

Boden und Ernährungskrise

W. FLAIG +)

Zentrale Informationsstelle
und Bibliothek der FAL (ZIB)
Bundesallee 50
D-38116 Braunschweig

99/306

Inhalt

Vorbemerkungen

1. Der Boden als Standort für die Kulturpflanzen
2. Die organische Bodensubstanz
3. Boden und Ertrag
4. Maßnahmen zur Erhöhung der pflanzlichen Produktion
 - 4.1. Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzflächen
 - 4.2. Erhöhung der Erträge pro Flächeneinheit
 - 4.2.1. Verbesserung des Nährstoffangebotes durch Düngung
 - 4.2.2. Züchtung von ertragsstärkeren, den jeweiligen Anbaugebieten angepassten Sorten
 - 4.2.3. Optimierung der Versorgung mit Wasser
 - 4.3. Einsatz von Maschinen
5. Düngemittelbedarf und Düngemittelproduktion
Problematik im Falle des Nährstoffes "Stickstoff"
6. Stickstoffbilanz im System "Boden-Pflanze"
Bedeutung von nachliefernden, organischen Stickstoffquellen für die Höhe des Ertrages
7. Milderung der Ernährungskrise durch Nutzung des Erkenntnisstandes
8. Zusammenfassung

+)
Adresse: Direktor des Instituts für Biochemie des Bodens
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-
Völkenrode, D-3300 Braunschweig, Bundesallee 50

Da sich die Bevölkerung in den Entwicklungsländern stärker vermehrt als in den Industrieländern, treten besondere Schwierigkeiten auf. Nach den Schätzungen der Vereinten Nationen werden im Jahre 2000 von den fast 7 Milliarden ungefähr 5,4 Milliarden in den Entwicklungsländern leben. Das ist mehr als das Doppelte der 2,5 Milliarden in den Entwicklungsländern heute. Die Nahrungsversorgung für die Entwicklungsländer muß also schon mehr als verdoppelt werden, um den Mehrbedarf der wachsenden Bevölkerung zu decken. Es ist zu erwarten, daß die Deckung des Bedarfs an Nahrungsmitteln für die Weltbevölkerung immer schwieriger wird, da heute schon 71 % der Menschen in den Entwicklungsländern leben, in welchen nur 44 % der erforderlichen Gesamtmenge an Nahrungsmitteln erzeugt wird.

Nach MATZKE (1974) steht im Jahre 1985 in den Industrieländern einer Steigerung der Nachfrage an Nahrungsmitteln von 27 % eine Produktionssteigerung von 51 % gegenüber. Das heißt, in den entwickelten Ländern wird ein Überschuß an Nahrungsmitteln vorhanden sein. In den Entwicklungsländern ist die Lage dagegen gerade umgekehrt. Dort besteht eine Nachfragesteigerung von 72 % und nur eine vorausgerechnete Produktionssteigerung von 46 %. Das heißt, das heute schon bestehende Ungleichgewicht in der Versorgungslage mit Nahrungsmitteln wird sich aller Voraussicht nach bis zum Jahre 1985 erheblich verschärfen.

Bei den Entwicklungsländern besteht im Jahresdurchschnitt von 1969 bis 1972 - die Jahre der "Grünen Revolution" in Indien und Pakistan - schon ein jährliches Getreidedefizit von etwa 13 Millionen Tonnen. Dies dürfte sich bis zum Jahre 1985 auf 70 - 80 Tonnen erhöhen. Es ist undenkbar, daß ein solches Defizit durch Importe gedeckt werden kann. Selbst wenn man einen Getreidedurchschnittspreis von 200 Dollar je Tonne zugrunde legt, müssen die Entwicklungsländer einen Devisenbetrag in Höhe von 14 bis 20 Milliarden Dollar für die Einfuhr der notwendigen Getreidemengen aufwenden.

In den entwickelten Ländern mit einem Überschuß an Nahrungsmittelproduktion sollte man nach Ansicht einiger Ernährungswissenschaftler nicht verächtlich von Milchschwemme, Butterberg und Fleischberg sprechen, sondern die dadurch entstehenden, verhältnismäßig geringfügigen Belastungen der eigenen Volkswirtschaft in Kauf nehmen und keine drastischen Einschränkungen der Produktionsmöglichkeiten hochwertiger Nahrungsmittel wie z. B. tierische Proteine vornehmen, zu deren Erzeugung man fast den siebenfachen Energieaufwand an pflanzlicher Produktion betreiben muß. Diese Produktionsmöglichkeiten sollten allerdings nur so lange genutzt werden, als der überwiegende Teil an Futterstoffen aus eigener Erzeugung stammt. Dabei soll man auch nicht vergessen, daß die geistige Entwicklung bei Kindern besonders in den ersten vier Lebensjahren durch eine entsprechende Proteinernährung gefördert wird und die Arbeitsfähigkeit von Erwachsenen durch Proteinmangel herabgesetzt wird.

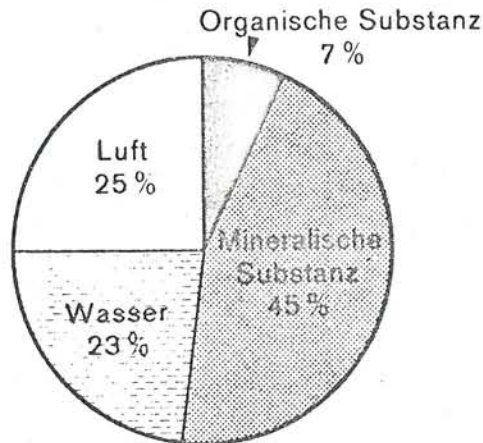
Diese Vorbemerkungen waren als Einleitung erforderlich, um die Bedeutung des Bodens für die Ernährung der Weltbevölkerung darzulegen.

1. Der Boden als Standort für die Kulturpflanzen

Der Boden ist die oberste belebte Schicht der Erdrinde und immer noch die wichtigste Grundlage für die Nahrungsmittelproduktion und wird es für die nächste Zukunft bleiben. Dies trifft auch für den Fall zu, wenn es gelingt, hochwertige Nahrung durch biotechnische Prozesse zu erzeugen oder auch, wenn man die Produktion der Weltmeere an Fischen, sowie an höheren und niederen Pflanzen berücksichtigt. Biotechnische Verfahren werden nicht in allen aber doch in den meisten Fällen eine Verteuerung des Nahrungsmittel mit sich bringen. Sie sind dort angebracht, wo noch verwertbare als Abfälle bezeichnete Materialien sich zur Synthese von Nahrungsmitteln oder Futterstoffen anbieten und damit gleichzeitig ein Beitrag zum Schutze der Umwelt geliefert wird.

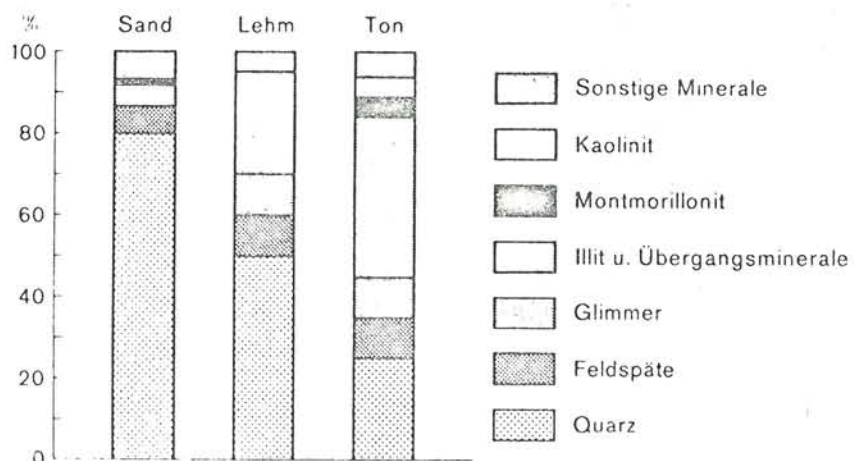
Die Zusammensetzung der Böden, ihre Struktur und damit auch ihre Fruchtbarkeit hängt vornehmlich von den jeweiligen klimatischen Bedingungen, dem mineralischen Ausgangsmaterial und dem Pflanzenbestand ab (vgl. SCHROEDER, 1969).

Abb. 1: Beispiel für die Zusammensetzung eines Grünlandbodens (in Vol.-%)



Den überwiegenden Anteil eines Bodens bilden die mineralischen Anteile. Wasser und Luft sind in dem Beispiel ungefähr zu gleichen Anteilen vorhanden. In den Grünlandböden ist die organische Substanz mit 7 % zu einem großen Anteil vertreten. In den Ackerböden der Tropen ist der Gehalt meistens nur zwischen 0,5 bis 1 %. Von der Bedeutung der organischen Bodensubstanz für dessen Fruchtbarkeit und deren Einfluß auf das Ertragsrisiko wird noch mehrfach die Rede sein.

Abb. 2: Mineralgehalte eines Sand-, Lehm- und Tonbodens (aus Geschiebesand, Löß bzw. Schlick)



Durch die Verwitterung der Ausgangsgesteine entstehen Sekundärminerale, von denen die Tonminerale mit ihren aktiven Oberflächen im System "Boden-Pflanze" eine wichtige Rolle spielen.

Der Gehalt an Tonmineralen wie Kaolinit, Montmorillonit, Illit und Übergangsmminerale ist je nach Bodenart verschieden und nimmt z.B. von den Sand- nach den Tonböden zu, während der Anteil an dem verwitterungsstabilen Mineral Quarz abnimmt.

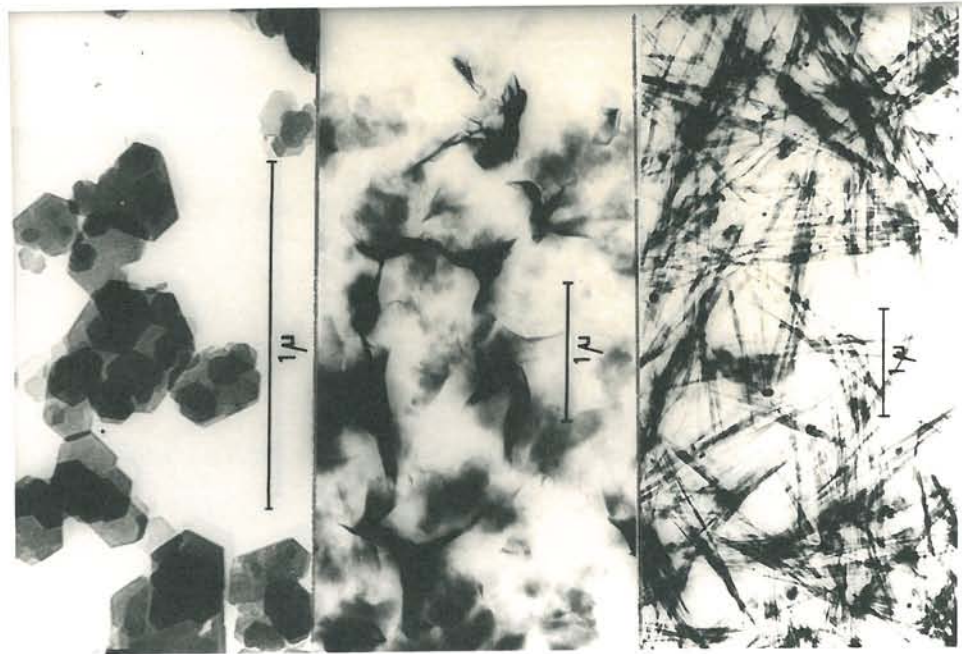
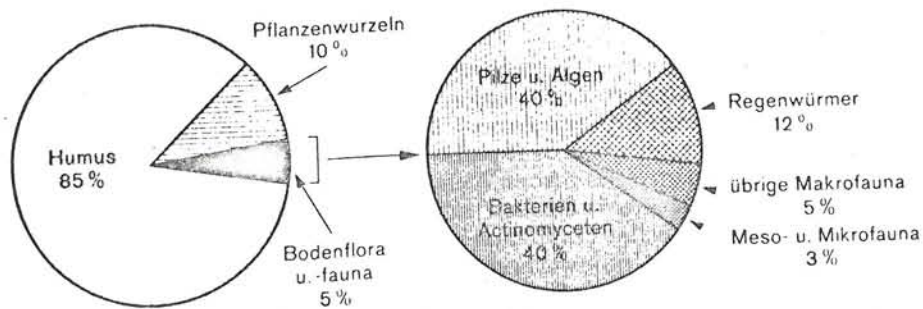


Abb. 3: Elektronenmikroskopische Aufnahme der Tonminerale Kaolinit, Montmorillonit, Attalpulgit

Die elektronenmikroskopische Betrachtung gibt z.B. Aufschluß über die Gestalt der einzelnen Tonminerale wie Kaolinit, Montmorillonit oder Attalpulgit (BEUTELSPACHER und VAN DER MAREL 1968).

Alleinschon eine morphologische Betrachtungsweise führt zu der Erkenntnis, daß ein Boden mit einem unterschiedlichen Gehalt an dem einen oder anderen Tonmineral unterschiedliche mechanische Eigenschaften haben muß.

Abb. 4: Beispiel für die Zusammensetzung der organischen Substanz eines Grünlandbodens (in Gew.-% der Trockensubstanz; nach Tischler)

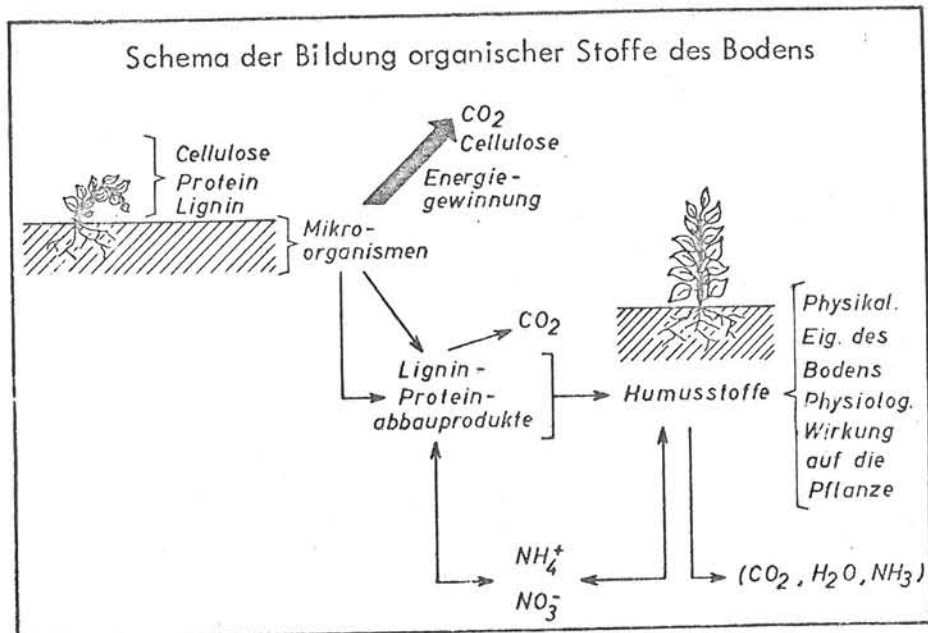


Die organische Bodensubstanz besteht zum überwiegenden Teil aus abgestorbenen Organismen - hauptsächlich Pflanzen - und deren Umwandlungsprodukten. Diese werden vornehmlich durch die Aktivität von niederen Organismen, wie Pilzen und Bakterien gebildet, sowie durch einige durch mikrobielle Synthese entstandene, die einer bestimmten Verbindungsklasse (Phenole) angehören. Bestandteile der organischen Bodensubstanz sind wichtige Gefügebildner und die einzige Stickstoffquelle des Bodens, während die anderen Elemente, die der Pflanze zur Ernährung dienen, über die Verwitterung der Minerale der Ausgangsgesteine zur Verfügung gestellt werden.

2. Die organische Bodensubstanz

Die wichtigsten organischen Pflanzeninhaltsstoffe sind Cellulose, Lignin und Proteine. Cellulose dient den an der Umwandlung beteiligten Mikroorganismen zu einem Teil als Energiequelle und wird zu Kohlendioxyd abgebaut. Ein anderer Anteil ist ebenso wie die Proteine am Aufbau ihrer Körpersubstanz beteiligt. Der Abbau von Lignin verläuft langsamer als der von Cellulose und Proteinen.

Abb. 5:



Hauptsächlich phenolische Abbauprodukte des Lignins und mikrobiell synthetisierte Phenole führen über verschiedene Reaktionen mit den Abbauprodukten der Proteine zu den Huminstoffen. Diese haben einen Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Einige niedermolekulare Bestandteile können von den Pflanzen aufgenommen werden und einen Einfluß auf Stoffwechselschritte ausüben.

Die Humusstoffe werden im Boden langsamer abgebaut als die Ausgangsmaterialien, aus denen sie entstehen. Sie dienen während dieser Vorgänge als nachliefernde Stickstoffquelle für die Pflanzenernährung. Schließlich werden die Humusstoffe bis zu Kohlendioxyd, Wasser und Ammoniak abgebaut. Die Bildung und der Abbau der Humusstoffe unterliegen einer Dynamik, die durch Klimafaktoren, Art des Pflanzenbestandes und die Zusammensetzung des mineralischen Anteils des Bodens beeinflusst wird.

Bestimmt man den Humusgehalt in Abhängigkeit von zunehmender durchschnittlicher Niederschlagsmenge und von ansteigenden Jahresdurchschnittstemperaturen von Norden in der Tundra bis zu den Subtropen im Süden der Sowjetunion, so stellt man

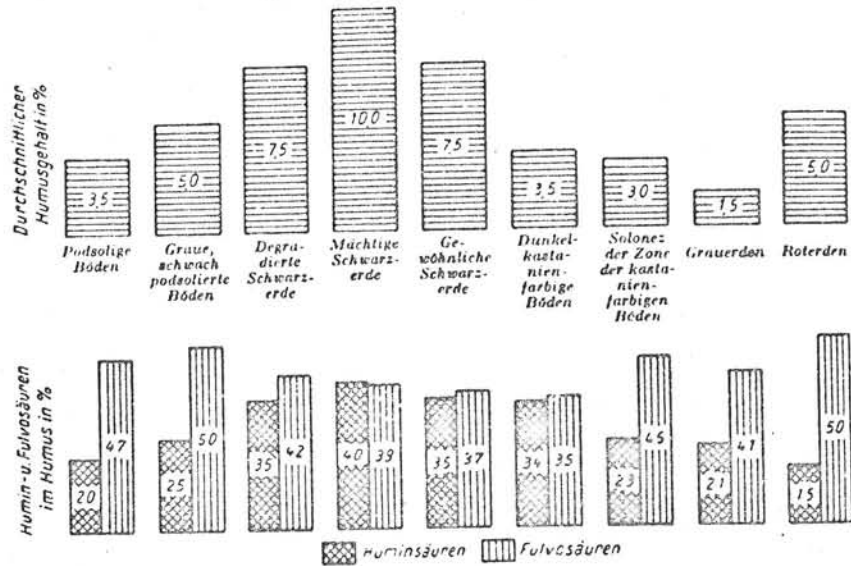


Abb. 6: Die Zusammensetzung des Humus in den wichtigsten Bodentypen der Sowjetunion in der Schicht von 0 - 20 cm (KONONOVA 1966)

zunächst eine Zunahme des Prozentgehaltes und dann eine Abnahme fest. Am höchsten ist der Prozentgehalt in der "Mächtigen Schwarzerde" in der Ukraine, die als sehr fruchtbar bekannt ist.

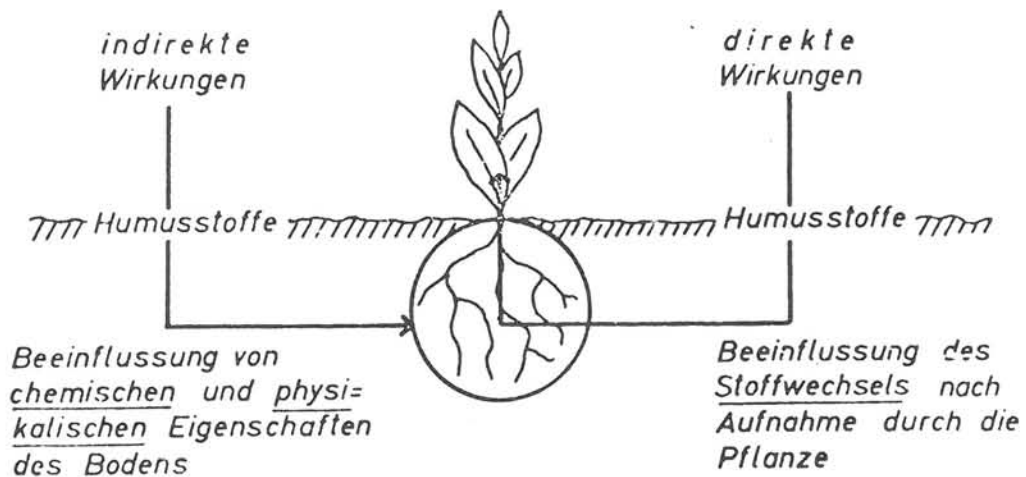
Durch verschiedene Extraktionsmethoden können aus dem Humus die hochmolekulare Fraktion der Huminsäuren und die Fraktion der Fulvosäuren mit niedermolekularen Verbindungen abgetrennt werden. Auch hier ist ein Gang des Verhältnisses zwischen den beiden Fraktionen vorhanden.

An dieser Stelle soll als historische Betrachtung kurz eingeschaltet werden, daß Carl Sprengel als Professor der Agriculturnchemie am Collegium Carolinum zu Braunschweig schon 1826 wesentliche Beiträge auf diesem Fachgebiet geliefert hat.

Die erfahrenen Landwirte messen einer ausgeglichenen "Humuswirtschaft", der Zufuhr organischer Substanz zum Boden und deren Umsetzung eine große Bedeutung bei und sprechen von einem

"Humuseffekt". Die kausalen Zusammenhänge für den Erfolg dieser Maßnahmen für die Produktivität und die "Ertragstreue" der Böden - wie man sich auszudrücken pflegt - sind selbst bei wesentlichen Stufen noch nicht in allen Einzelheiten bekannt.

Abb. 7: Schema der Wirkungsmöglichkeiten von Humusstoffen auf das Wachstum und Ertrag von Pflanzen



Wir unterscheiden zwischen indirekten und direkten Wirkungen der Humusstoffe auf das Pflanzenwachstum. Durch die Einwirkung hauptsächlich des hochmolekularen Anteils der Humusstoffe kann die Umgebung der Wurzeln durch die Beeinflussung von chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens in der Richtung erfolgen, daß z.B. durch erhöhten Gasaustausch oder bessere Wasserführung im Boden eine indirekte Wirkung für ein besseres Pflanzenwachstum ausgeübt wird, das sich schließlich bei den Kulturpflanzen auf eine Ertragssteigerung der für die Nahrung wichtigen Anteile auswirkt.

Als einen direkten Effekt bezeichnen wir die Beeinflussung des Stoffwechsels der Pflanze nach Aufnahme von niedermolekularen Bestandteilen des Humus. Dieser Effekt wird in der Regel dann beobachtet, wenn Wachstumsfaktoren wie Nährstoffe, Feuchtigkeit, Temperatur, Sauerstoffgehalt der Bodenluft im Minimum oder das Verhältnis der Nährstoffe im Ungleichgewicht sind. Zur Zeit kennen wir nur phenolische Verbindungen, die aus dem Abbau des Lignins oder der mikrobiellen Synthese stammen und mit diesem ertragssteigernden Effekt in Zusammen-

hang gebracht werden können.

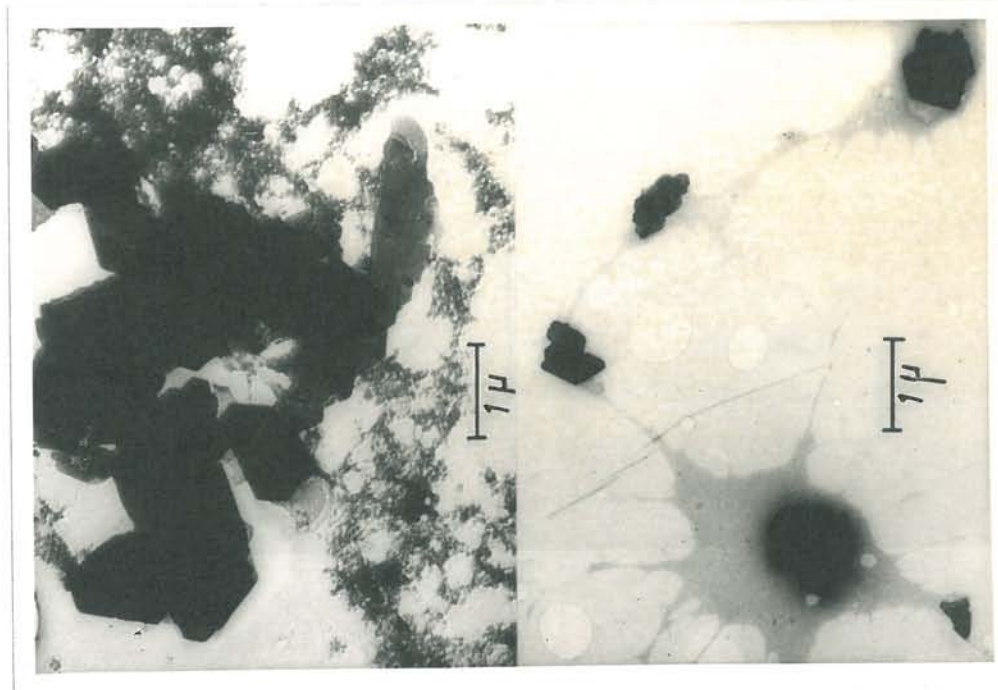


Abb. 8: Wechselwirkung zwischen Kaolinit und Huminsäuren sowie Polyuronsäuren (BEUTELSPACHER, 1955)

Am Modellbeispiel einer elektronenoptischen Untersuchung soll die unterschiedliche Wechselwirkung zwischen kugelförmigen hochmolekularen Substanzen wie Huminsäuren und fadenförmigen Hochmolekularen wie Polyuronsäuren als Beeinflussung physikalischer Eigenschaften des Bodens demonstriert werden. Ohne die Mitwirkung von Calciumionen oder Oxyhydraten aus der Verwitterung der Minerale sind die kugelförmigen Huminsäurenkolloide über das Tonmineral Kaolinit statistisch verteilt. Im Falle von fadenförmigen Kolloiden wie Polyuronsäuren - von den Mikroorganismen erzeugte Schleimstoffe - findet eine netzförmige Verknüpfung zwischen den einzelnen Kaolinitkristallen statt.

Derartige Effekte haben eine starke Auswirkung auf das Ertragspotential der Böden. Sie können nur dann auftreten, wenn der Gehalt an organischer Bodensubstanz eine entsprechende Höhe hat und der Umsatz nach einer entsprechenden Dynamik abläuft.

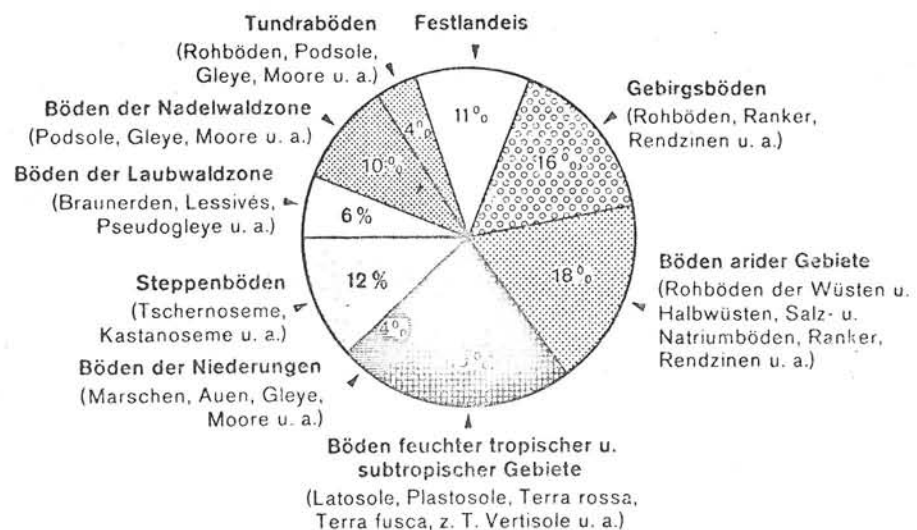
In beiden Fällen kann der Mensch mit gezielten Maßnahmen eingreifen.

Beispiele direkter Effekte der Humusstoffe und ihre Beziehung zur Bodenproduktivität und zum Ertragsrisiko werden später noch erwähnt werden.

Faktoren und Prozesse der Bodenbildung erzeugen Merkmale, die in den Horizonten des Bodenprofils in Erscheinung treten. Bei Kulturböden kommen außer den schon erwähnten Faktoren - Klima, Ausgangsgestein, Pflanzenbestand - noch weitere hinzu, die der Mensch durch seine Tätigkeit wie Bodenbearbeitung, Bewässerung, u.a. verursacht.

3. Boden und Ertrag

Abb. 9: Anteil der Bodenzonen an der Festlandfläche der Erde



Der Anteil der Böden der Nadelwaldzone, der Laubwaldzone, der Steppen und der Niederungen von 32 % der Festlandfläche der Erde entspricht nahezu dem Anteil der Böden der Tropen und der ariden Gebiete von 37 %. Die Hektarerträge für die Herstellung von Nahrungsmitteln sind auf den 32 % der erstgenannten Böden viel höher als in den Böden der Tropen und ariden Gebiete. Die geographische Verbreitung der wichtigsten Bodenzonen ergibt einen Gürtel, in dem die Böden der Tropen, Subtropen und der ariden bzw. semiariden Gebiete liegen.

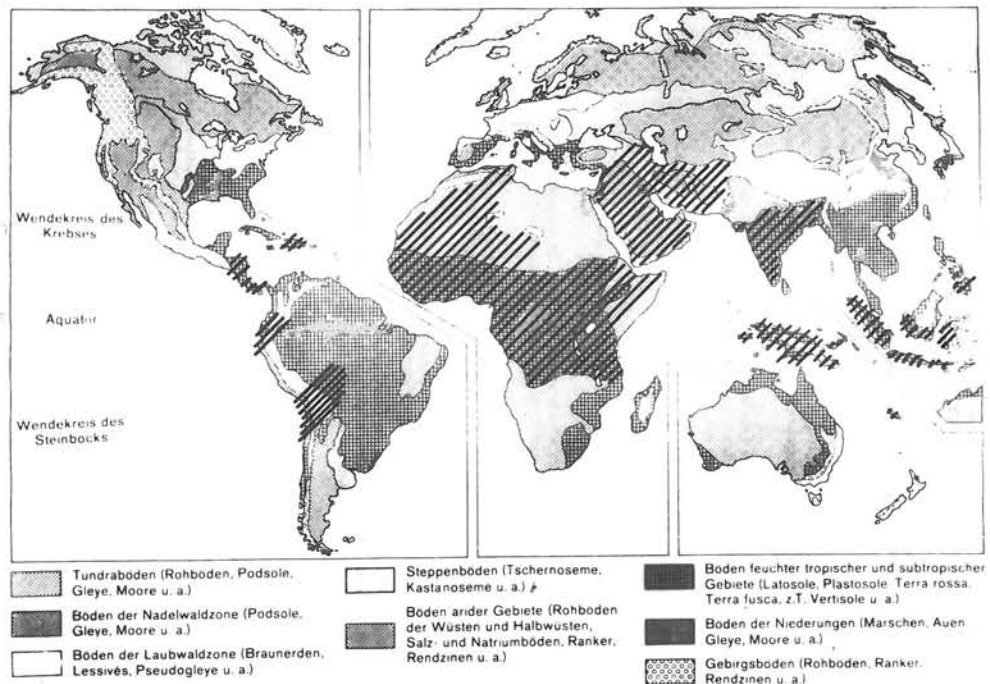


Abb. 10: Geographische Verbreitung der wichtigsten Bodenzonen und Hungergebiete

Trägt man die Hungergebiete auf der Erde (stark schraffiert) in die Karte der Bodenzonen ein, so liegen sie meist in dem Gürtel der Tropen und ariden bzw. semiariden Gebiete.

Man kann nun die Frage aufwerfen, ob die richtigen Verfahren zur Produktion von Nahrungsmitteln in diesen Gebieten schon angewandt wurden oder nicht. Die meisten bisherigen technischen Verfahren für die pflanzliche Produktion sind in den gemäßigten Klimazonen erarbeitet worden. Daß es möglich ist, auch in semiariden Gebieten eine Landwirtschaft ökonomisch zu betreiben, ist an verschiedenen Orten bewiesen worden.

Zu diesem nur angeschnittenen Problem gibt es interessante Zahlen aus dem Internationalen Biologischen Programm.

Tab. 1: Beispiele der Netto-Primär-Produktion auf dem Boden bei verschiedenen Vegetationseinheiten
 "Tragfähigkeit" der Erde für Menschen = 7,5 bis 15 Milliarden. (Lieth, 1974)

Vegetationseinheit	Fläche Milliard ha	Netto-Primär-Produktivität	
		Wahrscheinl. Mittel dt/ha/Jahr	Flächensumme Milliard t
Summe Land	14,9	67	100,2
<u>Beispiele</u>			
Wälder	6,0	129	64,5
Tropischer Regenwald	1,7	200	34,0
Sommergrüner Wald	0,7	100	7,0
Buschwüste	1,8	7	1,3
Grasland	2,4	60	15,0
Extreme Wüste	2,4	0,1	-
Kulturland	1,4	65	9,1

Von LIETH (1974) sind über die Netto-Primär-Produktivität verschiedener Böden einige interessante Angaben zusammengestellt worden.

Die höchste Netto-Primär-Produktivität erfolgt im tropischen Regenwald mit seinem großen Artenreichtum, mit 200 dt/ha/Jahr, auf dem tropischen und temperierten Grasland mit 60 dt/ha/Jahr und auf dem von Menschen beackerten Kulturland im großen Durchschnitt mit 65 dt/ha/Jahr. LIETH äußert die Ansicht, "im

Rahmen einer Industriegesellschaft wäre es durchaus denkenswert, daß man das artenreiche Rohmaterial technologisch eventuell viel rationeller zu Nahrungsmitteln verarbeitet als dies jetzt in Monokulturen durch die Pflanze selbst geschieht."

Folgt man diesem Gedanken des Autors, so wären diese Überlegungen für die Tropen und Subtropen zu überprüfen, da in diesen Gebieten Monokulturen, wie wir sie kennen, nur mit erheblichen Schwierigkeiten gepflanzt werden können. Aus dem "Rohmaterial" der natürlichen tropischen Vegetation könnten der Bedarf an Kohlenhydraten entweder direkt oder durch Aufarbeitung mittels Hydrolyse, und der Proteinbedarf durch mikrobielle Synthese auf den Hydrolysaten erfolgen.

Zum Vergleich möchte ich erwähnen, daß die Netto-Primär-Produktivität auf den Schwarzerden um Hildesheim bei Weizen etwa 90 dt/ha/Jahr bestehend aus 50 dt Korn- und 40 dt Stroh pro ha beträgt und bei Zuckerrüben-Trockensubstanz etwa 220 dt/ha/Jahr bestehend aus 120 dt Rüben- (Trockensubstanz) und 120 - 130 dt Blatt- (Trockensubstanz) bzw. etwa 80 dt Zucker pro ha pro Jahr. Diese Erträge werden allerdings nur durch einen entsprechenden Aufwand an Dünger, Pflanzenschutzmittel, Bodenbearbeitung und einige andere Maßnahmen erreicht. Für die Möglichkeiten, das eine oder das andere Verfahren in den Tropen durchzuführen, kann man sich dann entscheiden, wenn der Ertrag den Aufwand lohnt.

Die Ausnutzung der Primär-Produktion als Nahrungsmittel bei Kulturpflanzen ist 30 - 50 %, bei tierischen Erzeugnissen nur 3 - 5 %.

4. Maßnahmen zur Erhöhung der pflanzlichen Produktion

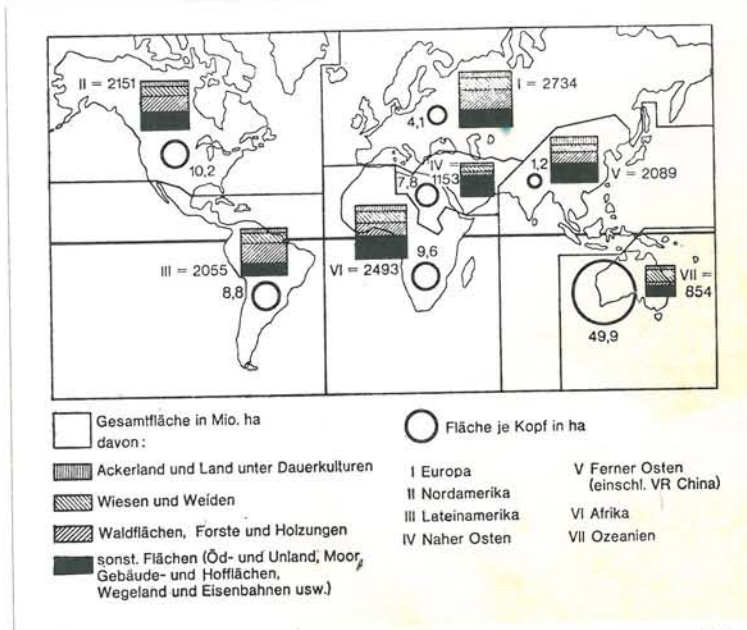
Folgende Bemühungen sind zur Steigerung der pflanzlichen Produktion als der Primär-Produktion für die Erzeugung von Nahrungsmitteln für die zunehmende Weltbevölkerung unternommen worden.

4.1. Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzflächen

Eine Möglichkeit für die Verbesserung der Ernährungssituation in den Entwicklungsländern wäre bei gleicher Produktionshöhe eine Ausdehnung der Anbauflächen.

Im folgenden Diagramm ist die Nutzung der Weltbodenfläche dargestellt und zusätzlich die pro Kopf zur Verfügung stehende Gesamtfläche in Hektar eingezeichnet (FISCHNICH, 1968).

Abb. 11: Regionale Verteilung der Weltbodenfläche nach Nutzungsarten



In Ozeanien, das ist einschließlich Australien, stehen 50 Hektar Gesamtfläche pro Kopf zur Verfügung, in Amerika, Afrika und im Nahen Osten etwa 8 Hektar gegenüber 4 Hektar in Europa und nur 1 Hektar im Fernen Osten. In der letzten Region leben mehr als die Hälfte der Menschheit und der Hunger ist dort am empfindlichsten zu spüren.

Bei der Bodenknappheit im Fernen Osten wird also die Erhöhung der pflanzlichen und tierischen Erträge pro Hektar durch Anwendung anderer Methoden der einzig gangbare Weg zur Beseitigung des Hungers darstellen. Ähnliches gilt für den Nahen Osten, wo infolge Wassermangels Land- und Forstwirtschaft nur beschränkt möglich sind. In weiten Gebieten Lateinamerikas und Afrikas bestehen zweifelsohne

Bodenreserven, deren Nutzbarmachung aber oft große finanzielle und technische Schwierigkeiten bereitet. Also auch in den zuletzt genannten Erdteilen wird es zunächst eher möglich sein, das Ziel durch Intensivierung der pflanzlichen Erträge zu erreichen. Was für die pflanzlichen Erträge zutrifft, ist auch für die tierischen gültig.

In der Vergangenheit ist in den Entwicklungsländern versucht worden, die erforderliche Nahrung durch Erweiterung der Anbauflächen zu gewinnen. Die Erzeugung hat jedoch mit der Vermehrung der Bevölkerung nicht Schritt gehalten.

In diesem Zusammenhang sollen noch einige Zahlen der FAO erwähnt werden.

In der Zeit von 1954 bis 1964 hat sich das Ackerland um 7 % (von 1,35 auf 1,46 Milliarden Hektar), das Dauergrünland um 11 % (von 2,36 auf 2,63 Milliarden Hektar) und die Bevölkerung um 23 % (von 2,60 auf 3,28 Milliarden) vermehrt. Urwälder lassen sich nicht im beliebigen Ausmaße roden, um Pflanzen für die Ernährung anzubauen, da der Boden in wenigen Jahren seine Fruchtbarkeit verliert.

4.2. Erhöhung der Erträge pro Flächeneinheit

Hierzu können verschiedene Maßnahmen getroffen werden. Auf diese kann im einzelnen nicht näher eingegangen sondern nur das wesentliche an einigen Diagrammen erläutert werden.

4.2.1. Verbesserung des Nährstoffangebots durch Düngung

Durch Klimafaktoren, Bodeneigenschaften und durch das genetische Potential der Pflanzen sind diesen Maßnahmen Grenzen gesetzt. Die Erträge lassen sich durch Erhöhung der Düngergaben jeweils nur bis zu einem gewissen Ausmaß steigern, das physiologisch bedingt ist. Die Höhe der Steigerung der Erträge mittels Düngung wird fernerhin durch wirtschaftliche Überlegungen bestimmt. Die Kosten für den angewandten Dünger müssen durch die Ertragssteigerung gedeckt sein. Eine zukunfts-

weisende Aufgabe für die Forschung ist es jedoch, die Ausnutzung der verabreichten Dünger durch die Pflanze so optimal wie möglich zu gestalten. Hierauf wird später noch eingegangen werden.

Zum Verständnis für die folgenden Ausführungen werden noch einige allgemeine Bemerkungen eingeschoben.

Die Pflanze bedarf zu ihrer Ernährung eine Anzahl von Elementen, die im Falle der unbeeinflussten Pflanzenproduktion in der Natur durch die Verwitterung aus dem mineralischen Anteil der Bodensubstanz angeliefert werden. Für die mengenmäßig wichtigsten können Kalium, Phosphor und Calcium aus besonderen Mineralvorkommen technisch gewonnen, zu Düngemitteln verarbeitet und als Nährstoffquelle für die Pflanzen verabreicht werden. (siehe Abb.22).

Der Stickstoff dagegen gelangt bei der durch den Menschen nicht beeinflussten pflanzlichen Produktion hauptsächlich über biologische Prozesse, wie Humifizierung von Organismenrückständen, symbiotische und asymbiotische Fixierung und zu einem kleineren Anteil durch Auswaschung von sauerstoffhaltigen Stickstoffverbindungen aus der Luft durch die Niederschläge in den Boden (siehe auch Abb. 18).

Da für eine wirtschaftliche Pflanzenproduktion diese Menge an zur Verfügung stehendem Stickstoff zu klein ist, müssen geeignete Stickstoffverbindungen aus dem Stickstoff der Luft in großtechnischen Prozessen synthetisiert und dem Boden als Düngemittel zugesetzt werden. Die erforderlichen Prozesse sind mit einem hohen Energieaufwand verbunden. Die Stickstoffdüngemittel müssen daher besonders ökonomisch eingesetzt werden.

Abb. 12:

Zunahme der Getreideerträge in dt/ha
in den Jahren 1900/04 bis 1973 in Deutschland

	Roggen	Weizen	Gerste	Hafer
1900/04	14,3	18,7	18,1	17,5
1910/14	17,9	18,6	18,5	19,0
1935/38	18,3	22,3	21,5	20,7
1947	13,0	12,9	12,5	12,3
1952	23,0	27,6	24,9	23,5
1964	31,5	36,0	34,0	30,9
1965	25,0	30,8	28,2	27,7
1969	33,1	40,2	37,0	34,6
1970	30,9	37,9	32,2	30,1
1971	35,2	46,2	38,4	36,3
1972	34,7	40,6	38,7	35,8
1973	34,9	44,5	39,6	37,1
Erntemenge 1973 in Mio t	2,6	7,1	6,6	3,0

(Statist. Monatsbericht, BML, 1973)

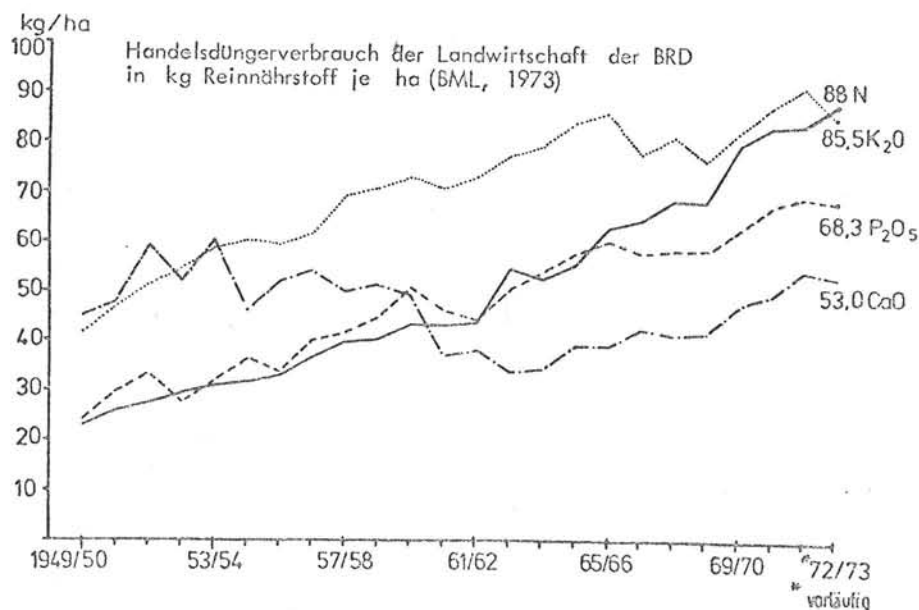
In der Abbildung 12 sind einige Zahlen der Erträge verschiedener Getreidearten in Deutschland zusammengestellt (BML, Statist. Monatsberichte 1973).

In den Jahren 1900/04 waren sie ungefähr so hoch wie heute bei einem Durchschnittslandwirt in Indien. Die Anwendung von Mineraldüngern war damals bei uns noch niedrig. In den Jahren 1935/38 waren sie schon etwas angestiegen. Im Jahre 1947 stand sehr wenige Mineraldünger zur Verfügung. In den folgenden Jahren stiegen jedoch die Ernteerträge durch vermehrte Düngung an. In den siebziger Jahren war die Ernte mehr als doppelt so hoch wie im Jahre 1900/04.

Diese Ertragssteigerungen sind nicht ausschließlich auf die Düngung zurückzuführen. Auch andere Maßnahmen, wie Züchtung ertragsstärkerer Sorten, Pflanzenschutz und Bodenbearbeitung haben dazu beigetragen.

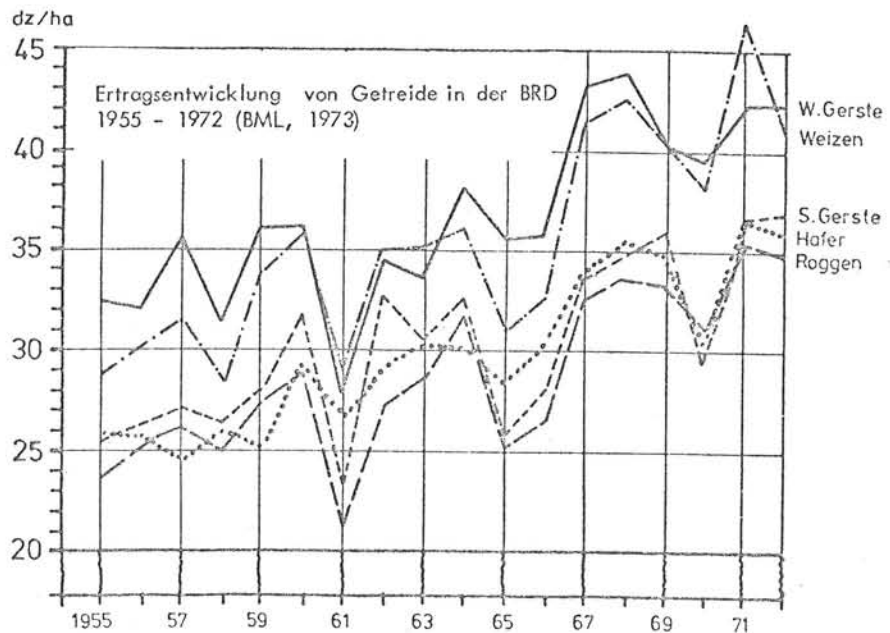
Mit den beiden nächsten Diagrammen soll darauf hingewiesen werden, daß nicht jedes Jahr mit der gleichen Höhe an Nährstoffgaben auch die gleiche Menge an Ernteprodukten erzielt werden kann.

Abb. 13:



Der Verbrauch an Handelsdüngemitteln stieg in den Jahren 1955/1972 nahezu linear an. In diesen Kurven gibt es kaum Schwankungen.

Abb. 14:



Die Erträge an Getreide nahmen von 1955 bis 1972 im Mittel ebenfalls zu (BML Statist. Monatsbericht 1973).

An diesen Kurven interessieren nicht so sehr die absoluten Werte. Es soll vielmehr aufgezeigt werden, daß die Ertrags-
höhe von Jahr zu Jahr Schwankungen unterworfen ist. Die Erträge einzelner Jahre liegen oft unter dem Ertrag eines mehr-
jährigen Durchschnitts. Die Ertragsdepressionen wie in den Jahren 1961, 1965 und 1970 hätten in den Entwicklungsländern große Hungerkatastrophen hervorgerufen. Für die deutsche Landwirtschaft waren diese Ertragsdepressionen ein finanzieller Verlust.

Es wäre die Aufgabe der modernen Biochemie, diese Depressionen soweit als möglich zu mindern. In der Landwirtschaft kann man die Produktion nicht im voraus bestimmen, wie in einer Auto-
fabrik, da die Klimafaktoren während der Vegetation nicht vorherbar sind. Man weiß jedoch, daß Substanzen mit bioregulator-

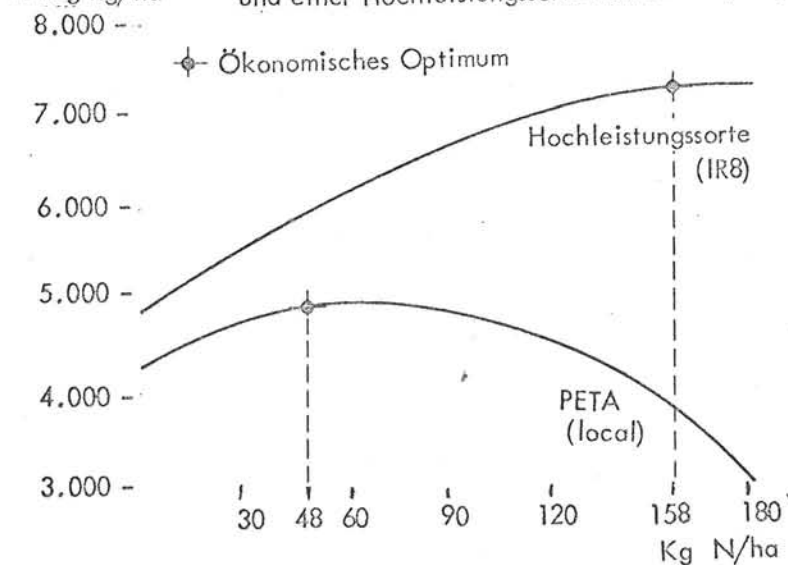
rischen Effekten die Ertragsdepressionen bei ungünstigen Umweltbedingungen während der Vegetationszeit mildern können und damit das Ertragsrisiko vermindern (FLAIG u. SÖCHTIG, 1973). Auf diesem Gebiet sind noch viele Probleme zu lösen.

4.2.2. Züchtung von ertragsstärkeren, den jeweiligen Anbaugebieten angepaßten Sorten

Diese Maßnahme ist eng mit dem Stichwort "Grüne Revolution" in einigen der Entwicklungsländer verknüpft, die allerdings den in sie gesetzten Erwartungen nicht entsprach oder - besser gesagt - nicht entsprechen konnte, da einige Voraussetzungen fehlten.

Abb. 15:

Vergleich des Stickstoffbedarfs und der Erträge einer örtlichen und einer Hochleistungsorte von Reis (IRRI, 1968)



Für den ökonomisch höchsten Ertrag hatte z. B. das Internationale Reisforschungsinstitut in Manila auf den Philippinen schon vor einiger Zeit errechnet, daß bei einem fast dreifachen Aufwand für Dünger für den auf hohen Ertrag gezüchteten Reis IR 8 im Vergleich zu der einheimischen Sorte PETA nicht einmal ein doppelter Ertrag erhalten wird. Auf jeden Fall ist festzuhalten, daß diese Hochleistungsorten einen größeren

Düngeraufwand benötigen als die einheimischen. Es fehlen den devisenschwachen Entwicklungsländern die Mittel, die erforderlichen Düngermengen zu beschaffen, geschweige denn, daß die dort vorhandenen Kapazitäten ausreichen, die Düngemittel im eigenen Lande zu produzieren. Außer den höheren Kosten für die Düngemittel treten noch zusätzliche für den größeren Aufwand an Pflanzenschutzmitteln auf, da die ertragsstärkeren Sorten anfälliger gegen Krankheiten sind.

4.2.3. Optimierung der Versorgung mit Wasser

Wenn der Wachstumsfaktor Wasser nicht ausreichend vorhanden ist, müssen geeignete Verfahren für die Versorgung der Pflanze gefunden werden. Die Erstellung und der Betrieb von Bewässerungsanlagen erfordern jedoch Kapital, das nicht immer in ausreichender Menge vorhanden ist. In manchen Fällen treten durch Bewässerung auch Veränderungen der Böden wie z. B. Versalzung ein. Durch die Versalzung der Böden treten Ertragsdepressionen auf. Auf die Probleme der Bewässerungstechnik soll nicht näher eingegangen werden, da nur ein indirekter Zusammenhang mit der Themenstellung besteht.

4.3. Einsatz von Maschinen

Eine weitere und in den Industrieländern schon sehr weitgehend angewandte Maßnahme zur Erhöhung der Flächenproduktion ist der Einsatz von Maschinen zur Vorbereitung des Bodens für ein besseres Pflanzenwachstum, für die Pflege während der Vegetationszeit, für die Einbringung der Ernte und die Verarbeitung des Erntegutes.

Die Bedeutung dieser Maßnahme soll an zwei Bildern kurz erläutert werden.



Abb. 16: Pieter Brueghel d.Ä. Kornernte um 1565

Die Szenen auf einem Bild von Pieter Brueghel d.Ä. mit dem Titel "Kornernte" um das Jahr 1565 zeigt recht anschaulich, wieviel Menschen mit der Getreideernte beschäftigt waren und wie anstrengend diese Tätigkeit gewesen ist.

Vergleichbare Verhältnisse haben wir in einigen Teilen der Entwicklungsländer, in welchen die Mechanisierung noch nicht vorgedrungen ist. Dort sind noch 70 - 80 % der Bevölkerung in der Landwirtschaft beschäftigt.



Abb. 17: Ernte mit dem Mähdrescher

In den Industrieländern fährt dagegen ein Mann im Sitzen steuernd einen Mähdrescher und erntet in kurzer Zeit ein Feld ab, zu dem die Menschen auf dem Bild zuvor einen arbeitsreichen Tag benötigen. Pro Hektar benötigt er etwa 2 Stunden Arbeitszeit.

Durch den Einsatz von Maschinen werden Arbeitskräfte in der Landwirtschaft frei. In den Industrieländer fanden sie Arbeit in den Fabriken, in den Entwicklungsländern wandern sie in die Slums der Großstädte ab, da eine entsprechende Industriekapazität fehlt. Die Beschäftigungslosen fallen damit der Bevölkerung im wahrsten Sinne des Wortes "zur Last". Es wäre daher wahrscheinlich sinnvoll, zunächst mit dem Einsatz von Maschinen in der Landwirtschaft zurückzuhalten und die Menschen zu beschäftigen. Sie verbleiben damit in einem Arbeitsprozeß und sind mit Nahrung versorgt.

Durch Fortbildung und Auswertung der einen oder anderen neuen Erkenntnisse wären die Landwirte in den Entwicklungsländern in den Stand versetzt, über den Eigenbedarf hinaus zu produzieren, um ihre Mitmenschen in den Städten zu ernähren und damit den Industrialisierungsprozeß zu unterstützen. Diesem für die Volkswirtschaft des eigenen Landes so bedeutsamen Lernprozeß müssen sich jedoch viele noch unterziehen.

5. Düngemittelbedarf und Düngemittelproduktion

Problematik im Falle des Nährstoffs "Stickstoff"

Der Höhe der Düngemittelgaben zur Steigerung des Ertrages sind Grenzen gesetzt. Durch Überdüngung wird eine Ertragsdepression bewirkt. Die industrialisierten Länder sind nahe dem Optimum der Ertragsleistung. Die Entwicklungsländer haben bei dem niederen Düngerniveau noch die Chance, durch die Anwendung von Düngemitteln, die den dortigen Bedingungen angepaßt ist, ihre Erträge zu steigern.

Derartige Maßnahmen haben selbstverständlich nur dann einen Erfolg, wenn die Düngemittel den Entwicklungsländern auch zur Verfügung gestellt werden können.

Im Augenblick liegt eine weltweite Düngemittelverknappung vor, die in den Entwicklungsländern zu Hungerkatastrophen führen kann, wenn man sich nicht bald dazu entschließen kann, sich von den Grundsätzen lenken zu lassen, wie sie MESAROVIC^Č und PESTEL (1974) in dem 2. Bericht an den "Club of Rome" dargelegt haben.

Die Gründe für die Verknappung der Düngemittel sind kurz gefaßt folgende:

1. Die Weltbevölkerung steigt rascher an - insbesondere in den Entwicklungsländern - als die Nahrungsmittelproduktion.
2. Da die Anbauflächen auf der Erde begrenzt sind, muß in Zukunft mehr Nahrung pro Flächeneinheit produziert werden. Dies erfordert eine bessere Versorgung der Pflanze mit Nährstoffen.
3. Die Steigerung der Nahrungsmittelproduktion pro Flächeneinheit erfordert den Anbau von stark düngedürftigen Hochleistungssorten.
4. Zur Zeit übersteigt die Nachfrage nach Düngemitteln das Angebot. Die Leistung der Synthesekapazitäten entspricht nicht mehr den Anforderungen.

Die Nachfrage nach Düngemitteln hat deshalb zum Beispiel so stark zugenommen, da in den USA ungefähr 16 Millionen Hektar wieder in landwirtschaftliche Nutzung genommen worden sind, die aus der Produktion im Rahmen der "Soil Bank" herangezogen worden waren. Nach EWELL (1974) reichen die Kapazitäten für die Herstellung von Düngemitteln in den USA nicht mehr aus. Die Vereinigten Staaten wollen diese daher aus Europa importieren.

Tab. 2:

Zukünftige Entwicklung des Welt-Düngemittelmarktes

Weltverbrauch an Düngern in Mio t Nährstoffe				
Erntejahr	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Gesamt
1951/1952 (ohne UdSSR)	4,3	5,7	4,5	14,5
1961/1962 (mit UdSSR)	11,0	10,4	8,7	30,1
1971/1972 (mit UdSSR)	33,5	22,2	17,5	73,2
1974 (geschätzt)				80
Planung für 1980				120

Wie aus der Tabelle 2 hervorgeht, ist der Weltverbrauch an Düngemitteln in den letzten 25 Jahren um mehr als das Fünffache angestiegen.

Zur Zeit werden ungefähr 4 Milliarden Hektar landwirtschaftliche Kulturfläche auf der Welt bearbeitet. Ein Verbrauch von 73,2 Millionen Tonnen an Nährstoffen in der Welt entspricht etwa 20 kg Gesamtnährstoffe pro Hektar. Aus der Anwendung von ungefähr 300 kg Gesamtnährstoffen pro Hektar in Westeuropa geht hervor, daß eine Planung von 120 Millionen Tonnen Gesamtnährstoffe für das Jahr 1980 noch nicht alle Bedürfnisse befriedigen kann.

In diesem Zusammenhang sind einige Anmerkungen zum Energiebedarf in der Landwirtschaft im allgemeinen und für die Herstellung der für wirtschaftliche Erträge erforderlichen Stickstoffdüngemittel im besonderen angebracht.

Tab. 3: Der Verbrauch an Energie von 665×10^{12} kcal in der Landwirtschaft der USA verteilt sich wie folgt:

- 32 % Treibstoffe für Landmaschinen (hauptsächlich Schlepper)
- 23 % Düngemittel
- 20 % Metalle und Maschinen
- 14 % Elektrizität
- 6 % Pesticide und andere Chemikalien
- 2 % Futterstoffe für Tiere
- 3 % andere Zwecke

Chemical and Engineering News, 1974, 23-24.

Energieverbrauch für die Pflanzennährstoffe für die Maisproduktion in den USA in Prozent der Gesamtenergie:

Jahr	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1945	6,4 %	1,1 %	0,6 %
1959	18,2 %	1,3 %	3,2 %
1970	32,5 %	1,6 %	2,3 %

D. Pimentel u. Mitarb. Science, 182, 443-449 (1974)

Man hat in den USA errechnet, daß die Landwirtschaft dieses Landes einen Verbrauch von 665×10^{12} kcal hat, von dem z.B. 32 % für die Treibstoffe, 23 % für die Herstellung der Düngemittel, 20 % für die Metalle und Maschinen, 14 % für die Elektrizität, 6 % für die Pesticide und andere Chemikalien und 2 % für Futterstoffe der Tiere aufgewendet werden müssen.

Der Energieaufwand für den Stickstoff in den Düngemitteln für die Maisproduktion stieg vom Jahre 1945 von 6,4 % auf 32,5 % vom Gesamtenergieverbrauch im Jahre 1970 an. Es ist daher angebracht festzustellen, daß Stickstoffdüngemittel besonders ökonomisch eingesetzt werden müssen.

6. Stickstoffbilanz im System "Boden-Pflanze"

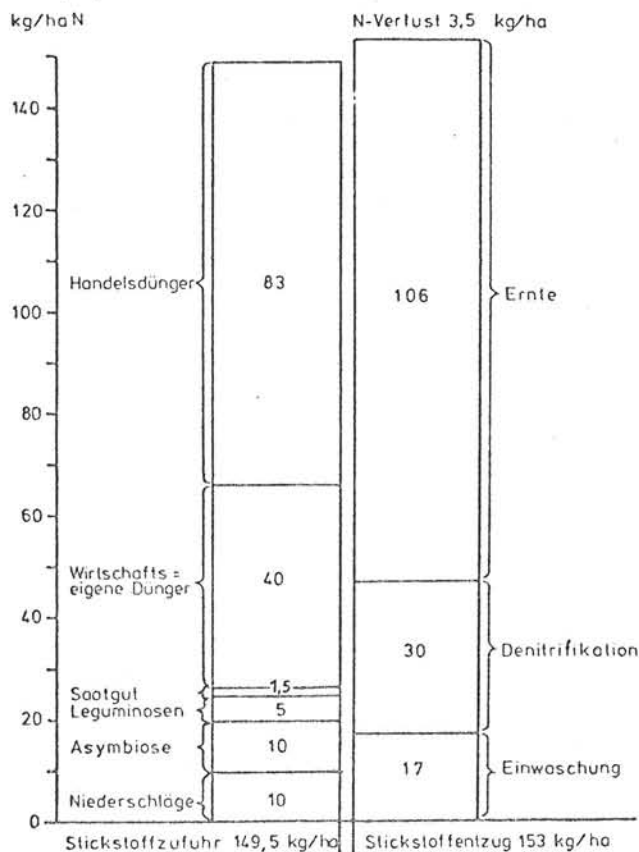
Bedeutung von nachliefernden, organischen Stickstoffquellen für die Höhe des Ertrages.

Am Beispiel der Stickstoffbilanz in der Bundesrepublik soll die Beteiligung der stickstoffhaltigen Mineraldünger einerseits und den Anteilen der stickstoffhaltigen, dem Boden zugeführten organischen Materialien, sowie den der stickstoffhaltigen Anteilen der organischen Bodensubstanzen andererseits an der Bodenproduktivität dargelegt werden.

Nach den Angaben von BUCHNER u. Mitarbeitern (1974) werden der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche in der Bundesrepublik 149,5 kg Stickstoff pro Hektar zugeführt. Die Menge setzt sich zusammen aus 83 kg oder 55 % Handelsdünger. Der Stickstoff in den wirtschaftseigenen Düngern - die Hauptmenge besteht aus Rindermist -, der im Saatgut und der durch Symbiose von Bakterien mit Leguminosen sowie der asymbiotisch gebundene Stickstoff der Luft durch freilebende Bodenorganismen liegt überwiegend in organischer Bindung vor und beträgt 38 % der Gesamtmenge. Rechnet man die 10 kg Stickstoff aus den Niederschlägen zu dem aus den Handelsdüngern hinzu,

Abb. 18:

Stickstoffbilanz BRD 1971 in kg N/ha
Buchner u. Mitarb., 1974)



so beträgt der in Ionenform verabreichte Stickstoff etwa 68 % (Harnstoff wird in diese Berechnung einbezogen, da er durch Urease rasch mineralisiert wird). Je nach den klimatischen Bedingungen wird der organisch gebundene Stickstoff durch die Aktivität der Bodenmikroorganismen als Ionen pflanzenverfügbar und somit während der Vegetationszeit für die Ernährung der Pflanze angeliefert. Die Pflanze nimmt Stickstoff fast ausschließlich nur in Ionenform auf.

Die mittlere jährliche Stickstoffbilanz ist ziemlich ausgeglichen. Auf die leicht negative Tendenz kann hier nicht eingegangen werden. Die gasförmigen Verluste durch Denitrifikation und durch die Einwaschung durch die Niederschläge in tiefere Schichten des Bodens bis in das Grundwasser betragen 30 % des Gesamtentzuges.

Zu hohe Konzentrationen an stickstoffhaltigen Ionen im Boden müssen vermieden werden, da sie das Pflanzenwachstum schädigen. Die für hohe Erträge erforderlichen Mengen der als Salze vorliegenden Handelsdünger können nur in mehrfach unterteilten Gaben verabreicht werden. Diese Maßnahme ist kostenaufwendig.

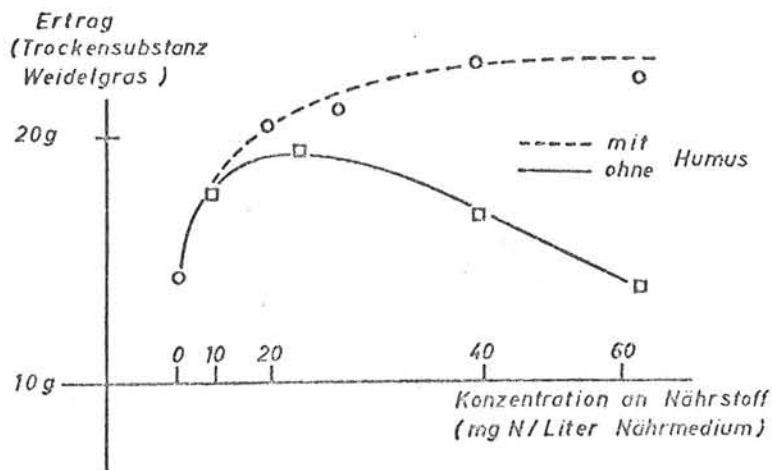
Nach vielen Untersuchungen (z.B. MITSCHERLICH 1948) wäre diejenige Stickstoffquelle am wirksamsten für die Ertragsbildung, die den Pflanzen den Stickstoff zu dem Zeitpunkt für ihr Wachstum zur Verfügung stellt, zu dem sie ihn in den unterschiedlichen Bedarfszeiten benötigt. Eine solche Stickstoffquelle läßt sich für die verschiedenen Pflanzen mit ihren unterschiedlichen Wachstumszeiten und ihrem unterschiedlichen Bedarf technisch nicht vollständig verwirklichen. Es gibt nur Annäherungslösungen. Zu solchen gehören einmal die unter den Begriffen "Wirtschaftseigene Dünger bis Asymbiose" zusammengefaßten Mengen an organisch gebundenem Stickstoff und zum anderen der in der organischen Bodensubstanz gebundene Stickstoff.

Der Gesamtstickstoff im Boden liegt zu über 95 % organisch gebunden vor und der Gehalt in den gemäßigten Klimazonen beträgt je nach den vorliegenden Bedingungen etwa zwischen 1000 und 5000 kg/ha. Auf jeden Fall ist die Menge an organisch gebundenem Stickstoff in den tropischen, subtropischen und semiariden Gebieten sehr viel kleiner als in den Böden der gemäßigten Klimazone.

Die Bedeutung des organisch gebundenen Stickstoffs im Boden für die Ertragsbildung geht aus Versuchen mit dem schweren Stickstoffisotop-15 hervor. Der Gesamtstickstoffgehalt der Pflanze stammt nur zu 50 bis 60 % aus dem Handelsdünger, den restlichen Bedarf deckt die Pflanze aus den Stickstoffvorräten des Bodens.

Außer der Funktion als Lieferant für den Nährstoff Stickstoff bewirkt die organische Bodensubstanz noch andere Effekte, die nachgewiesenermaßen durch niedermolekulare Anteile hervorgerufen werden und welche die Ertragsbildung günstig beeinflussen können.

Abb. 19: Einfluß von Stoffen aus dem Humus auf den Ertrag bei Überdosierung von anorganischen Stickstoffsalzen: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ nach CHAMINADE, 1965



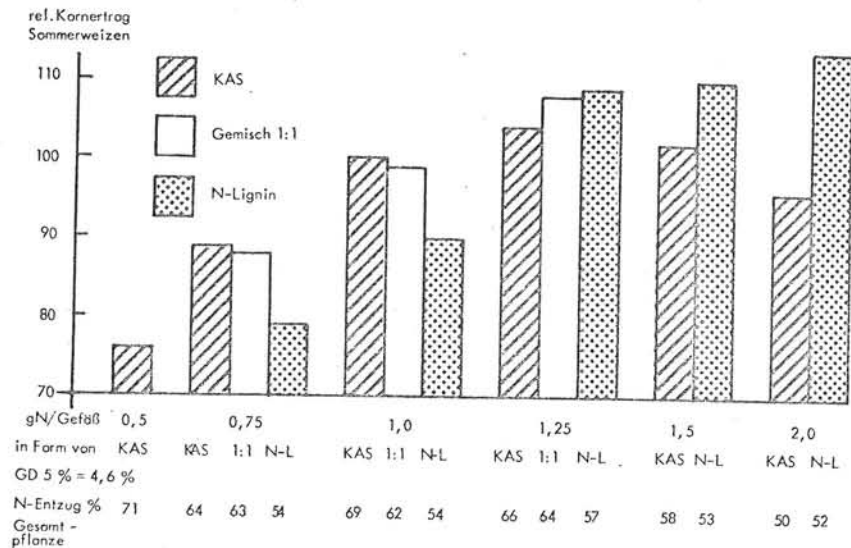
So läßt sich unter definierten Versuchsbedingungen in Nährlösungskulturen zeigen, daß hohe Stickstoffgaben in Form von Ammoniumsulfat in Gegenwart von Humusstoffen noch ertragswirksam sind, während in Abwesenheit dieser Stoff beträchtliche Ertragsdepressionen auftreten. Besonders überzeugende Versuche in dieser Art in der Praxis sind auf tropischen Böden durchgeführt worden.

Die Versuche beweisen, daß die organische Bodensubstanz zu einer besseren Ausnutzung der mit den Handelsdüngern verabreichten Stickstoffsalze beiträgt.

Man hat auch versucht, nachliefernde organische Stickstoffdünger zu synthetisieren. Als ein Beispiel für derartige technische Produkte wird die Synthese eines nachliefernden organischen Stickstoffdüngers durch den Umsatz von Abläugen der Zellstoffindustrie mit Ammoniak und Sauerstoff bei erhöhter Temperatur und unter Druck hingewiesen. Das Präparat mit der Bezeichnung "N-Lignin" hat einen Stickstoffgehalt von 18 - 20 %. Von dem Gesamtstickstoff liegen 60 % in unterschiedlicher organischer Bindung vor (FLAIG und SÖCHTIG 1974).

Die Wirkung auf die Ertragsbildung wird in der Abbildung 20 aufgeführt (SÖCHTIG u. FLAIG 1974).

Abb. 20: Düngewirkung von N-Lignin aus NH_4 -bisulfitablaugen (Fichte) im Vergleich zu Kalkammonsalpeter (KAS) und Gemische 1:1 (Gefäßversuche mit Schwarzerde; Sommerweizen; rel. Korntrag)



Die Düngewirkung von "N-Lignin" ist in einem Gefäßversuch mit Pseudogley-Schwarzerde aus dem Raum Hildesheim bei Sommerweizen überprüft worden.

Bei diesem Versuch wird die Düngung mit Kalkammonsalpeter mit der von "N-Lignin" und einem Gemisch von Kalkammonsalpeter mit "N-Lignin" im Verhältnis 1:1 verglichen. Es sind gesteigerte Gaben von 0,75 bis 2 g Stickstoff pro Gefäß gegeben worden.

Die Düngung mit Phosphat und Kalium war bei allen Varianten gleich.

Der relative Ertrag mit 1 g Stickstoff aus Kalkammonsalpeter pro Gefäß ist gleich 100 gesetzt worden. Mit der Steigerung der Düngung von Kalkammonsalpeter steigt der Ertrag zunächst an und fällt bei 2 g Stickstoff pro Gefäß durch Überdüngung wieder ab. Bei der Düngung mit "N-Lignin" hingegen haben 2 g Stickstoff pro Gefäß noch eine Ertragssteigerung bewirkt, die über der anorganischen Düngung mit Kalkammonsalpeter liegt.

Bei einer Düngung mit 1,25g von einer Mischung aus Kalkammonsalpeter und "N-Lignin" im Verhältnis 1:1 liegt der Ertrag über dem der anorganischen Düngung und ist nahezu gleich dem mit "N-Lignin".

Diese Versuche mit den Mischungen aus Mineraldüngern mit "N-Lignin" sind vor allem für die praktische Anwendung insofern interessant, als auch sie eine günstige Wirkung auf die Ertragsbildung ausüben können. Dieser Befund konnte ebenfalls in Freilandversuchen in verschiedenen Jahren mehrfach bestätigt werden.

Der Stickstoffentzug der Pflanze ist bei der anorganischen Düngung etwas höher als bei der mit "N-Lignin" und dem Düngergemisch. Die Stickstoffentzüge zeigen jedoch keine so großen Unterschiede, daß die Ertragsdifferenzen ausschließlich mit der Stickstoffernährung erklärt werden können.

Die Einwirkungsmöglichkeiten von "N-Lignin" auf die Ertragsbildung können sein, daß

1. eine gleichmäßigere Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff im Falle von "N-Lignin" erfolgte, und/oder
2. organische Bestandteile des Düngemittels bei der Ertragsbildung mitgewirkt haben.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß langsam wirkende synthetisch-organische Stickstoffdünger folgende wesentliche Vorzüge bieten (JÜRGENS-GSCHWIND 1974):

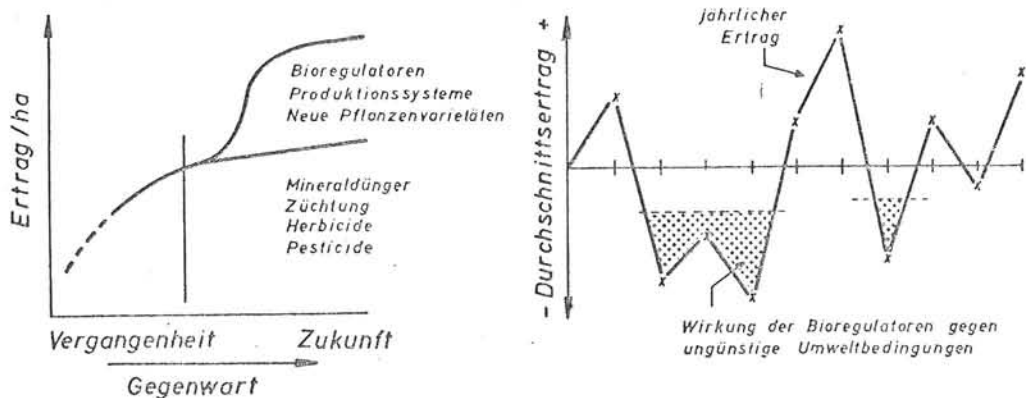
1. Sie vermindern den Arbeitsaufwand für die Düngung, da für das Ausbringen einer bestimmten N-Gabe weniger Streugänge nötig sind als bei Mineralsalzen.
2. Sie reduzieren, bedingt durch ihre allmähliche, entzugsgerechte N-Anlieferung, die Nährstoffeinwaschung in den Boden.
3. Sie halten infolge langsamer Löslichkeit die Salzkonzentration in der Bodenlösung niedrig und vermindern damit das Schadensrisiko für die Pflanzenproduktion.

4. Sie sorgen für einen gleichmäßigen Nährstofffluß in der Pflanze als in mehreren Gaben gestreute leichtlösliche Dünger, bei denen zwangsläufig relativer N-Überschuß und N-Mangel wechseln.

7. Milderung der Ernährungs- und Umweltkrise durch Nutzung des Erkenntnisstandes

Die bisherigen Maßnahmen als Folge der erweiterten Erkenntnisse zur Steigerung des Ertragspotentials führen im Rahmen des Problems "Boden und Ernährungs- und Umweltkrise" zu folgenden Feststellungen:

Abb. 21: Ertragshöhe der pflanzlichen Produktion in der Gegenwart und in der Zukunft.
Die Bedeutung der Bioregulatoren



Die beachtlichen Ertragssteigerungen pro Hektar von der Vergangenheit bis in die Gegenwart sind erfolgt durch

- Anwendung von Mineraldüngern
- Züchtung von Hochleistungssorten
- Durchführung des Pflanzenschutzes
- und
- Anwendung von Maschinen für die Bodenbearbeitung und bei der Ernte.

Die industrialisierten Länder haben eine Ertragshöhe erreicht, die durch diese Maßnahmen in der Zukunft wirtschaftlich nicht spektakulär noch gesteigert werden kann. Die Prinzipien die-

ser Maßnahmen sind bekannt und werden auch angewandt; sie weisen auf keine neuen Wege für eine zusätzliche Steigerung des Flächenertrages hin; trotzdem können durch diese Maßnahmen noch Verbesserungen erwartet werden.

In den Entwicklungsländern wird noch viele Jahre ein Mangel an Handelsdüngern herrschen, um die sich dort für den Welt-durchschnitt vermehrende Bevölkerung entsprechend zu ernähren. Die Situation für die Beschaffung von Handelsdüngern verschärft sich zunehmend. Zur Steigerung der Erträge und zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit müssen neue Wege beschritten werden:

Man sucht nach neuen Pflanzenvarietäten, so z.B. auch Hülsenfrüchte, um insbesondere die Proteinlücke in der Welternährung zu decken.

Neue Produktionssysteme werden auf ihre Anwendung in der Praxis überprüft. Jedoch läßt sich z.B. mit Hydroponik kein Brotgetreide erzeugen, da diese Maßnahme unwirtschaftlich ist. Auch die biotechnische Produktion von Nahrungs- und Futterstoffen kann nicht alle Hoffnungen erfüllen.

Mit dem Einsatz von Bioregulatoren zur Minderung von Ertragsdepressionen bei ungünstigen Umweltverhältnissen hat man schon begonnen. So verkürzt z.B. die Behandlung von Weizen von CCC (Cycocel) die Halmlänge und erhöht die Standfestigkeit, so daß bei ungünstigen Witterungsbedingungen kein Lagern des Getreides eintritt. Diese Vorsorgemaßnahme wird jedes Jahr angewandt, um Ertragsdepressionen durch nicht vorauszusehende, ungünstige Witterungseinflüsse zu mildern.

Für die Wirtschaftlichkeit der pflanzlichen Produktion und für die Ernährung der Bevölkerung ist es von großer Bedeutung, daß die Hektarerträge von ungünstigen Umweltbedingungen möglichst unabhängig gemacht werden können. Nur auf diese Weise können das genetische Potential der Hochleistungssorten und die Nährstoffe aus den Handelsdüngern optimal ausgeschöpft werden.

Die Wirkung der Bioregulatoren zur Vermeidung von zu hohen Ertragsdepressionen unter einem mehrjährigen Durchschnitt (linke Seite der Abb. 21) hat durch die Minderung des Ertragsrisikos auch einen günstigen Einfluß auf die Einkommensverhältnisse des Landwirtes. Die Stabilisierung der Nahrungsmittelproduktion ist ferner ein wichtiger Faktor der Politik.

In den Ausführung ist mehrfach auf bioregulatorische Eigenschaften von Bestandteilen der organischen Bodensubstanz hingewiesen worden (FLAIG u. SÖCHTIG 1973). Auch die "natürlichen" und die "synthetischen, nachliefernden" organischen Stickstoffquellen sind zu diesen hinzuzurechnen.

Hierzu gehört auch ein entsprechender Gehalt des Bodens an organischer Substanz, der durch den Menschen auf einer durch die Dynamik der Auf- und Abbauprozesse bedingten Höhe gehalten werden muß.

Außerdem sind Substanzen bekannt, welche die Dürre- oder Frostresistenz erhöhen. An verschiedenen Forschungsstätten beschäftigt man sich mit der Wirkung von Verbindungen aus der organischen Bodensubstanz auf die Widerstandsfähigkeit der Pflanze gegen Krankheitsbefall.

Es ist nur eine Frage der Wirtschaftlichkeit, in welchem Umfange und bei welchen Gelegenheiten "Bioregulatoren" für die pflanzliche Produktion eingesetzt werden können und sollen.

Für das dargestellte Problem muß möglichst bald eine praktikable Lösung gefunden werden, die auch bei unzureichenden Versorgungsmöglichkeiten mit Handelsdüngern in einigen Regionen (MESAROVIC u. PESTEL, 1974) auf der Welt die Situation für die Beschaffung von Nahrungsmitteln verbessert. Ein möglicher Weg wird in der Recyklierung der in Abfallstoffen vorhandenen Nährstoffe gesehen.

Die ersten Schritte in dieser Richtung sind auf weltweiter Basis schon unternommen worden. Die Landwirtschaftsorgani-

geschlossen werden. Er ist nicht nur Nährstofflieferant, sondern trägt auch zur Optimierung der Ausnutzung der Nährstoffe, zu der natürlichen Produktivität der Böden über den Gehalt an organischer Substanz und damit schließlich auch zur besseren Verwertung der verabreichten Mineraldünger bei. Die Recyklierung von Reststoffen ist für die Entwicklungsländer eine Möglichkeit, ihre Eigenproduktion an Nahrungsmitteln zu erhöhen.

Die Lieferung von Nahrungsmitteln von einem Land an das andere ist bei Funktionieren des Nährstoffkreislaufs gleichbedeutend mit einer Düngung der Felder des Empfängers, da die Rückführung der als Nahrung nicht verwertbaren Anteile mit ihrem Gehalt an Nährstoffen und an organischer Substanz in den Stoffkreislauf des eigenen Bodens auch eine Verbesserung der Situation der Nahrungsmittelproduktion bedeutet.

8. Zusammenfassung

1. Die Ernährungssituation für die Welt kann nur dann einigermaßen erträglich werden, wenn die Zunahme der Weltbevölkerung nicht mehr in dem bisherigen Ausmaße erfolgt. Dies betrifft insbesondere diejenigen Regionen, in denen heute schon eine Mangelsituation herrscht. Der Begriff Region soll im Sinne von MESAROVIC und PESTEL (1974) verstanden sein.
2. Der im Augenblick wirksamste Beitrag zur Verbesserung der Welternährungssituation ist die Erhöhung des Flächenertrags der Böden. Hierzu müssen alle Vorkehrungen getroffen werden, welche das Produktionspotential der Böden zumindest erhalten und die Ausnutzung der verabreichten Düngemittel verbessert.
Die ertragsstabilisierenden Effekte der organischen Bodensubstanz sind in ihren kausalen Zusammenhängen noch nicht voll erkannt. Es kann jedoch heute schon festgestellt werden, daß die Effekte im Zusammenwirken mit einer ausreichenden Mineraldüngung noch wesentliche Beiträge zur Ernährung der Weltbevölkerung liefern können.
3. Die zunächst dringlichste Maßnahme ist die Recyklierung von nährstoffhaltigen Abfallstoffen aus der Landwirtschaft und den Siedlungen in den Nährstoffkreislauf vorzunehmen, um die unzureichende Situation der Düngemittelanlieferung nach Möglichkeit zu kompensieren. Zur Durchführung der Maßnahmen muß die jeweilige Verwaltung mit straffer Organisation auf dem Wege der Gesetzgebung regional eingreifen. Für die Recyklierung bieten sich zunächst die Abfallstoffe in der Landwirtschaft an, deren Stickstoffgehalt höher und die Zusammensetzung an anorganischen und organischen Stoffen zur Funktion der organischen Bodensubstanz geeigneter sind als die aus Siedlungsabfällen. Investitionen und Betriebskosten sind im ersteren Falle auch geringer. Diese Maßnahmen besitzen eine weltweite Bedeutung und sollten daher die besondere Unterstützung nationaler und internationaler Organisationen finden.
4. Die pflanzliche Produktion über den Boden ist die wichtigste Existenzgrundlage der Weltbevölkerung und wird sie auch lange noch bleiben.

Literatur:

- BEUTELSPACHER, H.: Wechselwirkung zwischen anorganischen und organischen Kolloiden des Bodens. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkunde 69, 108-115 (1955)
- BEUTELSPACHER, H. und H.W. van der MAREL: Atlas der Elektronenmikroskopie der Tonminerale und ihrer Beimengungen. Elsevier Publ. Comp., Amsterdam, S. 333 (1968)
- BML, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Statistische Monatsberichte (1973)
- BUCHNER, A. und H. STURM: Theoretische N-Bilanz bei ausgewählten Kulturen, Fruchtfolgen und Gebieten. Landwirtsch. Forsch. Sonderh. 30/II, 78-92 (1974)
- CHAMINADE, M.: Action des constituants de la matière organique des sols sur le métabolisme des plantes la croissance et le rendement. - Compt. Rendus Hebdomadaires des Seances 17, 1139-1145 (1965)
- EVELL, R.: NPK-Hope of the world. Farm Chemicals 6, 17-24 (1974)
- FAO/SIDA Soils Bulletin 27, 393 Seiten (1975)
- FISCHNICH, O.: Versorgung der Welt mit Nahrung bis zum Jahre 2000. In: "Menschen im Jahre 2000". Hrsg. v. Robert Jungk, Umschau-Verlag, Frankfurt, 257-274 (1968)
- FLAIG, W. und H. SÖCHTIG: Wirkung organischer Bodensubstanzen und Ertragssicherung. Landbauforschung Völkerröde, 23, 19-28 (1973)
- FLAIG, W. und H. SÖCHTIG: Herstellung und Wirkung eines organischen Stickstoffdüngers aus den Sulfitablaugen der Zellstoffindustrie. Landw. Forschung Sonderheft 30/II, 17-24 (1974)
- FLAIG, W. und H. SÖCHTIG: Ein Beitrag zur umweltfreundlichen Technik durch Verwertung der Sulfitablaugen der Zellstoffindustrie als organischer Stickstoffdünger. Neht. J. agric. Sci. 22, 255-261 (1974)
- JÜRGENS-GSCHWIND, S.: Langsamwirkende Stickstoffdünger - ihre Eigenschaften und Vorteile BSAF, Mitteil. für den Landbau Heft 4, 66 Seiten (1974)
- LIETH, H.: Basis und Grenze für die Menschheitsentwicklung: Stoffproduktion der Pflanzen. Umschau 6, 169-174 (1974)

- MATZKE, O.: Die Welternährungslage heute und morgen.
Neue Züricher Zeitung Nr. 309, 37-38 (1974)
- MESAROVIC, M. und E. PESTEL: Menschheit am Wendepunkt. In:
2. Bericht an den Club of Rome zur Weltlage,
Deutsche Verlags-Anstalt mbH, Stuttgart, 184
Seiten (1974)
- MITSCHERLICH, E.A.: An der Grenze der Ertragssteigerung.
Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 40,
193-200 (1948)
- PIMENTEL, D. et al.: Food Production and the Energy Crisis.
Science 182, 443-445 (1973)
- SCHROEDER, D.: Bodenkunde in Stichworten. Verlag Ferdinand
Hirt, Kiel, 144 Seiten (1969)
- SINGH, A.: Use of organic materials and green manures as
fertilizers in developing countries.
FAO/SIDA, Soils Bulletin 27, 19-30 (1975)