

Auswirkungen der Pflanzenernährung auf Qualität pflanzlicher Erzeugnisse und Umwelt

Von Prof. Dr. A. Amberger, Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TU München-Weihenstephan

I. Pflanzennährstoffe

Die Pflanze ist bekanntlich in der Lage, über ein hochkompliziertes lichtempfindliches System die Sonnenenergie direkt auszunutzen, aus Kohlendioxid und Wasser Kohlenhydrate aufzubauen, und davon ausgehend wiederum viele andere Stoffe, die letztlich uns Menschen bzw. den Tieren als Nahrung dienen.

An diesem Aufbauprozess sind die Mineralstoffe als Pflanzennährstoffe unumgänglich beteiligt, dadurch, daß sie entweder selbst als wesentliche Bestandteile in neugebildete Strukturen und Produkte eingehen (wie Stickstoff, Schwefel, Phosphor usw. (wir sprechen daher von „Strukturelementen“) oder aber günstige Reaktionsbedingungen für physiologische Vorgänge in der Zelle schaffen bzw. ganz bestimmte Synthesvorgänge katalysieren wie K, Mg, Mn usw. (wir sprechen demzufolge von „Funktionselementen“). Neben anderen Faktoren (vor allem Klima, Sorte, Anbautechnik usw.) wird die Entwicklung der Pflanzen und damit die Produktion von Substanz bzw. Inhaltsstoffen entscheidend bestimmt durch die Menge an Pflanzennährstoffen, die in den verschiedenen Entwicklungsabschnitten zur Verfügung stehen bzw. angeboten werden.

Unter Humus verstehen wir abgestorbene bzw. in der Verrottung befindliche Abfallstoffe der pflanzlichen und tierischen Produktion oder auch der Wohnsiedlungen des Menschen, die dem Boden zugeführt werden in der Absicht, die Bodenstruktur zu verbessern (Durchlüftung, Wasserführung usw.) oder den Umsatz an organischer Substanz durch Bodentiere und Mikroorganismen zu erhöhen, dadurch, daß ihnen Nahrung

zugeführt wird (denn sie leben ja von diesen Stoffen!).

Unter künstlichen Bedingungen ist Humus für ein optimales Pflanzenwachstum nicht notwendig, wie durch Hydrokulturen sehr leicht zu beweisen ist; unter natürlichen Bedingungen aber, dort also, wo der Boden die Grundlage der Pflanzenproduktion darstellt, bringt die Zufuhr von Humus zum Boden um so größere Wachstumsverbesserungen, je ungünstiger die Ausgangsbedingungen sind. Das Ergebnis aller das Pflanzenwachstum beeinflussenden Faktoren des Bodens, wie Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen, Humusumsatz, Mikroorganismen-tätigkeit, Struktur, Durchlüftung, Wasserführung usw., bezeichnen wir als Bodenfruchtbarkeit, und diese ist in hohem Maße standortabhängig.

Verbleiben wir noch einen Augenblick bei den Mineralstoffen (also den Pflanzennährstoffen):

Diese gelangen in die Bodenlösung als Ergebnis einer ständigen Verwitterung der Gesteine und Minerale sowie einer laufenden Verrottung (= Mineralisierung) der org. Substanz. Dieser natürliche Fluß an Mineralstoffen bestimmte früher die Ertragsfähigkeit der Böden entscheidend. Nachdem aber die Weltbevölkerung ständig zunimmt und damit der Austrag an Mineralstoffen aus dem landwirtschaftlich genutzten Boden immer größer wird, setzte schon vor mehr als 100 Jahren eine verantwortungsbewußte Forschungstätigkeit ein mit dem Ziel, die Produktion an pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln zu erhöhen durch eine möglichst optimale Versorgung der Kulturpflanzen mit Nährstoffen. Solche Mineralstoffe sind aber nur an wenigen Stellen

der Welt in der Erdkruste in abbauwürdigen Mengen angehäuft (z. B. Kali- und Phosphatlagerstätten) oder sie fallen als Nebenprodukt verschiedener Technologien an (z. B. Aufbereitung der Eisenerze). Der sehr reaktionsträge Stickstoff muß aus dem riesigen Reservoir der atmosphärischen Luft entnommen und in Salzform überführt werden, da nur wenige Mikroorganismenarten (nicht aber die Pflanzen!) zur direkten Ausnutzung des Luftstickstoffs befähigt sind. Namen wie CARL SPRENGEL, J. v. LIEBIG, FRITZ HABER, CARL BOSCH und viele andere sind in diesem Zusammenhang wohlbekannt und eindrucksvolle Beispiele für die Leistungen der Chemie bzw. Agrikulturchemie.

Nun ist aber der Transport solcher Rohstoffe in unserem hoch technisierten Zeitalter schon über kürzere Entfernungen hinweg oft teurer als die Stoffe selbst; sie müssen daher vorher zwangsläufig aufbereitet, gereinigt und konzentriert werden; das und nichts anderes sind unsere heutigen Mineraldünger, Naturprodukte also im wahrsten Sinne des Wortes. Die in den Düngemitteln enthaltenen Mineralstoffe unterscheiden sich chemisch gesehen in nichts von den durch natürliche Verwitterung freierwerdenden Mineralstoffen des Bodens. Der einzige Unterschied ist der, daß Mineraldünger hochkonzentriert (20 bis 60% Pflanzennährstoffe je nach Düngemittel) und damit rasch wirksam sind, während der Gehalt des Bodens an pflanzenverfügbaren Mineralstoffen in der Regel sehr niedrig ist.

Der Einsatz von Mineraldüngern in der Landwirtschaft im Sinne der Erhöhung der Pflanzenproduktion ist praktisch in beliebigem Umfang möglich; die entsprechenden Sachkenntnisse, das „know-how“ also, werden dem Landwirt durch fachliche Ausbildung bzw. Beratung vermittelt. Damit ergeben sich große Möglichkeiten, dem Hunger zu begegnen, der auch heute noch in weiten Teilen der Welt herrscht. Die Welt-

bevölkerung zählt heute etwa 3,7 Mrd. und wird im Jahre 2000 nach Schätzungen 7—8 Mrd. erreichen.

Welches praktikable (nicht theoretische!) Alternativkonzept, so möchte ich fragen — haben die Kritiker einer sachgemäßen Mineraldüngung dagegen anzubieten, um diese Menschenlawine zu ernähren?

II. Ziel und Wirkung der Mineraldüngung

Das Ziel der modernen Mineraldüngung ist es, die Erträge der landwirtschaftlichen Kulturen zu erhöhen und die Qualität der erzeugten Produkte zu verbessern.

1. Steigerung der Erträge

Unsere heutigen Hochzuchtsorten sind um ein Vielfaches leistungsfähiger als die früheren Landsorten; durch optimale Ernährung, kombiniert mit modernen ackerbaulichen und phytosanitären Maßnahmen wurden in den letzten 50 Jahren enorme Ertragssteigerungen erreicht (Fig. 1).

Optimale Ernährung beinhaltet eine Versorgung der Pflanze entsprechend dem jeweiligen Mineralstoffbedarf in den verschiedenen Wachstumsabschnitten z. B. der Ährchenanlage beim 3. bis 4. Blatt des Weizens, der Bestockungsphase, der sogenannten Reduktionsphase (d. h. wie viele Ährchen tatsächlich ausgebildet werden) und schließlich der Kornfüllungsphase. Es ist unschwer einzusehen, daß ein derart spezifischer Bedarf weder durch natürliche Verwitterung der Bodenminerale noch durch Abfallstoffe der pflanzlichen bzw. tierischen Produktion oder der Wohnsiedlungen sichergestellt werden kann.

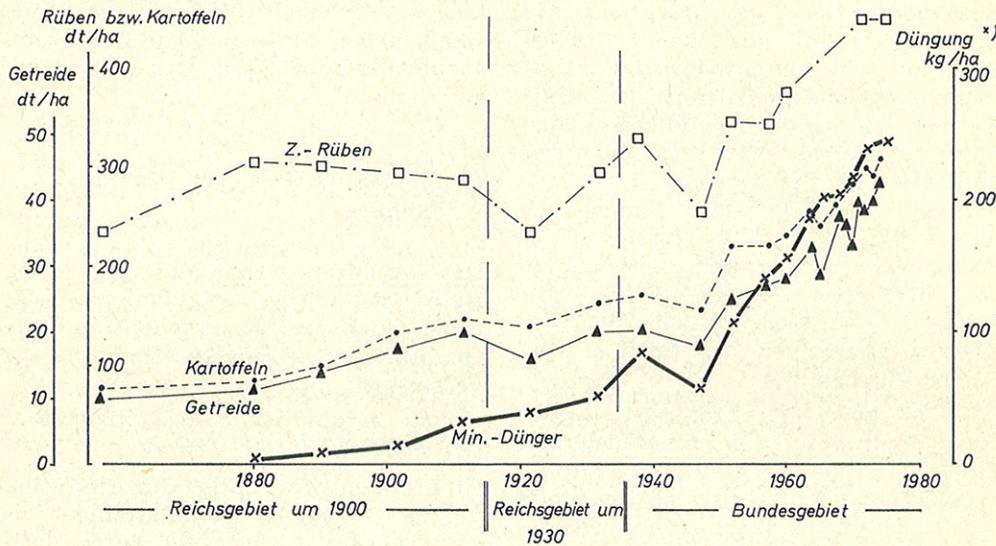
2. Verbesserung der Qualität

Die Qualität der pflanzlichen Produkte ist nun kein einheitlich feststehender Begriff, sondern sie wird bestimmt

Figur 1:

Mineraldünger Aufwand und Erträge

(nach Jürgens - Gschwind bzw. Kreisstatistik)

*) = Summe $N + P_2O_5 + K_2O$

durch den Gehalt an Inhaltsstoffen entsprechend dem jeweiligen Verwendungszweck, d. h.: dienen diese unmittelbar der menschlichen oder tierischen Ernährung oder sind sie für eine ganz bestimmte technologische Weiterverarbeitung vorgesehen.

Demzufolge sprechen wir vom „Nahrungswert“, „Futterwert“ oder von einem „technologischen Wert“; demzufolge gibt es also verschiedene Qualitätskriterien für ein und das gleiche pflanzliche Produkt.

Die wesentlichsten Inhaltsstoffe der Kartoffel sind z. B. Stärke, Eiweiß, Vitamin C und Mineralstoffe. Der hohe Nahrungswert der Kartoffel liegt vor allem in ihrem Gehalt an biologisch hochwertigem Eiweiß, an Vitamin C und Mineralstoffen (wichtig für den Elektrolythaushalt des Körpers) sowie in einem hohen Stärkegehalt (Energie-träger). Letzterer ist für unsere heutige Ernährungsweise allerdings weniger

wichtig, denn wir nehmen häufig zu viel, selten zu wenig Nahrung zu uns.

Dient dagegen die Kartoffel der Branntweinerzeugung, dann ist der Stärkegehalt das alleinige Qualitätskriterium. Ein hoher Stärke- und Eiweißgehalt ist aber wichtig in der Fütterung („Futterwert“); der Vitamin-C-Gehalt interessiert in diesem Zusammenhang überhaupt nicht. Wird aber die Kartoffel zur Herstellung von sogenannten „Veredelungsprodukten“ verwendet, wie Chips, Pommes frites usw., dann ist allein der Gehalt an Zuckern und freien Aminosäuren von Bedeutung, weil diese maßgeblich die Bräunung (Maillard Reaktion) und damit die Farbe und den Geschmack dieser Produkte bestimmen.

Entscheidend für die jeweils verschiedenen zu beurteilende Qualität ist also immer der Gehalt an spezifischen, wertbestimmenden Inhaltsstoffen.

Geht man davon aus, daß die ver-

schiedenen Kulturpflanzen eben nur unter gewissen Klimabedingungen gedeihen können, dann ist die Qualität der pflanzlichen Produkte in erster Linie das Ergebnis einer systematischen Auslese bzw. Züchtung von Sorten mit einem hohen Gehalt an erwünschten Inhaltsstoffen. Das Muster, nachdem diese Pflanzeninhaltsstoffe gebildet werden, entspricht einem genetisch festgelegten Bauplan. Dieser kann durch die Umwelt nicht grundsätzlich verändert werden, wohl aber kann das Verhältnis der vorprogrammierten Stoffe bzw. Stoffgruppen zueinander in beschränktem Umfang beeinflusst werden. Mit anderen Worten, eine Zuckerrübe kann durch äußeren Einfluß, z. B. Düngung, nie dazu veranlaßt werden, anstelle von Zucker nunmehr Stärke oder Alkaloide (z. B. Nikotin) in die Wurzel einzulagern. Aus einer Nutzpflanze kann also durch Düngung — und wäre sie noch so unsinnig hinsichtlich Menge, Form oder Applikationszeitpunkt — niemals eine Giftpflanze mit gesundheitsschädlichen Inhaltsstoffen werden. Man begegnet aber nicht selten der reichlich naiven Vorstellung, die Pflanze lebe und produziere Inhaltsstoffe in Blättern, Körnern, Knollen oder Rüben einzig und allein, um uns Menschen gütlich zu ernähren. Der Lebenszweck der Pflanze wie der eines

jeden Lebewesens ist ausschließlich der, sich fortzupflanzen und die Art zu erhalten. Der Mensch hat aber die Möglichkeit, sich besonders nährstoffreiche oder wohlschmeckende, ihm zuträgliche Pflanzen für seine Ernährung auszuwählen.

Die großen Möglichkeiten der Mineraldüngung liegen darin, entsprechend den spezifischen Funktionen der Mineralstoffe im pflanzlichen Stoffwechsel, die Bildung bestimmter im Produktionsprogramm vorgesehener Inhaltsstoffe zu fördern und auf diese Weise die Qualität der Produkte zu verbessern.

Ein Beispiel dafür ist die vermehrte Bildung und Einlagerung von Eiweiß in das Getreidekorn während der sogenannten Kornfüllungsphase durch eine „gezielte Spätdüngung“ (am Ende der vegetativen Phase). Auf diese Weise kann der Eiweißgehalt des Kornes auf Kosten der Stärke um 2% und mehr erhöht werden, die Menge an produziertem Eiweiß/ha nimmt auf diese Weise um knapp 20% zu (Tab. 1). Die Getreidearten decken aber immerhin 50% der gesamten Proteinzufuhr der Erdbevölkerung und etwa 20% des Proteinbedarfes in der Bundesrepublik Deutschland.

Die durch Spätdüngung besonders geförderten Eiweißfraktionen verbessern vornehmlich die Mehl- und Backquali-

Tabelle 1:

Wirkung der N-Spätdüngung auf Ertrag und Qualität von Weizen

Düngung	Ertrag dt / ha	Eiweißgehalt %	Eiweißertrag dt / ha
PK + 140 kg N	49.8	13.8	6.9
Spätdüngung			
+ 40 N	52.1	14.5	7.6
+ 80 N	54.0	15.3	8.3

tät, zunächst also den technologischen Wert, darüber hinaus aber auch die Verdaulichkeit und somit den Nahrungswert sehr wesentlich. Der Umstand, daß dieses eiweißreichere Mehl nicht die gleiche Menge an sogenannten essentiellen Aminosäuren wie Lysin, Methionin usw. enthält, macht eine Ergänzung der Nahrung mit höherwertigem Leguminoseiweiß oder tierischem Eiweiß notwendig. Aus der jeweiligen Zusammensetzung der pflanzlichen Produkte ergeben sich also ernährungsphysiologische Konsequenzen, weshalb gute Kenntnisse über die Art und Menge der Inhaltsstoffe in Nahrungsmitteln zu den Grundlagen der Ernährungslehre gehören.

Die vom Landwirt erzeugte Qualität der pflanzlichen Produkte ist aber nicht gleichbedeutend mit dem Nahrungswert des fertigen Gerichtes auf dem Tisch; denn zwischen der Produktion auf dem Feld und dem Verzehr am Tisch liegt ein langer Weg, auf dem die Qualität der Erzeugnisse sehr wesentlich beeinträchtigt werden kann.

Dafür nur einige Stichworte:

ungünstige Lagerbedingungen (Temperatur!) für Kartoffeln oder Gemüse;

eine besonders verlustreiche Ausmahlung des Getreides zu sehr hellem Mehl, wobei gerade das ernährungsphysiologisch hochwertige Eiweiß dicht unter der Schale des Kornes verloren geht (Vollkornbrot — Weißbrot!);

die Zubereitung des Gemüses in der Küche (Kochen oder Dämpfen!), was vor allem für den Vitamin- und Mineralstoffgehalt von Bedeutung ist usw.

Durch Stickstoffdüngung zu Blattgemüse kann der Gehalt an biologisch hochwertigem Blatteiweiß erhöht werden; durch sehr hohe N-Gaben werden zwar weiterhin Aminosäuren gebildet, die Eiweißproduktion steigt aber nicht in gleichem Maße an. Vom ernährungsphysiologischen Standpunkt aus bestehen dagegen keine grundsätzlichen Bedenken, allerdings kann auf diese Weise die Anfälligkeit der Pflanzen

gegen Schädlinge und Krankheiten erhöht, sowie Ausreife und die Haltbarkeit oder Lagerfähigkeit des Gemüses beeinträchtigt werden. Durch überoptimale, nicht empfohlene (!) Stickstoffgaben in Form von Nitrat zu Blatt- oder Wurzelgemüse kann es insbesondere in einer Zeit langsamen Wachstums (z. B. Kälteperiode, ungünstige Lichtverhältnisse) zu einer Anreicherung des zugeführten Nitrates in den Pflanzen kommen infolge verlangsamter Umsetzung zu Aminosäuren. Das Nitrat kann entweder im Magen-Darm-Traktus oder nach unsachgemäßer Lagerung bzw. Zubereitung (Aufwärmen des Spinates!) auch schon im Nahrungsmittel selbst zu Nitrit reduziert werden, das nach dem Übergang in das Blut dessen Fähigkeit zum Sauerstoffaustausch am Hämoglobin beeinträchtigt. Diese Tatsache ist von Bedeutung für Kleinkinder bis zu 4 Monaten, da diesen das Enzym Methämoglobinreduktase fehlt. Das über die Düngemittel den Pflanzen zugeführte Nitrat kann deshalb aber nicht als „Giftstoff“ angesehen werden, insbesondere wenn man berücksichtigt, daß Gift nicht eine Frage der Qualität, sondern der Quantität eines Stoffes ist; für den erwachsenen Menschen z. B. ist eine tägliche Dosis von 5 g Nitrat vollkommen unschädlich! Erst die bakterielle Reduktion des Nitrates zu Nitrit und die folgende Oxidation des Hämoglobin des Blutes und das Fehlen des reduzierenden Enzyms Methämoglobinreduktase (beim Kleinkind) kann gewisse gesundheitliche Gefahrenmomente hervorrufen. Aus dieser Erkenntnis heraus hat man vorbeugend und mit Recht den zulässigen Nitratgehalt speziell von Babynahrungsmitteln sehr begrenzt. Ernstliche Bedenken für die Ernährung der Erwachsenen ergeben sich daraus jedoch nicht.

Das Ziel der Landwirtschaft ist es also, qualitativ hochwertige Produkte für die menschliche und tierische Ernährung zu erzeugen. Ein exakter, wissenschaftlich haltbarer Beweis für eine

Beeinträchtigung bzw. Verschlechterung der Gesundheit durch optimale Minereraldüngung konnte bis heute nirgends auf der Welt erbracht werden, wohl aber sind jährlich viele tausend Menschen vom Hungertod bewahrt worden.

Wichtig für eine gesunde Ernährung ist eine gute Kenntnis der Zusammensetzung der pflanzlichen Produkte und eine sich daraus ergebende sinnvolle Zusammenstellung der Nahrung. Eine in der Regel zu hohe tägliche Kalorienaufnahme, häufig verbunden mit mangelnder Bewegung, Genuß von Alkohol und Narkotika, unkontrollierbarer Arzneimittelverbrauch usw., sollten dabei nicht außer acht gelassen werden.

III. Auswirkungen der Minereraldüngung auf die Umwelt

Die Erzeugung pflanzlicher Produkte erfolgt auf dem natürlichen Substrat Boden. Eine intensive Minereraldüngung führt zu einem stärkeren Pflanzenwachstum und damit auch zu einer

verstärkten Durchwurzelung des Bodens. Auf diese Weise wird die Erosionsgefahr verringert, der Abtrag von wertvollen Bodenteilchen also eingeschränkt. Ferner werden tiefere Bodenschichten mit Wurzelhumus versorgt, die mikrobielle Tätigkeit erhöht und damit die Bodenfruchtbarkeit verbessert.

Die durch die Düngung zugeführten Mineralstoffe werden aber in einer Vegetationsperiode nicht restlos von der Pflanze aufgenommen; die Ausnutzung liegt vielmehr zwischen 20—70%. Der verbliebene Rest wird entweder am Ton-Humus-Komplex des Bodens sorbiert oder in schwerer pflanzenaufnehmbare Formen überführt oder aber diese Nährstoffe gehen verloren durch Auswaschung in das Grundwasser bzw. Abgabe an die Atmosphäre.

Für die jährliche Auswaschung der Hauptnährstoffe aus verschiedenen Bodenarten geben 36jährige Lysimeteruntersuchungen in Weihenstephan Auskunft (Tab. 2).

Die Festlegung bzw. Sorption von Phosphationen an die Tonteilchen des Bodens ist so stark, daß eine P-Aus-

Tabelle 2:

Mineralstoffauswaschung nach 36-jährigen Lysimeteruntersuchungen

(Weihenstephan)

(kg/ha u. Jahr)

	Grobsand (pH 6.4)	humoser Lehm (pH 7.2)	schluffiger Lehm (pH 6.8)
P	1.8	0.2	0.5
K	21.8	14.2	19.4
Mg	71.8	92.5	93.8
Ca	313.9	441.6	358.8
N	50.0	72.8	73.6

waschung praktisch entfällt. Die Verlagerung des Kaliums in den Untergrund ist gering (abhängig vom Tongehalt der Böden). Die Magnesiumauswaschung liegt dagegen beträchtlich höher (zwischen 70 und 94 kg Mg/ha u. Jahr), die Ca-Auswaschung ist mit etwa 312–442 kg Ca/ha u. Jahr am höchsten. Die Stickstoffauswaschung erreicht 50 bis 73 kg N/ha.

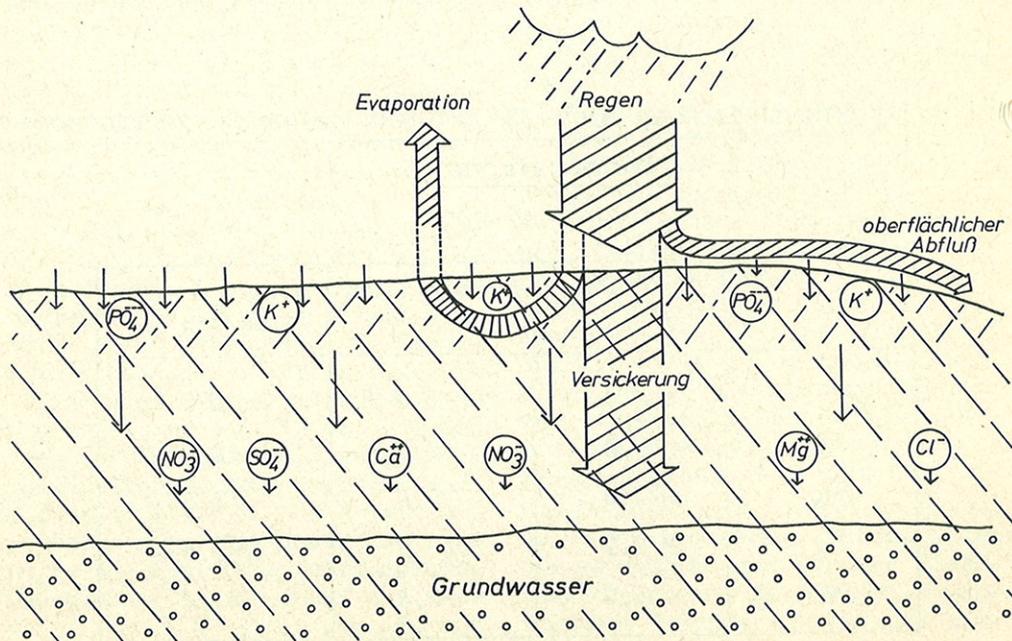
Was nun die Auswaschung von K, Ca u. Mg anlangt, so ergeben sich daraus zwar nicht unerhebliche materielle bzw. finanzielle Verluste an Pflanzennahrung, aber keine erkennbaren nachteiligen Auswirkungen im Sinne einer Umweltbelastung. Gleiches gilt für Chlorid und Sulfat. Anders ist dagegen das Problem der Stickstoffauswaschung (fast ausschließlich in Nitratform) zu beurteilen.

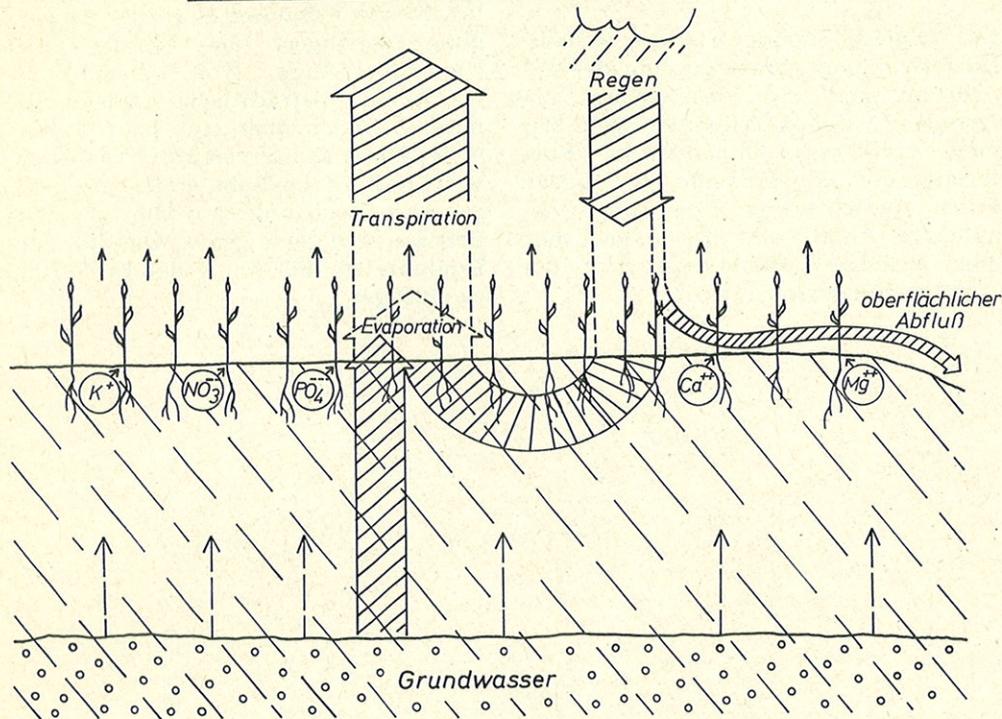
Die Menge an ausgewaschenen Nahrungstoffen ist in erster Linie vom Klima abhängig und zwar von den anfallenden

Niederschlägen und dem durch Pflanzen nicht verbrauchten Wasservorrat bzw. der Wassersatigung des Bodens. Eine möglichst weitgehende Ausnutzung des Niederschlags- bzw. Bodenwassers durch hohe Erträge verringert also die Nahrungsauswaschung. Eine solche erfolgt praktisch nur während der vegetationslosen Jahreszeit (Herbst/Winter), dann also, wenn der natürliche Wasserverbrauch durch Transpiration bzw. Evaporation gering ist infolge niedriger atmospherischer Temperatur (Wasserstrom nach abwärts) (Fig. 2).

In der Vegetationszeit dagegen (Fig. 3) erfolgt die Wasserbewegung im Boden auf Grund höherer atmospherischer Temperaturen und des Verbrauches an Transpirationswasser von unten nach oben. Zum Aufwuchs der Kulturen im Frühjahr verabreichte, auf den Bedarf abgestimmte Düngergaben können demnach praktisch nicht ausgewaschen werden. Diese Grundtatsachen müssen

Figur 2: Wasserbewegung in der vegetationsfreien Zeit
(unbewachsener Boden)



Figur 3: Wasserbewegung in der Vegetationszeit

immer berücksichtigt werden, wenn es um Probleme der Perkolation, Auswaschung von Mineralstoffen usw. geht.

Unter der Voraussetzung einer optimalen Mineraldüngenanwendung führt eine nicht verbrauchte Mineraldüngung daher in der Regel kaum zu einer ernsthaften Belastung des Bodens selbst, weil die zugeführten Mineralstoffe nur einen Ersatz für den erhöhten Export aus dem Boden darstellen und somit zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit notwendig sind. Der Umstand, daß die Anwendung der Mineraldünger (nach der Menge und Zeit) genau terminiert werden kann, sichert größtmögliche Wirkung und geringste Verluste.

Weit schwieriger ist dagegen das Problem der laufenden unkontrollierbaren Nitratfreisetzung durch natürliche Mineralisierung der org. Substanz des Bodens bzw. durch zugeführte

organische Düngemittel, wie Stallmist und Gülle, insbesondere da letztere nicht auf wachsende Bestände ausgebracht werden können und die Mineralisierung damit in die vegetationslose Jahreszeit fällt.

Noch komplizierter werden diese Dinge im Falle der Massentierhaltung dadurch, daß sehr große Mengen an Abfallstoffen anfallen und auf sehr kleine Flächen ausgebracht werden, da ein Transport über weitere Strecken nicht lohnt.

Die nicht zu unterschätzenden N-Verluste durch Denitrifikation, das heißt gasförmige N-Abgabe an die Luft sollten nicht vergessen werden, brauchen aber nicht besonders besprochen zu werden; sie stellen zwar für den Landwirt einen nicht unerheblichen Verlust dar, für die Umwelt aber keine zusätzliche Belastung in Anbetracht des großen N-Reservoirs der Luft.

IV. Konsequenzen und Schlussfolgerung

Die Mineraldüngung ist eine wesentliche Grundlage zur Sicherung der Ernährung und zur Bekämpfung des Hungers in weiten Teilen der Welt. Für hohe Ernten reicht die natürliche Anlieferung der Mineralstoffe im Boden durch Verwitterung bzw. über zugeführte Abfallstoffe der pflanzlichen oder tierischen Produktion oder der Wohnsiedlungen nicht aus.

Eine gezielte Mineraldüngung hinsichtlich Menge, Form und zeitlicher Anwendung verringert die Gefahr einer Umweltbelastung (vor allem Auswaschung) beträchtlich, zudem die meisten Böden über eine hohe Puffer- und Filterwirkung verfügen. Die Landwirtschaft ist bestrebt, unter möglichst geringer Belastung der Umwelt hohe Erträge und eine gute Qualität der Produkte zur Sicherung der Ernährung zu erzeugen.