr	N ⁽⁴⁾ kg/ha LF	P ₂ O ₅ ⁽⁴⁾ kg/ha LF	K ₂ O ⁽⁴⁾ kg/ha LF	Getr.ertrag ⁽⁵⁾ dt/ha LF	AK-Besatz ⁽⁵⁾ AK/100 ha LF	LM-Kosten ⁽⁵⁾ % ¹
1900	-	-	-	16	31	47
1950	25	21	45	23	29	44
2012	98	15	23	69	4	16

¹Lebensmittel-Kosten % vom privaten Verbrauch

Entsprechend gering waren die Erträge, die um 1900 bei Getreide bei etwa 16 dt/ha und auch 1950 nur bei 23 dt/ha lagen⁽⁵⁾. Die Hungererfahrungen des Krieges und der Nachkriegszeit änderten allerdings die abwartende Einstellung der Landwirte zum wissenschaftlich-technischen Fortschritt und lösten einen Strukturwandel aus, der Mitte der 1960er Jahre begann und in seiner Dynamik beispiellos war. Kennzeichen dieser Entwicklung war der verstärkte Einsatz von Mineraldünger, vor allem Stickstoff, von Pflanzenschutzmitteln sowie die Mechanisierung und Pflanzenzüchtung. Profil und Erscheinungsbild der Landwirtschaft änderten sich grundlegend. Die Erträge stiegen sprunghaft an und verdreifachten sich von 1950 bis 2012. Zugleich verringerte sich der Arbeitskräftebesatz drastisch von 31 AK/100 ha auf rund 4 AK/100 ha. Ein Landwirt ernährt heute 133 Personen, 1900 waren es vier⁽⁶⁾. Die Agrarpreise blieben weitgehend konstant und Nahrungsmittel wurden allgemein erschwinglich. Die Ausgaben für Nahrungsmittel (% vom privaten Verbrauch) lagen um 1900 noch bei knapp 47 % und sanken bis zum Jahr 2000 auf 16 %⁽⁵⁾.

Unerwünschte Begleiterscheinung dieses Erfolgsszenarios war das zunehmende Belastungspotential für die Umwelt, ausgelöst vor allem durch einen hohen N-Einsatz, der weder standort- noch bedarfsgerecht war und Mitte der 1980er Jahre einen Höhepunkt erreichte⁽⁴⁾. Auch wenn der N-Aufwand seitdem rückläufig ist, müssen die N- Bilanzüberschüsse immer noch als zu hoch eingeschätzt werden.

Bedenklich ist aber auch das Gegenteil, nämlich die aus Kostengründen praktizierte drastische Reduzierung der P- und K-Düngung. Beginnend nach der politischen Wende in den ostdeutschen Bundesländern wird zunehmend auf die P- und K-Düngung verzichtet. Aufgrund vielerorts ausreichend hoher Gehalte im Boden blieb das lange Zeit ohne Folgen für Ertrag und Qualität. Inzwischen sind aber durch permanent negative Nährstoffsalden die verfügbaren K- bzw. P-Gehalte im Boden bedenklich abgesunken und verbieten dessen weitere Aushagerung. Das Ausmaß der Düngungszurückhaltung und des eingetretenen Ungleichgewichtes zu N wird am Nährstoffaufwand deutlich (Tab.1).

In Regionen mit zu hohen Tierbesatzdichten besteht hingegen das Problem einer zunehmenden, über das pflanzenbauliche Optimum hinausgehenden Nährstoffanreicherung der Böden mit allen damit verbundenen Folgen für Umwelt und Biodiversität⁽⁷⁾.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Mineraldüngung in den vergangenen 150 Jahren einen entscheidenden Beitrag zur Ertragssteigerung und damit zur Ernährungssicherung der stark angestiegenen Weltbevölkerung geleistet hat.

5 Welche wissenschaftlichen Ergebnisse wurden auf dem Gebiet der Mineraldüngung in den letzten Jahrzehnten erzielt? Sind die Erkenntnisse von Sprengel und Liebig heute noch von Bedeutung?

Als sich die Mineralstofftheorie Mitte des 19. Jahrhunderts gegen die Humustheorie durchsetzte, war das vor allem ein Erfolg von Liebig, wenn auch, wie wir heute wissen, wichtige wissenschaftliche Voraussetzungen von Sprengel stammten. Beide erkannten, dass die Pflanzen dem Boden Nährstoffe entziehen, die diesem wieder zugeführt werden müssen, um die Ertragsfähigkeit - möglichst erweitert - zu reproduzieren.

Seitdem ist die Mineraldüngung Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Einige bei weitem nicht vollständige Beispiele der Untersuchungen betreffen:

- a) Funktionen und Gehalte der Nährstoffe für die Ertragsbildung,
- b) Mechanismen der Nährstoffaufnahme und des Nährstofftransports in der Pflanze,
- c) Funktion des Bodens als Nährmedium,
- d) Gehalt und Verfügbarkeit der Nährstoffe im Boden,
- e) Optimierung der Nährstoffverfügbarkeit bei der Herstellung der Düngemittel,
- f) Einfluss der Nährstoffe und deren Verhältnisse zueinander auf Ertrag und Qualität,
- g) Bestimmung des zeitlichen Nährstoffbedarfs der Pflanze ,
- h) Pflanzennährstoffe als Wachstumsfaktor und
- i) Abhängigkeit der Ertragsbildung von den Wachstumsfaktoren.

Insbesondere Letzteres wurde schon von Sprengel und später von Liebig bearbeitet und fand in der einprägsamen und damit populären Minimumtonne seinen Niederschlag, demzufolge die Ertragsbildung von jenem Nährstoff begrenzt wird, der sich im Minimum befindet.

Wie diese Tonne durch die ungleiche Höhe der Dauben nicht voll werden kann, so können auch die Pflanzen bei Mangel eines Wachstumsfaktors – z.B. Kali – keine vollen Erträge bringen.

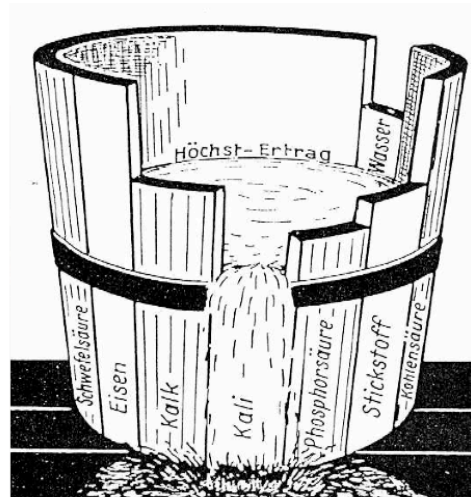


Abb. 2: Minimumtonne n. Liebig

Dieses sog. Minimumgesetz wurde von Mitscherlich 1909 auf der Basis umfangreicher Ertragsversuche korrigiert. Demnach ist nicht nur der im Minimum befindliche, sondern jeder einzelne Wachstumsfaktor mit der ihm eigenen Intensität an der Ertragsbildung beteiligt. Dieses „Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren“ besagt: „Der Pflanzenertrag steigt mit der Steigerung eines jeden Wachstumsfaktors proportional dem an dem jeweilig mit diesem erreichbaren Höchstertrage fehlenden Ertrage“⁽⁸⁾. Der Ertrag steigt also nicht linear mit der Steigerung des Wachstumsfaktors, sondern wird umso geringer, je größer der jeweilige Wachstumsfaktor wird (Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs).

Vor allem die in den letzten Jahrzehnten verbesserten Analysemethoden ermöglichen zunehmend Einblicke in die stoffwechselphysiologischen Wirkungen einzelner Nährstoffe, um deren Funktionen für das Pflanzenwachstum besser zu verstehen und gezielt auszunutzen und in engem Kontakt mit der Düngemittelindustrie die Qualität und Zusammensetzung der Düngemittel zu verbessern und zunehmend zu optimieren. In diesem Zusammenhang ist auch das Verhältnis von Düngung und Umwelt zu sehen. Die heute vorliegenden Erkenntnisse zur Düngung und Nährstoffversorgung der Pflanzen, verbunden mit den neuen technologischen Möglichkeiten der Düngerapplikation, ermöglichen bei ihrer konsequenten Umsetzung eine für die Umwelt weitgehend risikofreie Anwendung der organischen und mineralischen Düngemittel. Der Dialog zwischen Landwirtschaft, Politik und Umwelt zur Förderung dieses Prozesses sollte fortgesetzt werden.

6 Wie wird der Düngebedarf ermittelt?

Der Düngebedarf ergibt sich vereinfacht aus der Differenz zwischen dem vom Ertragsniveau abhängigen Nährstoffbedarf der jeweiligen Kulturpflanze und der Nährstoffbereitstellung aus dem Bodenvorrat während der Vegetationszeit. Eine treffgenaue Düngebedarfsermittlung setzt daher eine möglichst genaue Abschätzung der unter den gegebenen Standort- und Anbaubedingungen zu erwartenden Erträge und Qualitäten voraus. Ebenso wichtig ist die Kenntnis des Nährstoffangebotes aus dem Bodenvorrat, der durch eine standardisierte Bodenuntersuchung bestimmt wird. Pflanzenanalyseverfahren kontrollieren den aktuellen Ernährungszustand, auf dessen Basis Düngungsentscheidungen präzisiert werden. Das Precision Farming nutzt optische Sensoren, um die N-Versorgung des Pflanzenbestandes zu erfassen und eine teilstragspezifische und zeitlich differenzierte N-Düngung zu ermöglichen. Vor allem auf großen heterogenen Schlägen kommen die Vorteile dieser Technik, wie optimierte N-Düngung, verminderte N-Salden, homogenere Bestände in Qualität und Abreife, Vermeidung von Lager und höhere Mähdruschleistung besonders zum Tragen. Durch Einbeziehung von Boden- und Ertragsdaten mit dem Map-Overlay-Verfahren, d.h. teilflächengenaue Ausbringung von Nährstoffen nach Ertragskarten, kann die Düngebedarfsermittlung weiter verbessert werden.

7 Wie präzise wird die erforderliche Düngermenge appliziert?

Die Applikationstechnik für mineralische und organische Dünger wurde und wird ständig weiterentwickelt. Sie ermöglicht eine ausreichend präzise Ausbringung der erforderlichen Düngermengen. Insbesondere mit Pneumatikstreuern und Injektionsgeräten kann Mineraldünger mit hoher Applikationsgenauigkeit ausgebracht werden. Bei organischen Düngern ist das Ausbringen definierter Nährstoffmengen durch schwankende Nährstoffgehalte schwieriger. Neue Entwicklungen ermöglichen z.B. eine Nährstoffanalyse beim Befüllen des Gülletankfahrzeugs und damit eine differenzierte Ausbringung und Dokumentation. Nährstoffverluste lassen sich durch Direkteinbringung in den Boden bzw. durch sofortige Einarbeitung deutlich reduzieren. Unter Praxisbedingungen wird die Präzision der Ausbringung häufig durch äußere Faktoren (Windeinfluss, Nichtbeachtung der physikalischen Eigenschaften der Dünger, unsachgemäße Streueinstellung, schlecht gewartete Streuer, Entmischung der Dünger, etc.) beeinträchtigt.

8 Ist eine Landwirtschaft ohne Mineraldüngung nachhaltig?

Entsprechend den Beschlüssen der Brundtlandkommission ist unter Nachhaltigkeit eine Entwicklung zu verstehen, die den Bedürfnissen der Gegenwart gerecht wird, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu beeinträchtigen, ihre Bedürfnisse zu befriedigen⁽⁹⁾. Diese Definition trägt in ihrer Umsetzung auf die Landwirtschaft „der Notwendigkeit Rechnung, die Bedürfnisse einer wachsenden Zahl von Menschen bei einer gleichzeitigen Begrenzung des Abbaus natürlicher Ressourcen und Verminderung von Umweltbelastungen auf lange Zeit zu befriedigen“⁽¹⁰⁾. Es wird mithin eine Landwirtschaft angestrebt, die hochproduktiv, wirtschaftlich effizient und zugleich nachweisbar sozial- und umweltverträglich ist.

Unter diesen Bedingungen ist die obige Frage zu verneinen. Auch im globalen Maßstab ist nur eine Landwirtschaft mit bedarfsorientierter organischer und mineralischer Düngung in der Lage, die wachsende Nachfrage nach Nahrungsmitteln abzusichern. Das umso mehr, als die Ackerfläche pro Kopf weltweit abnimmt, die Bevölkerungszahl steigt und die landwirtschaftliche Fläche zunehmend Aufgaben als Energie- und Rohstoffquelle erfüllen muss. Hinzu kommt der Klimawandel, der sich in vielen Regionen auf das Ertragsvermögen der landwirtschaftlichen Kulturen auswirken wird.

Anders ausgedrückt: nur eine Wirtschaftsweise, die die Bevölkerung ernähren und das zunehmende Nährstoffdefizit der Böden ausgleichen kann, ist im Sinne der obigen Definition nachhaltig. Insofern ist der ökologische Landbau zwar eine die Umwelt wenig belastende, aber keine nachhaltige Bewirtschaftungsform⁽¹¹⁾. Die Summe aus Nährstoffabfuhr, unvermeidbaren Ammoniakemissionen und Nitratverlagerungen ist weit aus höher als die Nährstoffzufuhr durch Nachlieferung der Böden, Atmosphäreneintrag, symbiotische N₂-Bindung sowie Nährstoffrückführung über Wirtschaftsdünger und Erntereste. Infolgedessen kommt es bei unterlassener Mineraldüngung mittelfristig zu einer Verarmung der Böden und damit zu einem Verlust an Bodenfruchtbarkeit und der Ertragsfähigkeit.

9 Welche Bedeutung hat die Mineraldüngung für die Bodenfruchtbarkeit?

Die Bodenfruchtbarkeit ist ein komplexes Maß für das effektive Zusammenwirken aller Wachstumsfaktoren, ausgedrückt in der Produktivität je Flächeneinheit. Anzustreben ist eine dauerhaft hohe Bodenfruchtbarkeit. Das ist nur zu realisieren, wenn mit der Ernte entzogene Nährstoffe bedarfsgerecht wieder zugeführt werden und der Humusgehalt der Böden im Optimalbereich gehalten wird. Das unterstreicht die Rolle sowohl der mineralischen als auch organischen Düngung, wohlwissend, dass diese nur einen, wenn auch wesentlichen Bruchteil der ertragsbestimmenden Wachstumsfaktoren darstellen.

10 Werden zukünftig ausreichende Mengen Mineraldünger zur Verfügung stehen?

Über die Reichweite von Pflanzennährstoffen gibt es unterschiedliche Angaben, die z.B. bei Phosphor als knappstem Makroelement zwischen einer zweistelligen und dreistelligen Anzahl Jahre schwanken ⁽¹²⁾. Solche Daten sind aber nachrangig angesichts der Tatsache, dass die Pflanzennährstoffe (außer N, das aus der Luft kommt) endlich sind und nicht ersetzt werden können. Somit gilt der Besorgnisgrundsatz, der uns schon jetzt hinsichtlich P-Rückgewinnung zum Handeln verpflichtet und Modelle fordert, die kontrollfähig eine komplette Rückgewinnung und einen volkswirtschaftlichen P-Kreislauf ermöglichen müssen. Angesichts der existenzbedrohenden Bedeutung (die Nährstofffreisetzung durch die Bodenverwitterung reicht nur für sehr geringe Erträge) verlangt dieses Thema oberste Priorität.

11 Mineraldüngung wird von Teilen der Bevölkerung häufig als "Chemie" verteufelt, warum?

Die wichtigen Pflanzennährstoffe Phosphor, Kalium, Magnesium, Kalzium, Schwefel etc. stammen aus natürlichen Lagerstätten. Stickstoff wird aus der Luft gewonnen. Diese Ausgangsprodukte werden von der Düngemittelindustrie so aufbereitet, dass die in ihnen enthaltenen Nährelemente löslich und für die Pflanzen direkt aufnehmbar sind. Eine chemische Aufbereitung müssen auch organische Dünger durchlaufen, die im Boden erst mikrobiell mineralisiert, also in einem vielstufigen bio-chemischen Prozess in eine von den Pflanzen aufnehmbare, anorganische Form überführt werden. Am Beispiel des Stickstoffs lässt sich zeigen, dass beide Prozesse, das Haber-Bosch-Verfahren und die Mineralisierung, zum selben Produkt führen, nämlich Ammonium, und die Pflanze nicht unterscheiden kann, ob das in der Bodenlösung vorliegende Ammonium-Ion dem Mineraldünger oder dem organischen Dünger entstammt.

Dass die Mineraldünger von Teilen der Bevölkerung und der Medien dennoch als „Kunstdünger“ abgelehnt werden, beruht auf der Illusion, den heutigen globalen Lebensmittelbedarf ohne Mineraldünger erzeugen zu können. Vielmehr kommt dem Mineraldünger im Wettlauf zwischen Bevölkerungswachstum und Nahrungsproduktion eine Schlüsselstellung zu. Ohne „Kunstdünger“ hätte das enorme Bevölkerungswachstum während der industriellen Revolution im 19. Jahrhundert weltweit zu einer extremen Hungersnot geführt und es würden auch derzeit weltweit weitaus mehr Menschen (ver)hungern, als es tatsächlich der Fall ist.

Literatur

- (1) Agrarfakten Umweltverträglichkeit (2013): www.agrarfakten.de
- (2) Modernes Deutschland (2014): www.hubert-brune.de
- (3) Liebig, J. v. (1840): Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. Braunschweig, Vieweg 1840.
- (4) Inlandsabsatz von Düngemitteln nach Nährstoffarten in Deutschland. Statistisches Bundesamt, Fachserie 4, Reihe 8.2, 2012/2013
- (5) Ein Jahrhundert Agrarentwicklung (2000): Ausgewählte Kennzahlen. Statistisches Reichsamt, Statistisches Bundesamt, BMVEL (425, 426,427).
- (6) DBV (2012/2013): Situationsbericht
- (7) Bäurle, H., Tamasy, C. (2012): Regionale Konzentrationen der Nutztierhaltung in Deutschland. Mitt., Heft 79
- (8) Mengel, K. (1972): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav-Fischer-Verlag Jena, S.275
- (9) Brundtland, G.H. (1987): Our Common Future. World Commission on Environment and Development (Hrsg.), Oxford.
- (10) Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung" (1997): Konzept Nachhaltigkeit - Fundamente für die Gesellschaft von morgen. Deutscher Bundestag, Drucksache13/7400.
- (11) AgrarFakten Ökolandbau (2013): www.agrarfakten.de
- (12) Meier, C. (2014): Bevor der Dünger ausgeht.www.spektrum.de/news/bevor-der-duenger-ausgeht/1024445
- (13) Schubert, S. (2006): Pflanzenernährung. UTB 2802, Eugen-Ulmer-Verlag Stuttgart, S.1
- (14) Schilling. G. (2000): Pflanzenernährung und Düngung. UTB 8189, Eugen-Ulmer –Verlag Stuttgart, S. 146 - 161