

## SIEBENTER ABSCHNITT.

### BEZIEHUNGEN DER CHEMIE ZUM ACKERBAU.

BEGONNEN VON O. KELLNER.

FORTGEFÜHRT UND BEENDET VON H. IMMENDORFF.

Zweck und Ziel des Ackerbaues ist die Erzeugung organischer Substanz Einleitung. aus Bestandteilen der Luft und des Bodens. Diese Aufgabe wird praktisch nur von der grünen Pflanze gelöst. Eine künstliche synthetische Darstellung größerer Massen organischer Stoffe aus anorganischen erscheint zwar möglich, begegnet aber noch so vielen Hindernissen und Schwierigkeiten, daß bisher nur die Phantasie einiger Chemiker die Pflanzenwelt ihrer uralten Bedeutung für alles Leben auf der Erde zu entkleiden versucht hat.

Unser Gegenstand umfaßt den größten Teil des Gebietes, das man gemeinlich mit dem Namen Agrikulturchemie zu bezeichnen pflegt. Dieser Name kennzeichnet unsere Wissenschaft nur insofern, als wir die Chemie und ihre Arbeitsmethoden als eine ihrer wichtigsten oder vielmehr als ihre wichtigste Grundlage zu betrachten haben. Selbstverständlich kann die Chemie auf einem so weiten und verwickelten Gebiete, wie es die Erzeugung organischer Substanz mit Hilfe der Kulturpflanzen ist, nicht als Alleinherrscherin auftreten. Zur Erklärung der uns entgegentretenden Erscheinungen werden wir häufig hinübergreifen haben auf Gebiete der Physik, der Botanik, der Mineralogie, Geologie, der Bakteriologie u. a. Bei allen Betrachtungen aber wird die Chemie die Grundlage bilden. Man hat es seltsamerweise versucht, der Agrikulturchemie den Charakter als selbständiger Wissenschaft abzusprechen, weil sie zuviel Anlehnung an andere Wissenschaften suchen müsse. Mit genau demselben Rechte müßte man nicht allein den übrigen Zweigen der angewandten Chemie, der physiologischen, technischen, pharmazeutischen, Nahrungsmittelchemie u. a. die Selbständigkeit absprechen, sondern fast alle als selbständig anerkannten Teile der heutigen Naturwissenschaft würden demselben Schicksal anheimfallen.

Die Pflanzenernährungslehre, soweit sie die reichliche und einträgliche Erzeugung von organischer Substanz auf Grund wissenschaftlicher Tatsachen ins Auge faßt, ist der Teil der Agrikulturchemie, der uns zunächst beschäftigen soll. Sie ist ein Kind des 19. Jahrhunderts. Die Einleitung soll nun ein weniger erschöpfendes als anschauliches Bild von der Entwicklung dieser Wissenschaft geben, sie soll einige Streiflichter auf hervorragende Punkte werfen und damit zugleich das Gebiet kennzeichnen, das wir durchwandern wollen.

Der Weg wurde unserer stark ins Praktische hinüberneigenden Wissenschaft von der Ernährung der Kulturgewächse durch experimentell-physiologische (botanisch-chemische) Arbeiten geebnet, von denen die wichtigsten in das letzte Viertel des 18. und in den Anfang des 19. Jahrhunderts fallen. Es sind das die Arbeiten von Priestley, Sennebier, Ingen-Houß und ganz besonders von Th. de Saussure, die zeigten, daß die grünen Pflanzen die Kohlensäure der Luft aufnehmen und unter Mitwirkung des Sonnenlichtes in organische Substanz umwandeln können. Der erste, der auf Grund dieser und anderer exakten Forschungen eine „Agrikulturchemie“ schrieb, war Humphry Davy (1813).

Bei den Hauptvertretern der rationellen Landwirtschaft — die aber damals auf reine Empirie sich gründete — fanden diese neuen Ideen am Anfang des 19. Jahrhunderts keinen Eingang. Es kann das jedoch um so weniger wunderbar erscheinen, als zu jener Zeit selbst viele Pflanzenphysiologen, und unter ihnen sogar Th. de Saussure selbst, sich nicht ausschließlich zu ihnen bekennen konnten oder wollten. So sehen wir denn, daß die noch heute mit größter Hochachtung genannten Vertreter einer nüchternen, aber gesunden und weisen Empirie, an deren Spitze Thaer steht, noch immer die Reste von Organismen, die zum Teil durch die Ernterückstände dem Boden verblieben, zum Teil ihm in Form von Stallmist, von menschlichen Exkrementen, von Gründünger und ähnlichem zugeführt werden — also mit anderen Worten die Humussubstanzen des Ackerbodens — als Nahrung der Kulturpflanzen ansehen. Die Gegenwart des Humus galt als erste und wichtigste Bedingung der Fruchtbarkeit eines Bodens.

Mit diesen Anschauungen räumte J. Liebig gründlich auf, und sein epochemachendes, 1840 zuerst erschienenes Werk: „Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie“ bildet den Ausgangspunkt eines neuen Abschnittes der Landwirtschaftswissenschaft. Fast gleichzeitig mit Liebig verkündete Boussingault in Frankreich ähnliche Anschauungen. Mit seinem oben genannten Buche ist Liebig der Begründer zweier Wissenschaften, der Agrikulturchemie und der modernen Physiologie geworden. Wir wollen beim Andenken dieses Mannes einige Zeit verweilen, weil er die Keime zu fast allem legte, was wir weiterhin behandeln werden, wobei noch einmal betont werden soll, daß es sich nicht um erschöpfende Schilderungen handeln kann.

Es ist eigentlich selbstverständlich, daß Liebig, obgleich es so scheinen konnte, nicht meteorartig auftauchte und das dunkle Gebiet mit völlig eigenem Lichte erfüllte. Liebig fußte auf den Arbeiten der schon genannten Pflanzenphysiologen, er hatte Vorgänger, die ähnliches wie er dachten und erstrebten, so zum Beispiel den von ihm selbst arg verkannten Sprengel; aber einen Vorgänger, der so wie er die Hauptsachen von dem Nebensächlichen zu unterscheiden und die Tragweite bestimmter Forschungsergebnisse zu erkennen vermochte, der wie er mit der Fackel der Erkenntnis die Tiefen des Labyrinthes zu erleuchten verstand, so daß viele, die einen Blick bei dieser Beleuchtung

hineingeworfen hatten, selbsttätig weiter und immer weiter vorzudringen versuchten, hatte Liebig nicht.

Gestützt auf seine, mit Hilfe möglichst exakter naturwissenschaftlicher Grundlagen gewonnenen Anschauungen über die Kreisläufe der Stoffe in der Natur lehrte Liebig, daß neben der Assimilation der Kohlensäure der Luft durch die grünen Pflanzen die Aufnahme von Ammoniak und bestimmten Mineralsalzen in wäßriger Lösung aus dem Boden durch die Wurzeln als wichtige Faktoren bei der Pflanzenernährung und der Hervorbringung der organischen Substanz zu betrachten seien. Da die Luft in ihrer Zusammensetzung vom Landwirt nicht wesentlich beeinflußt werden kann, legte er ganz besonderen Nachdruck auf die Mineralsalze als Nährstoffe der Pflanzen und erfuhr dabei energischen Widerspruch von seiten der Praxis und auch von Vertretern der Theorie; es seien nur Lawes und Gilbert und E. Wolff genannt. Unter den an der Erörterung dieser Fragen Teilnehmenden bildeten sich geradezu zwei Lager. Gegenüber den „Mineralstöfflern“ den Anhängern Liebigs, standen die „Stickstöffler“, die den Ackerboden an Mineralstoffen nahezu für unerschöpflich hielten und den Ertrag der Felder als hauptsächlich abhängig von dem Vorhandensein oder der Zufuhr stickstoffhaltiger Stoffe ansahen. Zwischen diesen zwei Lagern schwankte das Kriegsglück hin und her; zum Schlusse, als Liebigs Anschauungen durch die Arbeiten von Wiegmann und Polstorff, Salm-Horstmar, Knop, Stohmann, Boussingault, Nobbe und anderen feste Stützen gefunden hatten, schien der Sieg ganz Liebig zugefallen zu sein, zu welchem Resultate seine glänzende Dialektik nicht zum mindesten beigetragen hatte.

So sehr wir heute einen großen Teil der Grundanschauungen Liebigs über die Bedeutung der mineralischen Nährstoffe der Pflanzen, so besonders der Phosphorsäure, des Kalis, des Kalkes u. a. als richtig anerkennen müssen, — so sehr wir auch von der Wichtigkeit dieser Stoffe für die Düngung der Kulturpflanzen überzeugt sind, — so entfernen wir uns doch in vielem von seinen Lehrensätzen, und zwar sind manche für Liebig geradezu unantastbare Lehrmeinungen, die er auf das schärfste und oft rücksichtsloseste vertreten hat, für uns völlig überwundene Standpunkte, Episoden in der fortschreitenden Wissenschaft geworden.

Als eine der hierhergehörigen wichtigsten und durch den langen und erbitterten Streit, der sich daran knüpfte, bekanntesten Thesen Liebigs soll die über die Stickstoffernährung der Kulturpflanzen hervorgehoben werden: Liebig hatte in den Jahren 1840 bis 1842, also zu der Zeit als die ersten Auflagen seines bahnbrechenden Werkes erschienen, die Meinung gehegt und vertreten, daß die natürlichen Quellen, die den Pflanzen den ihnen nötigen Stickstoff liefern, für die Kulturpflanzen nicht genügend ergiebig seien. Eine Reihe von Beobachtungen, sowie fortgesetztes Nachdenken zeigten ihm aber, wie er selbst schreibt, daß diese Ansicht nicht richtig sein könne. Zu diesen Beobachtungen gehören in erster Linie die damals neuen, in Liebigs Laboratorium gewonnenen Untersuchungsergebnisse zahlreicher Bodenarten. Durch diese Analysen war

festgestellt worden, daß der unfruchtbarste Sandboden bis zu einer Tiefe von nur 10 Zoll über hundertmal und daß fruchtbare Ackererden fünfhundert bis tausendmal mehr Stickstoff enthalten, als die vollste Weizenernte nötig hat und bei der reichlichsten Düngung zugeführt erhält. Ferner gehört zu diesen Beobachtungen die schon lange bekannte Tatsache, daß die Hülsenfrüchte, zum Beispiel Lupinen, Erbsen, Bohnen, Klee, zwei- bis dreimal soviel Stickstoff in der Erntemasse enthalten als die Cerealien und doch ohne jede Stickstoffdüngung oft auf ärmstem Boden auf das üppigste zu gedeihen vermögen. Daß ein prinzipieller Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen von Kulturpflanzen bestehe, konnte Liebig auf Grund scheinbar einwandfreier Versuche Bous-singaults mit vielem Recht leugnen. Auf Grund dieser und anderer Erwägungen verfocht Liebig nach 1842 auf das hartnäckigste die Ansicht, daß der Stickstoff den Kulturpflanzen durch die natürlichen Quellen in ausreichendem Maße zur Verfügung gestellt werde.

Wir haben heute diesen Standpunkt völlig verlassen. Mit aller Sicherheit ist erkannt worden, daß die oft sehr bedeutenden Vorräte des Bodens an Stickstoffverbindungen zumeist nicht in der Lage sind, den kurzlebigen Kulturpflanzen ausreichende Mengen von aufnehmbaren Stickstoffverbindungen zur Verfügung zu stellen, und daß hierzu auch bei weitem nicht die Stickstoffverbindungen der Atmosphäre ausreichen. Wir haben ferner durch die muster-gültigen Untersuchungen Hellriegels den großen Unterschied kennen gelernt, der in der Stickstoffernährung der Leguminosen und der Cerealien obwaltet — und durch zahlreiche Untersuchungen von Agrikulturchemikern und Landwirten haben wir diese Unterschiede in der Praxis der Landwirtschaft richtig und nutzbringend berücksichtigen gelernt.

Es ist nun nicht weiter verwunderlich, daß selbst dem genialsten und erfindungsreichsten Baumeister bei einem so großen und verwickelten Neubau, wie die Agrikulturchemie es war, an etlichen Stellen das geeignete und zuverlässige Material für die Fundamente ausgehen mußte — und doch müssen wir sagen, Liebig hat so guten Grund gelegt, daß die schadhaften Stellen ausgebessert oder neu angelegt werden konnten, ohne daß das Ganze viel von dem Stempel seines Geistes verloren hätte.

Liebig hat in unserer Wissenschaft gewirkt wie keiner vor ihm gewirkt hat und wie sicherlich wenige nach ihm wirken werden. Er ließ sich selbst nicht nur durch die Fülle der auf ihn einströmenden Tatsachen anregen, sondern er teilte diese Anregungen auch den Nahestehenden wie den räumlich Entferntesten in nie dagewesener Weise mit. Dadurch, daß er Widerspruch hervorrief, hervorrufen mußte mit seinen Sätzen — und diesen Widerspruch auf das eifrigste und anregendste, häufig allerdings auch auf das schonungsloseste, bekämpfte, rief er eine große Anzahl von hervorragenden Männern an die Arbeit, für oder wider! Wir können behaupten, daß wir ohne Liebig in der verhältnismäßig kurzen Zeit von 1840 bis heute schwerlich so weit gekommen wären, wie wir gekommen sind.

Bereits durch Liebig, durch seine Schüler und durch seine Gegner ist in der Mitte des verflossenen Jahrhunderts eine Reihe der wichtigsten Fragen der Pflanzenernährung, soweit sie für den Landwirt von Bedeutung erscheinen, bearbeitet worden. Es ist durch diese Arbeiten der Agrikulturchemiker auch die Pflanzenphysiologie ganz wesentlich gefördert worden.

An das schon von Liebig klar erkannte und ausgesprochene Gesetz vom Minimum wollen wir anknüpfen, um einen Ausblick auf einige der Arbeiten der neueren Zeit zu gewinnen. Dieses Gesetz, das zu allen Zeiten die Erzeugung von Erntemasse und jede auf wissenschaftliche Überlegung gegründete Düngungsmaßnahme, also den Feldbau überhaupt beherrscht hat und beherrschen wird, besagt nach Liebig, daß der Ertrag einer Kulturpflanze abhängig ist von dem notwendigen Bestandteil des Pflanzenkörpers, also von dem Pflanzennährstoff, der während der eigentlichen Entwicklung der Pflanze in geringster Menge zur Verfügung steht. Es ist hierbei gleichgültig, ob alle übrigen Nährstoffe ausreichend oder gar im Übermaß der Pflanze dargeboten werden. Wir beschränken heute das Gesetz des Minimums nicht auf die Nährstoffe, sondern dürfen behaupten, daß der Ertrag der Kulturpflanzen abhängig ist von dem für das Pflanzenleben wichtigen Faktor, der in geringstem Maße vorhanden ist; es kommen somit nicht allein die Nährstoffe der Pflanzen in Betracht, sondern auch die klimatischen Verhältnisse (Licht, Wärme), die physikalischen Eigenschaften des Bodens und anderes mehr. Und nicht allein für die Kulturpflanzen hat dieses Gesetz Gültigkeit, auch die wilde Pflanzenwelt ist abhängig vom Minimum. Auf einem gegebenen Gebiet üben stets die Pflanzen die Oberherrschaft aus, die aus eigener Kraft oder durch Beihilfe anderer Lebewesen das vorhandene Minimum am besten zu ertragen oder auszunutzen imstande sind.

Es ist bekannt, daß ein Feld, auf dem ohne künstliche Düngung mehrere Jahre hintereinander die gleiche Kulturpflanze angebaut wird, nach gewisser Zeit, die verschieden lang sein kann, für diese Pflanze unfruchtbar wird. Oft wurde die Beobachtung gemacht, daß ein Feld Weizen, aber keine Bohnen trägt, daß ein anderes gute Ernten von Rüben oder Kartoffeln, aber keinen Klee bringt, daß ein drittes Lupinen oder Serradella in üppigster Fülle hervorzubringen imstande ist, während sich bei anderen Kulturpflanzen nur Mißwachs zeigt. — In allen diesen Fällen, in denen man früher von Müdigkeit des Bodens oder des Feldes sprach, haben wir es mit Erscheinungen zu tun, die auf dem Entstehen oder Vorhandensein eines Nährstoffminimums beruhen. Es ist das Verdienst der Forschung von Liebig an, hier volle Klarheit geschaffen zu haben.

Aber nicht allein die Erkenntnis dieser Tatsachen hat die agrikulturchemische Wissenschaft gefördert, sie hat auch gelehrt, auf welche Weise derartigen Mängeln der Äcker abgeholfen werden muß, wenn die Erträge lohnende bleiben sollen. Nachdem Liebig auf die Notwendigkeit hingewiesen hatte, dem Boden an Mineralstoffen zurückzugeben, was man ihm durch die Ernten entzogen hat, daß man andernfalls auf die Dauer Raubbau treibe, der sich im Nach-

lassen der Ertragsfähigkeit bitter rächen müsse, wurde das Ammoniakwasser der Gasanstalten und Kokereien — das lange als lästiges Nebenerzeugnis fast unbeachtet geblieben war — ein wichtiger Stickstoffspender für die Landwirtschaft. Auf die Mahnung Liebig's hin, die durch Analysen und später auch durch Kulturversuche ihre Stütze fand, begann die Herstellung künstlicher Dünger. In Staßfurt wurden die bis zum Jahre 1860 beiseite geräumten, über dem damals wertvolleren Steinsalz lagernden Kalisalze fast plötzlich zu einem überaus wichtigen Naturerzeugnis, das in allen Teilen der Welt der Landwirtschaft zugute kommt. Diese früher geschmähten Abraumsalze sind jetzt bekanntlich ein Reichtum unseres Landes, um den es beneidet wird — eben weil man erfahren hat, daß durch sie die Landeskultur einer sehr beträchtlichen Steigerung fähig ist. — Guano, Knochen und Mineralphosphate werden in Massen aufgeschlossen und als Superphosphate dem Boden zugeführt; Chilisalpeter und schwefelsaures Ammoniak liefern der ackerbautreibenden Landwirtschaft den Stickstoff, der auch zum Teil durch Unterpflügen von Lupinen und anderen Papilionazeen durch Vermittlung mikroskopisch kleiner Organismen direkt aus der Luft den übrigen Kulturpflanzen zugänglich gemacht wird. Daß neuerdings auch die chemische Industrie an die Verarbeitung von Luftstickstoff herangetreten ist und bereits im Kalksalpeter und Kalkstickstoff marktfähige Stickstoffnahrung in Massen darstellt, sei noch nebenher erwähnt.

In dieser Weise gab die Forschung, die das Gesetz des Minimums kennen lehrte, auch sofort der ausübenden Landwirtschaft die Mittel an die Hand, solche vorhandenen Minima zu beseitigen, oder besser, es überhaupt nicht zur Bildung eines Nährstoffminimums im Acker kommen zu lassen.

Die Pflanzenernährungslehre und die Düngerlehre unserer Tage, so wohl ausgebaut und begründet sie auf den ersten Blick zu sein scheinen, abgeschlossen sind sie keineswegs. Jedenfalls zeigen aber alle Errungenschaften auf diesen Gebieten, daß die Wissenschaft und vor allem die chemische Wissenschaft sich seit 1840 mit außerordentlichem Erfolg in den Dienst der Landwirtschaft gestellt hat. Wie aus dem Gesagten hervorgeht, ist sie die geistige Urheberin der Kunstdünger- und Gründüngerwirtschaft wie sie zurzeit ausgeübt wird; sie hat die Landwirtschaft aus den Fesseln des Raubbaues befreit und sie in die Lage gesetzt der Bodenverarmung entgegenzuwirken und dem Gesetze der stofflichen Wiedererstattung so weit wie nötig Rechnung zu tragen.

Die Tatsache, daß allein die grüne Pflanze als Erzeugerin der organischen Substanz in Betracht kommt, also die richtige Ernährung der für diesen Zweck angebauten Kulturpflanzen ausschlaggebend ist, und ferner die Beziehungen der Erzeugung der organischen Substanz zu dem Stoffgehalt der Luft und des Bodens führen uns ganz ungezwungen zu folgender Gliederung des Stoffes:

- I. Die Atmosphäre.
- II. Der Boden.
- III. Die Ernährung der Kulturpflanzen.
- IV. Die Düngung der Kulturpflanzen.

I. Die Atmosphäre. Die gasförmige Hülle unserer Erde, die Atmosphäre, Atmosphäre. steht in innigster Beziehung zu den Lebensvorgängen der Pflanzen und Tiere. Der ganze chemische Bestand dieser Lufthülle und ihre Wärmeverhältnisse sind unmittelbar oder mittelbar von hoher Bedeutung für die in ihr und von ihr lebenden Wesen, vor allem auch für die Kulturgewächse.

Die für unsere Betrachtung wesentlichsten Stoffe umfassen, wenn wir von den geringen Argonmengen und den Spuren anderer zum Teil erst in neuerer Zeit aufgefundener, gasförmiger Elemente absehen, alle Bestandteile der Atmosphäre; sowohl der Stickstoff wie der Sauerstoff, wie die Kohlensäure und der Wasserdampf spielen eine große Rolle im Pflanzenleben, ja selbst die kleinen Mengen von Stickstoffverbindungen in der Luft sind nicht ohne Bedeutung. Alle diese Luftbestandteile sind Baustoffe der Pflanzenwelt, also auch der Kulturgewächse. Der Sauerstoffgehalt der Luft, der chemisch tätigste Stoff auf der Erde, der erst ein Tierleben ermöglicht, ist ein Erzeugnis der grünen Pflanze, und Stickstoff, Kohlensäure und Wasserdampf werden aus dem verbrennlichen Teile der Pflanzen wie der Tiere gebildet, wenn sie durch Feuer gewaltsam zerstört werden oder wenn sie der langsamen Verbrennung, die die Natur vornimmt, der Verwesung, anheimfallen\*).

Aus diesen Zusammenhängen ist ohne weiteres ersichtlich, daß die Hauptbestandteile der Kulturpflanzen, die bei der Verbrennung scheinbar verschwinden, aus der Luft stammen und nach ihrem Absterben wieder in die Luft zurückkehren. Die Natur arbeitet immer wieder mit demselben Stoffvorrat, von dem sie allerdings ihre Abstriche macht, zum Teil aber, bis heute wenigstens, auch Neues, bisher Unbenutztes hinzufügt. Es ist hier nicht der Ort näher auf diese sehr interessanten Kreisläufe der Stoffe einzugehen.

Von den in den Lebensräumen der Pflanzenwelt, die in der luftförmigen Hülle unseres Planeten, im Boden und in den Gewässern, den süßen sowohl wie den salzigen zu suchen sind, vorkommenden Gasen, sind für die Kulturpflanzen in erster Linie die Bestandteile der eigentlichen Gashülle wichtig. Sie besteht annähernd aus 79 Volumen Stickstoff und 21 Volumen Sauerstoff, enthält aber auch durchschnittlich 0,85 Volumen Wasserdampf und 0,03 Volumen Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ ). Obgleich gesetzmäßige und örtlich bedingte Änderungen der Dichte und Menge der einzelnen Bestandteile in verschiedenen Meereshöhen und an verschiedenen Orten vorhanden sind, spielen sie doch für die Kulturpflanzen keine Rolle, so daß die Verhältnisse in der Lufthülle für die Kulturpflanzen überall als gleich angenommen werden können. Diese Gleichheit bleibt dauernd erhalten, da die Diffusionsvorgänge und die lebhaften Strömungen der Luft örtlich entstehende Ungleichmäßigkeiten mit großer Geschwindigkeit beseitigen.

Es soll nicht näher untersucht werden, ob dieser chemische Bestand der Luft im günstigsten Verhältnis zu den Bedürfnissen und der Aufnahmefähigkeit der Kulturpflanzen steht. Als feststehend kann gelten, daß ein höherer

\*) Der Stickstoff nimmt bei der Verwesung zum größten Teil nicht elementare Form an, geht aber in einfache anorganische Verbindungen über.

Gehalt an Kohlensäure wesentlich günstigere Lebensbedingungen für die Kulturpflanzen schaffen würde und daß ferner ein erheblich höherer Gehalt der Luft an Stickstoffverbindungen — Ammoniak und Salpetersäure kommen in sehr geringen Mengen darin vor — für den Pflanzen bauenden Landwirt sehr wünschenswert erscheinen müßte. Da es aber im allgemeinen ausgeschlossen ist, an der Zusammensetzung der Luft zugunsten der Kulturgewächse etwas zu ändern, sei davon Abstand genommen zu schildern, welches die günstigere und günstigste Zusammensetzung der Luft sein würde. Auf etliche Punkte von Wichtigkeit zurückzukommen, werden die folgenden Abschnitte ausreichende Gelegenheit bieten.

Entstehung und  
allgemeine  
Eigenschaften  
des Bodens.

II. Der Boden. Der Träger der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen und zugleich der Behälter, aus dem sie ihren Bedarf an Wasser und mineralischen Nährstoffen schöpfen, ist der Boden. Hervorgegangen aus der Zertrümmerung und Verwitterung fester Gesteine, aber vielfach durch An- und Abschwemmung verändert, verschleppt oder vermischt, einerseits der löslichen Bestandteile durch Auslaugung mehr oder weniger vollständig beraubt, andererseits durch chemische Umsetzungen zwischen den eigenen Verwitterungsprodukten und denen aus fremden Gesteinen um neue Verbindungen bereichert, ist der Boden je nach seiner Entstehung ein sehr wechselndes Gebilde, das in seinem natürlichen Zustande den Kulturpflanzen bald günstige, bald ungünstige Entwicklungsbedingungen bietet. Erhöht wird diese Mannigfaltigkeit noch durch die Pflanzenwelt, die sich auf ihm ansiedelt und die durch ihre verwesenden Überreste den Charakter der Unterlage vollständig verändern kann.

Gewaltige Unterschiede treten uns daher entgegen, wenn wir zum Beispiel einen durch bloße Verwitterung aus Urgestein entstandenen Boden mit einem solchen vergleichen, der zwar gleichen Ursprungs ist, aber durch Abschwemmung seiner feinsten Teile beraubt wurde oder der vielleicht unter dem Einfluß besonderer Verhältnisse den Charakter eines Moorbodens angenommen hat.

Bestimmend auf die Benutzbarkeit eines jeden Bodens für Zwecke der Pflanzenkultur sind selbstverständlich die geographische und die Höhenlage, von der ja die Anbaufähigkeit nicht nur einzelner, sondern der Gesamtheit der Kulturpflanzen abhängig ist. Innerhalb klimatisch gleich beschaffener Gegenden spielt sodann die Gestaltung der Oberfläche, der Grad der Steilheit, die Abdachung nach Süden oder Norden eine Rolle, indem die Besonnung, die Versorgung der Pflanzen mit Feuchtigkeit, nicht minder auch die Bearbeitbarkeit der an Hängen gelegenen Flächen eine große wirtschaftliche Bedeutung haben. Hierzu kommen neben der Mächtigkeit der Bodenschicht noch die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens selbst, von denen seine Fähigkeit, Pflanzen zu tragen und zu ernähren, abhängt.

Physikalische  
Eigenschaften  
des Bodens.

Unter den physikalischen Eigenschaften steht für den Landwirt obenan das Verhalten des Bodens gegen Wasser. Ohne genügende Feuchtigkeit wächst nichts, selbst wenn der Boden mit Pflanzennährstoffen aufs reichlichste ausgestattet und noch so vorzüglich bearbeitet ist. Ein guter Boden soll die



Fähigkeit haben, die atmosphärischen Niederschläge möglichst vollständig aufzunehmen und längere Zeit festzuhalten, Wasser aus der Tiefe des Untergrundes aufzusaugen und in das Bereich der Wurzeln zu führen, überschüssiges meteorisches Wasser dagegen nach unten durchzulassen. Um diese Bedingungen, die gewöhnlich auch mit einer guten Durchlüftbarkeit verbunden sind, zu erfüllen, müssen die Bodenteilchen so aneinandergelagert und von solcher Größe sein, daß zwischen ihnen eine möglichst große Anzahl kapillarer und anderer Hohlräume für die Bewegung und Aufspeicherung von Wasser und Luft besteht. Die Art und Größe der Bodenteilchen sind es also, von denen die wichtigsten Lebensbedingungen für die Pflanzen im Boden abhängen.

Betrachten wir von diesem Gesichtspunkte aus zunächst die festen Teile, die den Boden zusammensetzen, so treten uns außer größeren Gesteinstrümmern Sande verschiedenster Korngröße, tonige Bestandteile kolloider Natur und Humusstoffe entgegen. Steine, Sande, Tone und Humus, denen man aus Gründen ihres chemischen Verhaltens noch die Verwitterungsprodukte der Kalksteine unter der einfachen Bezeichnung Kalk zugesellt hat, stellen die Bodenbestandteile (-konstituenten) dar, auf deren Mengenverhältnisse man die agronomische Einteilung der Bodenarten gegründet hat. Bei der mechanischen Analyse (Zerlegung) zur Ermittlung der Gewichtsverhältnisse, in denen die einzelnen Bestandteile an der Zusammensetzung des Bodens teilnehmen, bedient man sich gegenwärtig verschiedener Rundlochsiebe und zerlegt die Teile, deren Durchmesser kleiner als 2 mm ist und die als Feinerde bezeichnet werden, mit Hilfe fließenden Wassers verschiedener Stromgeschwindigkeit in besonderen, sogenannten Schlemmapparaten in weitere Gruppen von verschiedenem Korndurchmesser bis hinab zu den kleinsten Partikelchen von geringerem Durchmesser als 0,02 Millimeter, die mit dem bloßen Auge nicht mehr wahrgenommen werden können. Bei 2 mm Durchmesser liegt eine, wenn auch nicht scharf gezogene, so doch im allgemeinen zutreffende wichtige Grenze, indem Bodenteilchen von größerem Durchmesser das Wasser kapillar nicht mehr zu leiten und auch nicht in nennenswerter Menge zu speichern vermögen. Zwischen 2 und 0,2 mm Durchmesser lassen die Bodenelemente noch leicht Wasser durch, bei 0,2 bis 0,02 mm besitzen sie eine gute Kapillarität, eine genügende wasserfassende Kraft und gestatten der Feuchtigkeit doch noch eine schnelle Bewegung. Unter 0,02 mm große Teilchen lassen bereits kolloide Eigenschaften erkennen, indem sie in feuchtem Zustande wie Lehm zusammenkleben und mit Salzlösungen zusammengebracht, koagulieren. Bei einem Durchmesser von weniger als 0,002 mm hört die kapillare Leitung auf, die Teilchen zeigen in reinem Wasser die Brownschen Molekularbewegungen — zitternde, hüpfende Schwingungen, die den kolloiden Körperchen eigentümlich sind, sie bilden den Ton, der sich so dicht aneinanderlagert, daß die feinen Wurzelhaare der Pflanzen nicht mehr eindringen können. Als Ton rechnet man in dem gekennzeichneten Sinne alle Bodenteilchen, deren Korngröße unter 0,002 mm liegt; größere Teilchen, von 0,002 bis 0,2 mm pflegt man als Staub-, Mehl- oder Feinsand und noch größere, bis zu 2 mm Durchmesser als feinere oder gröbere Sande zu be-

zeichnen. Eine allgemein angenommene Benennung der mechanischen Bodenelemente besitzen wir freilich noch nicht und zwar trotz zahlreicher und umfassender Bemühungen auf diesem Gebiete.

Auf den Ackerbau üben nun die verschiedenen Bodenbestandteile nach den bisherigen Untersuchungen folgende Einflüsse aus. Ein mäßiger Steingehalt erhöht die Durchlässigkeit des Bodens für Wasser und Luft, begünstigt die Erwärmung und wirkt der Verdunstung entgegen. Gerölle, das heißt abgerundete Steine mit einem Durchmesser von mehr als 20 mm üben nach Hazard diesen günstigen Einfluß noch aus, wenn ihr Gewicht weniger als etwa  $\frac{1}{8}$  des ganzen Bodens beträgt, scharfkantige Bruchstücke von gleichem Volumen wie das Gerölle würden sogar noch günstig wirken, wenn ihr Gewicht  $\frac{1}{4}$  des Gewichtes des Bodens ausmache. Kies, grober und feiner Sand (20—0,15 mm Durchmesser) besitzen eine so geringe Kapillarität und wasserfassende Kraft und verursachen in dieser Hinsicht nur so geringe Unterschiede, daß sie zumeist nur als Verdünnungsmittel für die feinen Bodenteilchen in Betracht kommen. Korngrößen von 0,15 bis 0,05 mm spielen bei der Wasserspeicherung und Wasserführung bereits eine wesentliche Rolle. Noch mehr leistet in dieser Beziehung der Staubsand von 0,05 bis 0,01 mm Durchmesser, der dazu eine allzudichte Lagerung der noch feineren zum Teil kolloiden Bestandteile verhindert und hierdurch der Undurchlässigkeit des Bodens entgegenwirkt.

In Abhängigkeit von der Korngröße und Gestalt der festen Bodenteilchen und daher in gewisser Beziehung zu den Ergebnissen der mechanischen Bodenanalyse steht die sogenannte Bodenoberfläche, das heißt die Summe der Oberflächen aller einzelnen Teilchen bezogen auf die Gewichts- oder Volumeneinheit des Bodens. Um diese Größe zu bestimmen, hat man vorgeschlagen, die Benetzungswärme oder auch die Hygroskopizität des Bodens zu ermitteln. Nach Rodewald und Mitscherlich soll der Boden, in frischem Zustande über 10 prozentiger Schwefelsäure im luftverdünnten Raume aufgestellt, gerade so weit austrocknen, daß seine Oberfläche mit einer Molekülschicht Wasser bedeckt ist. Darnach würde 0,1 g hygroskopisches Wasser, in der vorbezeichneten Weise bestimmt, einer Oberfläche von etwa vier Quadratmetern entsprechen. Mancherlei Eigenschaften der Böden zeigen interessante Beziehungen zu den so erhaltenen Zahlen für die Hygroskopizität, und weitere Forschungen werden uns voraussichtlich bald über die Tragweite der erwähnten Eigenschaft Auskunft geben.

Unter den natürlichen Verhältnissen finden wir im Boden die verschiedensten Korngrößen nebeneinander gelagert. Während sich in etlichen Fällen eine besondere Gruppierung der einzelnen Teilchen nicht erkennen läßt und Korn neben Korn liegt, sind in allen guten Bodenarten die einzelnen Teilchen mehr oder weniger zu Aggregaten (Haufwerken, Krümeln) vereinigt. Der „Einzelkornstruktur“ steht hiernach die „Krümelstruktur“ gegenüber. Die letztgenannte beruht im wesentlichen in einer Zustandsänderung, die kolloide Körper durch Salzlösungen, durch chemische Niederschläge, physikalische Vorgänge, zum Beispiel Gefrieren u. a. m. erleiden. Am bekanntesten sind in

dieser Beziehung in der Landwirtschaft die Wirkungen, die der Kalk auf Ton ausübt; während aus destilliertem Wasser unter Luftabschluß der reine Ton sich außerordentlich langsam absetzt und eine starke Trübung der Flüssigkeit meist dauernd bestehen bleibt, bringt ein geringer Zusatz von Kalkwasser eine Ausflockung des Tones in dem Maße zustande, als durch die Kohlensäure der Luft der Ätzkalk in kohlensauren Kalk übergeführt wird. Ähnlich wie der Kalk wirken freie Kohlensäure, Mineralsäuren, Chloride, Sulfate, auch Humusverbindungen auf den Boden ein. Werden die leicht löslichen Salze einem Boden entzogen, wie es bei Überschwemmungen eintritt, so wird die Krümelstruktur zerstört, die feinsten Teilchen nehmen mit der Einzelkornstruktur eine sehr feste Lagerung an, die mit Undurchlässigkeit für Wasser verbunden ist.

Alle diese in allgemeinen Zügen gekennzeichneten Verhältnisse, die Korngröße der Bodenpartikelchen, die Bodenoberfläche, die Krümelung oder Einzelkornstruktur besitzen einen maßgebenden Einfluß nicht bloß, wie bereits erwähnt wurde, auf das Verhalten des Bodens gegen Wasser, sondern auch auf andere wichtige Eigenschaften wie die Erwärmung, die Durchlüftbarkeit, Kohäsion oder Bindigkeit, die ihrerseits wieder mit der Bearbeitbarkeit zusammenhängt. Beeinflußt und abgeändert werden alle diese Verhältnisse selbstverständlich auch durch die chemische Beschaffenheit des Bodens, zu deren Betrachtung wir uns im folgenden wenden wollen. Es mag aber noch Erwähnung finden, daß die zahlreichen Bemühungen auf dem Gebiete der mechanischen oder physikalischen Bodenanalyse ihr eigentliches Ziel, einen Maßstab für die Bodenfruchtbarkeit zu finden, bisher nicht erreichten.

Wenn wir die chemische Zusammensetzung der Bodenteilchen näher ins Auge fassen, so stoßen wir naturgemäß auf enge Beziehungen zu den Gesteinen, aus denen der Boden hervorgegangen ist. Je nachdem das Muttergestein eine homogene Masse bildet oder aus mehreren Mineralien zusammengesetzt ist, finden sich unter den Sanden und Steinen des daraus hervorgegangenen Bodens teils unverändertes Muttergestein, teils die seiner Bestandteile, die der Verwitterung am besten Widerstand zu leisten vermögen, wie namentlich Quarz, Glimmer, Augit, Magneteisen usw. Die feineren Teilchen sind durchweg Verwitterungsprodukte, also chemisch verändertes Muttergestein; darunter sind zu nennen das angenommene kristallinische Tonerde-Kaliumsilikat und unter den kolloiden Bestandteilen der eigentliche Ton, die amorphen zeolithischen (d. h. wasserhaltigen) Silikate, das kolloide Eisenhydroxyd und die kolloide Kieselsäure. Dazu treten pflanzliche Überreste, die durch Fäulnis und Verwesung unter der Mitwirkung von Mikroorganismen in Humuskörper umgewandelt werden. Der Verlauf dieses Vorganges und die dabei entstehenden Stoffe weisen eine große Mannigfaltigkeit auf. Erfolgt die Zersetzung unter Luftzutritt bei verhältnismäßig hoher Temperatur, wie in den meisten Bodenarten, so zerfällt die organische Substanz unter Sauerstoffaufnahme nach und nach ziemlich vollständig in Wasser und Kohlensäure und hinterläßt meist nur geringe Reste von Humus.

Chemische Zusammensetzung des Bodens.

Anders geht die Zersetzung der meist vegetabilischen Stoffe bei niedriger Temperatur unter Wasser oder bei beschränktem Luftzutritt vor sich; die Pflanzen unterliegen dann der Verrottung. Mikroorganismen sind hieran nicht wesentlich beteiligt. Bei mangelhafter Durchlüftung des verwesenden Materials entsteht vorwiegend ein saurer Humus, der einen ungünstigen Einfluß auf die Kulturpflanzen ausübt und wertvolle Nährstoffe in den Untergrund entweichen läßt. Im anderen Falle, bei genügendem Luftzutritt und namentlich bei Anwesenheit von Kalk und Eisenoxyd, die beide die Oxydation begünstigen, bildet sich eine milde, die Fruchtbarkeit fördernde Art von Humus.

Mit dem Studium der Humusstoffe, denen man früher nahezu allein die Fruchtbarkeit des Bodens zuschreiben zu müssen glaubte, hat man verhältnismäßig früh begonnen. Im Jahre 1826 beobachtete Sprengel die wichtigsten Eigenschaften dieser Stoffe, 1839 stellte Berzelius die Anwesenheit hell gefärbter, löslicher Bestandteile des Humus, die Kren- und Apokrensäure dar und unterschied davon die schwarzgefärbten Körper Humin und Huminsäure; Mulder trennte im Jahre 1840 davon die braunen Verbindungen Ulmin und Ulminsäure. Auf den richtigen Weg der Erkenntnis, der aber auch noch keineswegs weit führt, gelangte jedoch erst 1888 van Bemmelen, der die Humusstoffe als Kolloidkomplexe auffaßte, was in neuester Zeit besonders von Baumann außer allen Zweifel gestellt worden ist, was man aber seit van Bemmelen nicht mehr in Zweifel zog.

Nachdem man 1840 die Bedeutung der mineralischen Nährstoffe erkannt hatte, schien die Möglichkeit, die Fruchtbarkeit eines Bodens durch die chemische Analyse zu ermitteln, in unmittelbare Nähe gerückt zu sein. Bald aber lernte man einsehen, daß die Gesamtmenge der durch eine Bauschanalyse oder durch Auslaugung des Bodens mit einer starken Säure aufgefundenen Nährstoffe keinen Aufschluß über die den Pflanzen zugänglichen Mengen gab und wegen der sehr verschiedenen Löslichkeit dieser Stoffe auch nicht geben konnte. Man erkannte, daß die so ermittelten Nährstoffmengen höchstens den Vorrat bezeichnen, der im Laufe der Zeit den Pflanzen durch weitere Verwitterung zur Verfügung gestellt werden kann, und daß höchstens ganz extreme Fälle, große Armut oder sehr hoher Gehalt mit einiger Wahrscheinlichkeit gedeutet werden können. Man versuchte es deshalb mit reinem oder mit kohlen-säurehaltigem Wasser und mit verschiedenen organischen Säuren als Lösungsmittel, ohne indessen bis jetzt zu einer zuverlässigen Methode, die die Feststellung sämtlicher aufnehmbaren Nährstoffe gestattet, gelangt zu sein. Besseren Erfolg hat man mit der Untersuchung des Bodens auf die Aufnahmefähigkeit für einzelne Nährstoffe gehabt. So hat Dyer, nachdem er die Azidität der Wurzelspitzen ermittelt und einer 1- bis 2-prozentigen Zitronensäure gleich gefunden hatte, eine 2-prozentige Lösung dieser Säure auf verschiedene Bodenarten einwirken lassen und eine ziemlich gute Übereinstimmung der in dieser Weise gelösten und von den Pflanzen wirklich aufgenommenen Phosphorsäure beobachtet. Um den der Pflanzenwurzel zugänglichen Kalk im Ackerboden zu ermitteln, erschöpfte Kellner den Boden mit einer konzentrierten Salmiak-

lösung und setzte in dieser Weise Ammoniak an Stelle des locker (absorptiv) gebundenen und des kohlensauren Kalkes. Zahlreiche vergleichende Versuche D. Meyers haben die Brauchbarkeit dieses Verfahrens dargetan.

Da die Erfahrung mit diesen und ähnlichen Methoden immer noch nicht sehr umfangreich ist und noch ein gewisses, großes Gefühl der Unsicherheit besteht, so hat man vielfach zu einer Analyse des Bodens durch die Pflanze selbst seine Zuflucht genommen. Will man feststellen, ob z. B. der Phosphorsäurevorrat eines Bodens für gute Ernten ausreicht, so beschickt man zwei Reihen von Vegetationsgefäßen mit diesem Boden und fügt der einen Reihe sämtliche Pflanzennährstoffe in einem gewissen Überschuße, der anderen Reihe dieselben Nährstoffe mit Ausschluß der Phosphorsäure zu. Da nach dem Gesetz des Minimums (s. S. 417 und 446) die Erträge der zweiten Reihe von der im Boden verfügbaren Phosphorsäuremenge abhängen, so wird der Unterschied in den Ernten der in beiden Reihen angesäten Pflanze erkennen lassen, ob der Boden mehr oder minder ausreichende Mengen des genannten Nährstoffs enthält. Die Ertragsunterschiede lassen dann auch sehr schön den Grad des Mangels erkennen, der in dem untersuchten Boden besteht.

Bodenanalyse  
mit Hilfe der  
Pflanze.

Noch ein anderer Weg, der zu dem gleichen Ziele führt, ist betreten worden. Man hat nämlich die Erfahrung gemacht, daß der Gehalt der Pflanzen an einzelnen Nährstoffen (Kali, Kalk, Phosphorsäure) steigt, je reicher der Boden, auf dem sie gewachsen waren, an dem betreffenden Nährstoff ist. Auf empirischem Wege, durch Düngungsversuche hat man dann ermittelt, wie hoch der Gehalt der Pflanzen an dem betreffenden Nährstoffe steigt, wenn dem Boden davon so viel zugeführt wird, daß Höchstserträge ermöglicht werden. R. Heinrich benützt zu der hierbei auszuführenden Analyse die drei unteren Stengelglieder der ausgereiften Haferpflanze, P. Wagner, der diese Frage für Wiesenpflanzen bearbeitet hat, analysiert das auf den betreffenden Wiesen im richtigen Wachstumsstadium geerntete Heu. Wird ein Heu geerntet, das einen bestimmten Prozentgehalt an Phosphorsäure und Kali enthält, so ist der Vorrat an diesen beiden Nährstoffen genügend und muß durch Düngung auf dieser Höhe erhalten werden.

Die chemische Untersuchung des Bodens muß sich ferner auch auf die Reaktion erstrecken. Eine neutrale oder schwach alkalische Beschaffenheit deutet an, daß die Durchlüftung ausreicht, um die Entstehung des den Pflanzen wenig zusagenden sauren Humus zu verhindern und der Reduktion von Eisenoxydverbindungen zu Oxydul vorzubeugen. Auch die Bakterienflora des Bodens steht mit diesen Verhältnissen im Zusammenhange, indem die nützlichen, zum Beispiel die stickstoffsammelnden (Azotobakter), in saurem Boden nicht gedeihen. Im allgemeinen hängt die Reaktion der Ackererden von deren Kalkgehalt ab. Schon geringe Mengen kohlensauren Kalkes, sofern diese nicht von schwer angreifbaren Resten früherer Kalkdüngungen oder von Schnecken und Muschelgehäusen herrühren, mit anderen Worten, wenn diese geringen Mengen gleichmäßig den Boden durchsetzen, verbürgen eine neutrale oder alkalische Beschaffenheit. Es wirken aber auch die kolloiden

Reaktion des  
Bodens.

Verbindungen des Kalkes mit Humusstoffen oder Silikaten der Säurebildung entgegen.

Absorptions-  
vorgänge im  
Boden.

Die Ackererde besitzt die Eigenschaft, aus Lösungen, die man durch sie hindurchlaufen läßt, gewisse Stoffe aufzunehmen und festzuhalten. Schon zu Zeiten des Aristoteles war es bekannt, daß Meerwasser trinkbar wird, wenn man es durch Erdfilter hindurchfließen läßt. Die Ursachen dieser Erscheinung sind freilich erst in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts näher erforscht worden. Das Verdienst, die Aufmerksamkeit zuerst auf unseren Gegenstand gelenkt zu haben, gebührt dem Italiener Gazzeri. H. S. Thompson erkannte dann (1845) zuerst, daß Lösungen von kohlen-saurem und schwefel-saurem Ammoniak bei ihrem Durchgang durch die Ackererde ihres Ammoniak-gehaltes bis auf Spuren beraubt werden und daß schwefelsaures Ammoniak dabei in schwefelsauren Kalk umgewandelt wird. Den Schlüssel zur Erklärung dieser Erscheinungen fand Th. Way. Er beobachtete, daß Lösungen von kohlen-saurem, salzsaurem und salpetersaurem Ammoniak oder Kali von tonreicher Ackererde zerlegt werden, und daß, während das Ammoniak oder Kali festgehalten wird, die Säuren, größtenteils an Kalk gebunden, in Lösung bleiben. Dagegen wurde aus phosphorsauren Salzen auch die Phosphorsäure festgehalten. Da künstlich hergestellte Doppelsilikate, zeolithischer Natur, die Ton-erde und Kalk enthielten, genau dieselben Absorptionserscheinungen erkennen ließen wie tonige Ackererden, so schloß Way, daß zwischen den Lösungen der Kali- und Ammoniaksalze und den Doppelsilikaten durch die chemischen Affinitäten ein Austausch äquivalenter Mengen von Basen bewirkt wird, derart, daß Kali und Ammoniak von den Silikaten chemisch gebunden werden, während Kalk und Magnesia sich mit den Säuren der einwirkenden Lösungen vereinigen. Sand, der keine derartigen Doppelsilikate enthält, besaß auch kein Absorptions- vermögen.

So einfach, wie es nach den Wayschen Untersuchungen der Fall zu sein scheint, liegen nun die Ursachen der Absorptionsvorgänge nicht. Die weitere Forschung hat vielmehr gelehrt, daß man es hier mit sehr viel verwickelteren Erscheinungen zu tun hat und daß nicht bloß manigfache chemische Vorgänge und physikalische Verhältnisse wesentlichen Einfluß ausüben, sondern auch die Art der Bodenbestandteile und die chemische Form der hinzutretenden Verbindungen, nicht zum mindesten auch die Konzentration dieser Verbindungen eine wichtige Rolle spielen. Im allgemeinen hat man alle Absorptionserscheinungen lediglich als die Folgen der sich im Boden abspielenden, auf den Gleichgewichtszustand der chemischen und physikalischen Kräfte gerichteten Vorgänge aufzufassen.

Außer den Doppelsilikaten, die größtenteils kolloider Natur sind, beteiligen sich an der Absorption im Boden das auch in Form des Gels vorkommende Eisenhydroxyd, das Gel der Kieselsäure und die Humussubstanzen. Bei den Doppelsilikaten erfolgt die Absorption durch Auswechslung der Basen, doch können die Silikate kolloider Natur, sowie das Gel der Kieselsäure auch freie Alkalien, freie alkalische Erden und Ammoniak aus ihren Lösungen und

wahrscheinlich auch aus Salzen mit schwachen Säuren absorbieren. Hat die Kieselsäure in dieser Weise Kali, Natron, Kalk u. a. aufgenommen, so kann sie, mit anderen Salzlösungen zusammengebracht, auch Absorptionen unter Auswechslung der Basen ausüben. Zu den chemischen Prozessen, die so zwischen Gel und Lösung stattfinden, gesellen sich auch physikalische, die auf der einfachen Diffusion zwischen dem Wasser des Gels und der Lösung beruhen. Dies gilt auch für die Gele anderer Kolloide, wie der Humusstoffe, insbesondere auch des Eisenhydroxyds, das außerdem Phosphorsäure aus ihren Lösungen auf chemischem Wege bindet und sehr festhält. Die Humusstoffe sind noch in mehrfacher anderer Richtung an der Absorption beteiligt. Sofern sie nämlich alkalische Basen, wie Calciumoxyd und Magnesiumoxyd enthalten, sind sie geradeso wie die kolloiden Doppelsilikate befähigt, ihre Basen gegen die von Salzlösungen auszutauschen. Aber auch dann, wenn austauschfähige Basen nicht vorhanden sind, nehmen sie Anteil an der Bindung ihnen zugeführter Stoffe; die Hydrate der Alkalien und des Ammoniaks lösen zwar einen Teil der Humussubstanzen auf, werden aber gleichzeitig in bemerkenswertem Umfange von dem unlöslichen Teile gebunden, besonders das Kali und das Ammoniak. Auch aus den Salzen schwächerer Säuren (Karbonaten, Phosphaten) absorbiert der Humus recht beträchtliche Mengen Alkalien und ist imstande, selbst Salze starker Säuren, wie zum Beispiel die Chloride des Kaliums und Ammoniums, in geringem Maße zu zersetzen und die Base zu absorbieren.

Bei den Absorptionerscheinungen im Boden handelt es sich stets um den Ausgleich der Kräfte zwischen einem festen Körper, dem Boden und einer Lösung. Manches, was auf den ersten Blick sonderbar erscheint, erklärt sich aus dieser Tatsache, so die Beobachtung, daß unter sonst gleichen Umständen aus einer konzentrierten Lösung ausnahmslos mehr absorbiert wird als aus einer verdünnten, ferner, daß aus einer größeren Menge der Lösung ebenfalls mehr als aus einer kleineren Menge aufgenommen wird. Beide Beobachtungen erklären sich einfach aus der Tatsache, daß die Affinitäten der Bodenbestandteile zu denen der Lösungen in der Regel die anziehende Kraft des Wassers nicht vollständig zu überwinden vermögen; je mehr Wasser auf einen Teil der gelösten Substanz entfällt, um so weniger kann absorbiert werden.

Unter den pflanzlichen Nährstoffen werden am stärksten absorbiert: das Kali, das Ammoniak, die Magnesia und die Phosphorsäure, auch das Eisenoxyd oder -oxydul. In viel geringerem Maße werden von der Absorption betroffen: das Natron und der Kalk, und fast gar nicht werden festgehalten: die Salpetersäure, die Chlorwasserstoffsäure und die Schwefelsäure.

Der Gleichgewichtszustand, der mit der Absorption gewisser Stoffe aus den Lösungen eintritt, hängt, wie dargelegt wurde, unter anderem ganz besonders von der Menge des in der Lösung vorhandenen Wassers, also der Konzentration der Lösung, ab und kann daher nach der Beendigung des Vorganges, der niemals momentan erfolgt, sondern immer eine gewisse, wenn auch nur kurze, Zeit braucht, wieder gestört werden. Die absorbierten Stoffe können nämlich durch fortgesetztes Auslaugen mit Wasser wieder zum größten Teil in Lösung gebracht

werden. Unter den natürlichen Verhältnissen bleibt das Verhältnis zwischen den absorbierenden Bestandteilen des Bodens und dem absorbierten Stoff aber immer ein so weites, die Menge des in den Niederschlägen in den Boden gelangenden Wassers ist dabei meist so klein, daß Verluste absorbierter Stoffe nur in sehr unbedeutendem Umfange stattfinden. Am besten geben uns hierüber die in den Drainröhren abfließenden Wässer Auskunft. Nach Untersuchung der Drainwässer eines alljährlich mit schwefelsaurem Kali gedüngten Feldes waren in 1 Million Teilen des Wassers nur 3,4 Teile Kali enthalten, gegen 2,3 Teile, die von dem gleichen, jedoch nicht mit Kali gedüngten Boden stammten. An Phosphorsäure wurden am gleichen Orte, sowohl nach Phosphatdüngung wie ohne Phosphorsäurezufuhr, nur unbestimmbare Spuren in dem abfließenden Wasser festgestellt. Selbst auf Sandböden, die mit einem nur mäßigen Absorptionsvermögen für Kali und Phosphorsäure ausgestattet sind, werden nur sehr geringe Mengen davon aus dem Boden entführt. Überschwemmungen freilich mögen größere Verluste bedingen, die dann aber auch wohl ebenso sehr durch die Fortführung der die Absorption vermittelnden feinsten Bodenteilchen als durch Auslaugung zustande kommen.

Außer durch mehr oder weniger reines Wasser lassen sich die absorbierten Stoffe noch durch andere Mittel in Lösung bringen, vornehmlich durch verschiedene Salze der Alkalien und alkalischen Erden. Die Absorptionsvorgänge beruhen eben in den meisten Fällen auf der Wechselwirkung zwischen Boden- und Lösungsbestandteilen. Kommt zu einem viel Kali in absorptiv gebundenen Zustande enthaltenden Boden ein neues Salz hinzu, so kommt ein neuer Austausch der Basen zustande und Kali geht in die Lösung des einwirkenden Salzes über. In dieser Weise erklärt es sich, daß Gips, Kochsalz, Natronsalpeter lösend auf das durch Absorption gebundene Kali einwirken und, obwohl sie zwar nicht seine Auswaschung verursachen, doch eine Verteilung in tiefere Bodenschichten und damit eine bessere Versorgung tiefwurzelter Pflanzen mit Kali ermöglichen. Nicht immer jedoch ist die Wirkung der genannten Salze mit einem Vorteil verbunden. Der Natronsalpeter und das Kochsalz, sowie der Kainit und andere Kalidüngesalze setzen auch den Kalk der Ackerkrume in Bewegung und entführen ihn so vollständig in tiefere Bodenschichten, daß die Krümelstruktur der Oberflächenschicht verschwindet, der Acker verkrustet und die Bearbeitung erschwert wird. Diesen Nachteilen, die die unvermeidliche, regelmäßige Anwendung des Chilisalpeters und der Kalisalze im Gefolge hat, läßt sich nur durch häufiger wiederkehrende, entsprechend starke Gaben von Kalk entgegenzutreten.

Bakterielle Vorgänge im Boden.

Seit der Zeit, in der man auf die Tätigkeit der im Boden lebenden Organismen aufmerksam geworden ist, hat sich eine mächtige Wandlung in vielen den Boden betreffenden Ansichten vollzogen. Während man früher dem Boden eine rein passive Rolle bei der Ernährung der Kulturpflanzen zuschrieb und ihn für eine tote, träge Masse hielt, der die Pflanzen lediglich die erforderlichen Nährstoffe entnahmen, wissen wir gegenwärtig, daß in ihm eine ganze Welt unsichtbarer Organismen lebt, die wichtige Beziehungen zu den Kulturpflanzen



unterhalten, Nährstoffe neu schaffen oder vernichten, Stoffumwandlungen bewirken oder vermitteln, aber vielfach noch der leitenden Hand harren, die ihre Tätigkeit zum Nutzen des Menschen lenkt. Überschwenglich waren anfangs die Hoffnungen der Landwirtschaft auf die Mitwirkung der Bakteriologie. Schon sah man die Zeiten vor sich, in denen man unabhängig von kostspieligen stickstoffhaltigen Düngemitteln sein und mit Hilfe stickstoffsammelnder Bakterien, die man nur in den Boden aussäen zu brauchen glaubte, den Stickstoffbedarf der Kulturpflanzen aus dem unerschöpflichen Vorrat der Luft kostenlos decken würde. Die nüchterne Forschung hat diese Phantasiegebilde sehr bald zerstört. Heute wissen wir, daß die Bakterienflora im Boden ebenso von den dort herrschenden Bedingungen abhängig ist, wie die wildwachsende Flora der höheren Gewächse. Wie es unmöglich ist, etwa durch Aussaat von Samen auf einer Wiese das Verhältnis der vorhandenen Arten zu ändern und neue, bessere zur Entwicklung zu bringen, ohne durch besondere Maßnahmen eine gründliche Änderung der Bodenverhältnisse zu bewerkstelligen, ebenso wenig kommt man durch einfache Aussaat von Bakterienreinkulturen zu einer einschneidenden Beeinflussung der vorhandenen Bakterienflora, es sei denn, daß man auch zu einer zweckentsprechenden Veränderung des Bakterienklimas die erforderlichen Grundlagen im Boden zu schaffen imstande wäre. Die üppig emporgeblühten Hoffnungen hat man deshalb einstweilen aufgeben müssen.

Die Tätigkeit der Mikroorganismen des Bodens äußert sich wohl am sinnfälligsten in den Umwandlungen der organischen Stoffe. Die vegetabilischen Substanzen, die auf natürlichem Wege oder durch Menschenhand dem Boden einverleibt werden, unterliegen unter gewöhnlichen Verhältnissen einer kaum unterbrochenen Reihe von Zersetzungen und gehen unter Abspaltung hauptsächlich von Kohlensäure und Wasser und unter Bildung mancher Zwischenstufen allmählich in die stabilere Form der Humusstoffe über, um schließlich einer vollständigen Mineralisierung entgegenzugehen. Die sehr verschiedenen Lebensbedingungen für die einzelnen dabei mitwirkenden Mikroorganismen, wie der Luftzutritt, die Anwesenheit von viel oder wenig Wasser, Wärme usw., beeinflussen und ändern diesen Vorgang ganz ungemain. Demgemäß finden sich unter den Zersetzungsprodukten, je nachdem die eine oder andere Art der Organismen günstiger gestellt ist, außer Kohlensäure und Wasser noch organische Säuren, Alkohol, Methan, Schwefelwasserstoff, Wasserstoff, Ammoniak, Salpetersäure u. a. m. Bei der Neuheit und Mannigfaltigkeit aller in dieses Gebiet fallenden Stoffumwandlungen läßt sich zurzeit ein nur einigermaßen vollständiges Bild von der Auflösung der organischen Substanzen im Boden und von der Humifizierung nicht entwerfen.

Unter den Endprodukten der Zersetzung stickstoffhaltiger Stoffe tritt uns auch im Boden das Ammoniak entgegen, das aber in gewöhnlichen Ackererden alsbald einer weiteren Umwandlung unterliegt. Eigentümliche Bakterien, die von der Anwesenheit organischer Substanz unabhängig sind, ja bei ihrer Abwesenheit unter Umständen besser gedeihen, führen das Ammoniak, das

ihnen als Energiequelle dient, in salpetrige und Salpetersäure über. Bedingung für diese Oxydation ist einerseits genügender Zutritt von Sauerstoff, also eine gute Durchlüftung des Bodens, und andererseits die Anwesenheit basischer Stoffe, mit denen sich die neugebildete Säure verbinden kann. In der Tiefe des Bodens, wohin die Luft nicht dringen kann, in saurem Boden oder bei einem dauernden Übermaß von Nässe findet Salpeterbildung nur in untergeordnetem Umfange statt. Bei Sauerstoffmangel treten im Gegenteil andere Bakterien in Wirksamkeit, von denen die Salpetersäure wieder zersetzt wird und zwar teils unter Entwicklung freien Stickstoffs, teils unter Bildung von salpetriger Säure oder Ammoniak. Die Gegenwart größerer Mengen organischer Substanz bei mangelndem Luftzutritt ist eine Grundbedingung für die Wirksamkeit dieser sogenannten denitrifizierenden Bakterien. Es mag noch erwähnt werden, daß eine Zerstörung der Salpetersäure in dem gekennzeichneten Sinne ebensowohl durch von Bakterien erzeugte reduzierende Stoffe, wie Wasserstoff, Schwefelwasserstoff usw., wie etwa durch das Sauerstoffbedürfnis der Bakterien selbst hervorgerufen werden kann.

Unter den Mikroorganismen des Bodens hat man ferner eine Reihe solcher aufgefunden, die freien Stickstoff zu binden vermögen. Erinnerung sei hier an die Bakterien der Wurzelknöllchen der Leguminosen, obwohl die Stickstoffbindung bei diesen Kleinwesen nur dann einzutreten scheint, wenn sie Gelegenheit gefunden haben, in die ihnen zusagenden Wurzeln einzudringen. Es gibt aber auch stickstoffbindende Bakterien, die frei im Ackerboden leben. Das von Winogradski entdeckte *Clostridium pastorianum* war der erste Organismus dieser Art, den man kennen lernte. Eine zweite Gruppe stickstoffsammelnder Bakterien fand Beyerinck in fast allen Bodenarten auf. Alle Bemühungen, diese Organismen durch Aussaat in den Boden der Landwirtschaft dienstbar zu machen, blieben indessen bis jetzt ohne Erfolg.

Wie auf den natürlichen von Menschenhand nicht berührten Grasländern oder im Urwald einzelne Pflanzenarten von anderen unterdrückt werden, so tobt auch innerhalb des Bodens zwischen den verschiedenen Arten kleinster Lebewesen ein Kampf auf Leben und Tod, es ist der alte Kampf um den Stoff und die Energie, der erst mit dem letzten Lebewesen sein Ende erreicht haben wird. Zeichen solcher Vorgänge beobachteten vor kurzem Russel und Hutchinson bei Studien über partielle Sterilisation des Bodens. Sie stellten fest, daß in einem mit Toluol behandelten Boden nach dem Verdunsten des sterilisierenden Mittels die Ammoniakbildung auffällig lebhafter vor sich ging und einen viel größeren Umfang annahm, als in demselben, jedoch nicht sterilisierten Boden. Die weitere Verfolgung dieser Erscheinung lehrte, daß durch die teilweise Sterilisation mit Toluol gewisse große Organismen (Protozoen), die den Bakterien feindlich sind und diese vernichten, ziemlich vollständig getötet werden und daß dann ihre Körper der Tätigkeit der Bakterien anheimfallen. In ähnlicher Weise erklärt es sich wahrscheinlich auch, warum nach der Behandlung der Weinbergsböden mit Schwefelkohlenstoff eine bessere Ernährung der Pflanzen wahrzunehmen ist.

Wie vielseitig die Wirksamkeit der kleinsten Lebewesen im Ackerboden ist, läßt sich daraus ermessen, daß selbst so bedeutende Ablagerungen wie die Raseneisensteine ihren Ursprung der Tätigkeit gewisser Bakterienformen (*Crenothrix*, *Chlamydothrix*) verdanken. Diese Bakterien leben von organischen Stoffen der Bodenflüssigkeit, die ihrerseits Eisenoxyd, auch Eisenphosphate und Silikate, sowie Tonerde in Lösung halten. Nach der Zerstörung der organischen Teile der gelösten Stoffe gelangen jene zur Abscheidung in Gelform und bilden den Raseneisenstein.

Die ungemein große Oberfläche der Bestandteile eines normalen Ackerbodens, von der schon früher die Rede war, und das stete, wenn auch der Art und Menge nach wechselnde Vorkommen von kolloiden Substanzen darin, machen es verständlich, daß auch katalytische Vorgänge mit großer Lebhaftigkeit im Boden sich vollziehen können. Es sei hier nur auf gewisse Oxydationen und hydrolytische Vorgänge hingewiesen, die für die Kulturgewächse von Bedeutung sind und die man geneigt war der Tätigkeit von Mikroorganismen zuzuschreiben. Es steht fest, daß schweflige Säure in einem normalen und gut durchlüfteten Ackerboden geleitet in kürzester Frist als solche nicht mehr nachgewiesen werden kann, sie ist zu Schwefelsäure oxydiert worden, und ebenso ergeht es schwefligsauren Salzen; auch Schwefelwasserstoff und leichter zersetzliche Sulfide werden außerordentlich schnell oxydiert und somit für die Pflanze unschädlich gemacht. Hydrolytische Vorgänge von Bedeutung für die Landwirtschaft hat man neuerdings bei der Umwandlung des Kalkstickstoffs oder vielmehr des aus ihm im Boden abgespaltenen Cyanamids beobachten können. Diese für die Pflanzenwurzel zweifellos sehr giftige Substanz wird durch Wasseraufnahme in Harnstoff, also in einen Pflanzennährstoff umgewandelt. Ganz untätig werden bei solchen Prozessen auch die Bakterien nicht bleiben, es steht aber für einige dieser Vorgänge fest, daß sie im wesentlichen den katalytischen Eigenschaften von Bodenbestandteilen ihr Zustandekommen verdanken.

Wie aus unseren Ausführungen klar wird, ist der Kulturboden keineswegs ein starres und totes Gebilde, sondern ein in der Zusammensetzung stark schwankendes Gemisch von gasförmigen, flüssigen und festen (anorganischen und organischen) Stoffen von recht verschiedenartiger physikalischer Struktur, in dem ein ungeheures, aber je nach den wechselnden chemischen und physikalischen Verhältnissen verschiedenartiges Leben von Bakterien und Pilzen sich regt. Im Kulturboden gibt es keine Ruhe und Beständigkeit; alles darin, Totes und Lebendiges ist in steter Umwandlung begriffen, und bei diesen Umwandlungen sind zum Teil Faktoren tätig, die wir noch sehr wenig genau kennen. Diese Umstände tragen die Schuld, daß es ungemein schwer ist, wissenschaftliche Maßstäbe zu finden, die zu einer sicheren Beurteilung des Fruchtbarkeitszustandes und des Düngerbedürfnisses eines Bodens führen — und das ist das Ziel jeder Bodenuntersuchung in landwirtschaftlichem Interesse. Es liegt noch geradezu ein Schleier um alle Eigenschaften und Äußerungen des Bodens gebreitet, wenigstens wenn wir ihre Gesamtheit und ihre Wirkung auf den

Katalytische  
Vorgänge im  
Boden.

Fruchtbarkeitszustand betrachten. Was bis jetzt durch unsere Forschungsmethoden erreicht ist, ist ein Hindurchtasten durch diesen Schleier. Erst seine wenigstens teilweise Beseitigung wird uns sichere Wege zum Ziele zeigen können.

Assimilation der  
Kohlensäure.

III. Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Schon im Jahre 1771 einige Jahre vor seiner Entdeckung des Sauerstoffs, hatte Priestley die damals Aufsehen erregende Beobachtung gemacht, daß grüne Pflanzenteile imstande sind, eine durch Verbrennungsvorgänge oder durch tierische Atmung „verdorbene Luft“ zu verbessern und für die Atmung wieder tauglich zu machen. Einige Jahre später, 1779, gelang es Ingen-Housz nachzuweisen, daß die grüne Pflanze die Luft nur dann verbessert, das heißt Sauerstoff abgibt, wenn sie dem Sonnenlichte ausgesetzt wird, daß sie dagegen im Dunkeln „ungesunde Luft“ erzeugt und daß nicht grün gefärbte Pflanzenteile, wie Wurzeln, Blüten und Früchte, auch im Sonnenlichte keinen Sauerstoff ausatmen. Eine klare Auffassung dieser Verhältnisse aber ermöglichte erst Sennebier, der durch seine 1773 und später ausgeführten Untersuchungen zeigte, daß grüne Pflanzenteile im Sonnenlichte nur so lange Sauerstoff abgeben, als ihnen Kohlensäure ( $\text{CO}_2$ ) zugeführt wird. Damit war erkannt, daß der ausgeatmete Sauerstoff der Zersetzung von Kohlensäure seinen Ursprung verdankt. Es blieb de Saussure vorbehalten festzustellen, was dabei aus dem Kohlenstoff der Kohlensäure wird. Dieser Forscher zeigte nämlich, daß mit der Sauerstoffabgabe gleichzeitig eine Zunahme der organischen Substanz in den grünen Pflanzenteilen stattfindet, daß aber der umgekehrte Gasaustausch vor sich geht, nämlich Sauerstoff aufgenommen und Kohlensäure ausgeatmet wird, wenn die Pflanzen im Dunkeln verweilen.

Humustheorie.

Bis dahin war man allgemein der Meinung gewesen (nachdem am Ende des 18. Jahrhunderts Hassenfratz die Humuslehre geschaffen hatte), die organische Substanz — der Humus — des Ackerbodens sei es, aus dem die Pflanze ihren Körper aufbaue und de Saussure selbst hielt trotz seiner Entdeckung an der Meinung fest, daß der Humus als solcher ein Pflanzennahrungsmittel sei und daß die löslichen Extraktivstoffe des Bodens eine wesentliche Bedingung seiner Fruchtbarkeit bilden müßten. Der gleichen Ansicht huldigten noch nach jenen großen Entdeckungen nicht nur eine Anzahl anderer bedeutender Forscher jener Zeit, sondern durchaus erklärlicher Weise auch die hervorragendsten Führer auf dem Gebiete der Landwirtschaft, Thaer, Schwerz und andere. Albrecht Thaer, dem de Saussures Forschungen wohlbekannt waren, äußerte sich in seinen „Grundsätzen des Ackerbaues“ über den Humus in dem Sinne, daß er es allein sei, der den Pflanzen im Boden Nahrung gebe. Wie eine große allgemeine Pflanze ohne Differenzierung der Organe, so sei der Humus, ein Produkt der Lebenskraft, im Boden verbreitet und trage auf sich die einzelnen differenzierten Pflanzen und nähere sie, wie eine Knospe vom Stamme getragen und ernährt wird. Wenn auch die Kohlensäure als Hauptnahrungsmittel der Pflanze zu betrachten sei, so sei doch eine gleichzeitige Aufnahme von gelöstem Humus durch die Wurzeln notwendig. Thaer

entfernte sich in diesen Anschauungen gar nicht sehr weit von denen des Botanikers de Saussure.

Die „Humustheorie“ behielt in der Landwirtschaftslehre noch lange Zeit die Oberherrschaft. Erst im Jahre 1840 bereitete auch ihr, wie vielen anderen unklaren und unrichtigen Auffassungen Justus Liebig in seinem berühmten Werke „Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie“ ein Ende. Liebig wies darauf hin, daß ein Ackerboden, dem man in den Ernten große Mengen von Kohlenstoff entnommen hat, gleichwohl dadurch an Humus nicht ärmer geworden ist; daß ein humusarmer Boden in der Form von Holz, Gras, Getreide ebensoviel kohlenstoffhaltige Substanz erzeugt, wie ein humusreicher; daß auch unter den günstigsten Bedingungen der Löslichmachung der Humus bei weitem nicht hinreichen würde, den Kohlenstoffbedarf der Pflanzen auch nur annähernd zu decken. Den gleichbleibenden Gehalt der Atmosphäre an Sauerstoff erklärte Liebig als nur durch die Lebenstätigkeit der grünen Pflanzen bedingt, die für ein von ihnen aufgenommenes Volumen Kohlensäure ein gleiches Volumen Sauerstoff an die Luft zurückgeben. Die Lehre Liebig's, daß alle Nährstoffe der Pflanzen unorganischer oder mineralischer Natur seien, ließ es verdächtig erscheinen, daß der Humus eine Ausnahme bilden solle, zumal doch erwiesenermaßen ein Teil des Kohlenstoffbedarfes der unorganischen Kohlensäure entstammt. Die Idee der geheimnisvollen Lebenskraft, an der die Humustheorie festhielt, ließ sich mit der klaren Lehre Liebig's über die Pflanzenernährung nicht mehr in Einklang bringen.

Die Liebigsche Ansicht, nach der die organische Substanz der grünen Gewächse allein der Kohlensäure der Luft ihre Entstehung verdankt, hat dann im Laufe der Zeit allgemeine Annahme und dazu auch vollgültige Beweise gefunden. Nach den Erfolgen, die man mit der Kultur der verschiedensten Pflanzen in wäßrigen Nährlösungen bei vollständigem Ausschlusse von Erde und Humus erzielte, ließ sich bereits erkennen, daß Humusstoffe zur normalen Ausbildung der grünen Pflanzen nicht notwendig sind und die Untersuchungen über die Aufnahme von Humus durch die Wurzeln lieferten ein verneinendes Ergebnis. Wohl hat sich in der Folgezeit herausgestellt, daß den grünen Pflanzen die Fähigkeit zukommt, eine Reihe von organischen Stoffen, die in verdünnten Lösungen auf die Blätter gestrichen, den Wurzeln zugeführt oder in noch anderer Form dargeboten wurden, zu assimilieren. Unter den natürlichen Verhältnissen des Landwirtschaftsbetriebes aber sind irgend welche ähnliche Erscheinungen bisher nicht beobachtet worden und sie besitzen daher nach dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnis keinerlei praktische Bedeutung.

Die Zersetzung der Kohlensäure und die Produktion organischer Substanz ist nun weiter an eine Reihe verschiedener Bedingungen geknüpft. Zunächst muß selbstverständlich Kohlensäure vorhanden sein — die niedere Oxydationsstufe des Kohlenstoffs, das Kohlenoxyd, bietet hier keinen Ersatz, sondern wirkt bei stärkerer Konzentration geradezu schädlich. Auch in reiner Kohlensäure-Atmosphäre geht die Erzeugung organischer Substanz viel langsamer

vor sich, als wenn dieses Gas in verdünnter Form, in Mischung mit anderen unschädlichen Gasen (Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff) den grünen Zellen dargeboten wird. Das Optimum der Kohlensäurezerlegung liegt unter den gewöhnlichen Verhältnissen der Belichtung etwa zwischen 1 bis 10% Kohlensäure in der umgebenden Luft.

Einen mächtigen Einfluß auf die Assimilationstätigkeit der grünen Gewächse übt sodann die ihnen zur Verfügung stehende Wassermenge aus. Hält die Verdunstung mit dem Ersatz der Feuchtigkeit nicht gleichen Schritt, so kann die Erzeugung organischer Substanz schon dann auf den Nullpunkt sinken, wenn Zeichen des Abwelkens noch gar nicht wahrnehmbar sind. Infolge des Wassermangels ist in solchen Fällen eben der Transport der Assimilationsprodukte nach den wachsenden Organen unterbrochen, und die Stauung dieser Produkte am Erzeugungsorte setzt dann der weiteren Assimilation ein Ziel. Der Zuwachs an organischer Substanz wird daher infolge anhaltender Dürre schon dann stark beeinträchtigt, wenn die Pflanzen dem Tode durch Austrocknung noch gar nicht verfallen sind.

Die Reduktion der Kohlensäure findet ferner nur innerhalb gewisser Temperaturgrenzen statt, die nach oben und unten zu nahe der Tötungstemperatur liegen. Man hat beobachtet, daß die grünen Nadeln der Schwarzföhre noch bei 0,5 bis 2,5° C, die Blätter einer Grasart noch bei 1,5 bis 3,5° C Kohlensäure zu zersetzen imstande sind, während bei Rubusblättern eine Temperatur von fast 50° C diesen Vorgang noch nicht zum Stillstand brachte. Am ausgiebigsten verläuft der Prozeß, je nach Maßgabe der begleitenden Umstände, zwischen 25 und 40° C.

Wie schon frühzeitig erkannt wurde, geht die Zerlegung der Kohlensäure nur in solchen Zellen vor sich, die Blattgrün, Chlorophyll, enthalten, und nur dann, wenn diese Zellen dem Lichte ausgesetzt werden. Die Abspaltung des Sauerstoffs aus der Kohlensäure (und dem Wasser) bedeutet eine gewaltige chemische Arbeit, die nur dann geleistet werden kann, wenn den Zellen eine Kraftquelle zur Verfügung steht. In der Eigenwärme der Pflanzen kann diese Quelle unmöglich gesucht werden, denn Wärme vermag immer nur dann Arbeit zu leisten, wenn sie, wie in den mit Dampf oder heißer Luft gespeisten Motoren, als Temperaturüberschuß auftritt, also an einem Körper haftet, in dessen Umgebung kühlere Körper vorhanden sind. Die Pflanzen lassen aber keinen solchen Temperaturüberschuß erkennen. Einfache Untersuchungen haben dann auch gezeigt, daß die von grünen Gewächsen ausgeatmete Sauerstoffmenge direkt proportional ist der Stärke des Lichtes, das auf die Pflanzen einwirkt. Man konnte dies in sehr einfacher Weise, zum Beispiel durch Abzählen der Gasbläschen feststellen, die aus den verletzten oder abgeschnittenen Stielen von Wasserpflanzen austreten, wenn eine bestimmte Lichtquelle aus verschiedener Entfernung auf die in kohlensäurehaltigem Wasser befindliche Pflanze einwirkt. Anfänglich lag nichts näher, als daß man die chemische Arbeit der Kohlensäurezerlegung den sogenannten chemischen Strahlen des Sonnenlichtes zuschrieb und dabei die im Blau und Violett liegenden, stark brechbaren

Strahlen für den wirksamen Teil des Sonnenspektrums hielt. War es doch bekannt, daß gerade diese Strahlen chemische Umsetzungen, wie zum Beispiel die des Chlor-, Brom- und Jodsilbers, des Chlorknallgases usw. bewirken. Das Experiment jedoch entschied gegen diese Erwartungen, indem sich überraschenderweise zeigte, daß sich die Kohlensäurezersetzung jedenfalls nicht in erster Linie unter dem Einfluß dieser chemischen Strahlen vollzieht, sondern daß dabei in viel höherem Grade die weniger brechbaren, stark leuchtenden, im Gelb und Rot liegenden Strahlen des Spektrums beteiligt sind. Nichtsdestoweniger zeigte sich, daß auch die chemischen Strahlen an der Erzeugung organischer Substanz wahrscheinlich insofern beteiligt sind, als sie durch das mit den Eigenschaften der Fluoreszenz ausgestattete Chlorophyll in Strahlen von geringerer Brechbarkeit umgewandelt werden und sich in dieser Form dem direkt wirksamen Teile des Spektrums zugesellen.

Die Menge der organischen Substanz, die in einem gegebenen Zeitraume unter sonst günstigen Bedingungen erzeugt werden kann, hängt selbstverständlich in erster Linie von der Intensität der verfügbaren Lichtquelle ab. Schon die landwirtschaftliche Erfahrung hat gelehrt, daß in Jahren, in denen der Himmel während der hauptsächlichsten Wachstumsperiode vorwiegend bewölkt und die Besonnung gering ist, auf den Wiesen ein Futter von wesentlich geringerer Nährkraft erzeugt wird als in Jahren mit ausgiebigem Sonnenschein. Die Güte der Trauben und des daraus gewonnenen Weines steht gleichfalls in Abhängigkeit von der Belichtung. Das Sonnenlicht ist eine Hauptbedingung für die Erzeugung organischer Substanz, sowohl in bezug auf ihre Menge wie Beschaffenheit.

Einen Ersatz dafür zu schaffen ist bis jetzt nur für die Kulturen in Gewächshäusern gelungen, indem hier elektrische Lampen an die Stelle der Sonne treten können. Direkt vom elektrischen Lichte getroffen werden die Pflanzen zwar geschädigt, indem die Blätter erkranken und abfallen, eine Wirkung, die auf übergroßen Reichtum des elektrischen Lichtes an den brechbaren und Mangel an roten Strahlen beruht. Nach Einschaltung matter Glasscheiben zwischen dem Bogenlicht und den Pflanzen übt dieses Licht aber einen so günstigen Einfluß auf das Wachstum aus, daß man mit seiner Hilfe sich von Klima und Jahreszeit unabhängig machen kann. Auch andere Lichtquellen wie das Magnesiumlicht, das Drummondsche Kalklicht, sogar das Gaslicht sind imstande, grüne Pflanzen zur Kohlensäurezersetzung zu befähigen.

Die organische Substanz, die in den belichteten grünen Zellen erzeugt wird, besteht, nach mikroskopischen Beobachtungen zu urteilen, zumeist aus Stärkemehl. Mit dem bewaffneten Auge läßt sich verfolgen, wie unter dem Einflusse der Belichtung in grünen Zellen, innerhalb der sogenannten Chlorophyllkörner allmählich winzige Körnchen von Stärkemehl auftreten, die bei längerer Verdunkelung wieder verschwinden, bei erneuter Lichteinwirkung von neuem erzeugt werden. Abgeschnittene Blätter, durch längeres Verweilen im Dunkeln stärkefrei gemacht und alsdann in kohlensäurehaltiger Atmosphäre dem Lichte ausgesetzt, füllen ihre Gewebe überall da mit Stärkekörnchen, wo sie vom Licht

Erzeugnisse der  
Assimilations-  
tätigkeit.

getroffen werden, während sie an den Stellen, von denen man mit Hilfe undurchsichtiger Gegenstände das Licht abhielt, stärkefrei bleiben. Das erste nachweisbare Erzeugnis der Kohlensäurezersetzung ist in dem geschilderten Falle und bei der überwiegenden Mehrzahl der Pflanzenarten das Stärkemehl, in anderen Fällen Zuckerarten oder ein anderes Kohlehydrat, auch Fett. Über den Verlauf des Assimilationsprozesses und über die Zwischenprodukte, die etwa zwischen der Kohlensäure und den Kohlehydraten liegen, läßt sich gegenwärtig nichts Sicheres aussagen. Unter mancherlei Hypothesen über diesen Vorgang hat wohl die Baeyersche, neuerdings von J. Reinke wieder aufgestellte die größere Wahrscheinlichkeit für sich; aus dem Kohlensäurehydrat soll unter der Mitwirkung des Chlorophylls Sauerstoff abgespalten und Formaldehyd gebildet werden, das sehr rasch durch Polymerisation in Glykose übergeht. Flüchtige Stoffe, die mit den Aldehyden manche Eigenschaften gemeinsam haben, kommen in der Tat in vielen grünen Pflanzen vor.

Ernährung der  
Pflanzen mit  
Stickstoff.

Unter den organischen Zellbestandteilen der Pflanzen finden sich nun nicht bloß solche, die Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, sondern auch noch ein viertes Element, nämlich Stickstoff enthalten. Auf welche Weise dieses Element assimiliert wird, schien in Anbetracht des Reichthums der Atmosphäre an Stickstoff anfänglich sehr nahe zu liegen. Vereinzelt Beobachtungen von Priestley und Ingen-Housz deuteten in der Tat darauf hin, daß der freie Stickstoff der Luft von den Pflanzen assimiliert werden könne. Genauere Untersuchungen von de Saussure widerlegten diese Ansicht sehr bald, aber vollkommen sichere Schlußfolgerungen ermöglichte erst Boussingault, der in den Jahren 1851—54 aus Samen eine Reihe von Pflanzen in stickstofffreien Mischungen von Sand und Bimssteinpulver mit Stallmistmasche in luftdichten Glaskästen zog und Sorge dafür trug, daß die eingeführte Luft weder Ammoniak noch Salpetersäure enthielt. Obgleich bei dieser Versuchsanstellung die Pflanzen an Trockensubstanz zunahmen, war trotz der großen Menge freien Stickstoffs in der zugeführten Luft eine Vermehrung der stickstoffhaltigen organischen Substanz nicht eingetreten, indem in der Aussaat und in der Ernte der gleiche Gehalt an gebundenem Stickstoff festgestellt wurde. Nach dieser Beweisführung, die später von anderen, insbesondere von Lawes, Gilbert und Pugh, wiederholt wurde, galt es als feststehend, daß der freie Stickstoff der Luft an der Ernährung der grünen Pflanze keinen Anteil habe.

Lange vor dieser Erkenntnis hatte die landwirtschaftliche Erfahrung bereits dazu geführt, Ammoniak- und Salpetersäureverbindungen als die Nahrungsmittel zu betrachten, aus denen die Pflanze ihren Stickstoffbedarf zu decken vermag. Die günstige Wirkung, die man bei der Anwendung ammoniakhaltiger tierischer Auswurfstoffe als Dünger beobachtet hatte, die weite Verbreitung des Ammoniaks im Boden und in den natürlichen Gewässern, verleitete indessen dazu, die Hauptrolle bei der Stickstoffernährung der Pflanzen anfänglich dem Ammoniak zuzuschreiben, wenngleich man damit eine Mitbeteiligung der Salpetersäure nicht in Abrede stellen wollte. Zu der Annahme, die dem Ammoniak die erste Stelle in der Stickstoffernährung der Pflanzen



einräumte, trug auch hauptsächlich der Umstand bei, daß man schon lange für den Nachweis des Ammoniaks sehr empfindliche Reaktionen kannte, während für die Salpetersäure ein gleiches erst später erreicht wurde, und daß man den Vorgang der Nitrifikation nicht genügend klar überschaute. Salpeter stand bereits mehrere Dezennien in Verwendung als Düngemittel, als Boussingault 1860 den Nachweis führte, daß Salpeterstickstoff, den Pflanzen als alleinige Stickstoffquelle dargeboten, zu einer vollkommen normalen Entwicklung ausreicht. Es gelang dem genannten Forscher, Kresse und Sonnenblumen in ausgeglühtem, also vollkommen stickstofffreiem Boden zu ziehen, wenn etwas Salpeter den Wurzeln zugeführt wurde; der Stickstoffgehalt der ausgelegten Samen vermehrte sich dabei um mehr als das Fünfzigfache, während ohne die Salpeterzugabe die Pflanzen höchst kümmerlich vegetierten und ihren Stickstoffgehalt nicht wesentlich veränderten. Das ganz gleiche Ergebnis wurde nachmals von einer ganzen Anzahl anderer Forscher erhalten, insbesondere auch von Knop bei der Kultur der Pflanzen in wäßrigen Lösungen, denen außer salpetersauren Salzen keine andere Stickstoffnahrung dargeboten worden war.

Während so mit aller Bestimmtheit nachgewiesen wurde, daß die Pflanzen ihren gesamten Stickstoffbedarf den Verbindungen der Salpetersäure zu entnehmen vermögen, verliefen die Untersuchungen mit Ammoniaksalzen zunächst nicht in der erwarteten Weise. In den meisten Fällen zeigten die Pflanzen, die den Stickstoff ausschließlich in der Form von Ammoniak erhielten, im Vergleich zu den Salpeterpflanzen eine kümmerliche Entwicklung; bei den Versuchen in wäßrigen Nährlösungen mußten bei ihnen die Lösungen häufig erneuert, abgestorbene faulende Wurzeln entfernt werden und anderes mehr, und trotzdem blieben die Pflanzen in ihrem Wachstum zurück. Erscheinungen dieser Art sind freilich, wie allmählich bekannt geworden, nicht der Form des dargebotenen Stickstoffs als solcher, sondern einigen Nebenumständen zuzuschreiben, die man namentlich bei der Anwendung der Wasserkultur schwer vermeiden kann. Wird aus Ammonium-Sulfat, -Chlorid oder -Phosphat das Ammoniak von den Wurzeln aufgenommen, so bleibt die vorher damit verbundene Säure, da sie von der Pflanze nicht immer verwendet werden kann, zurück und die Lösung nimmt alsdann im Laufe der Zeit eine so stark saure Beschaffenheit an, daß die Wurzeln beschädigt werden. Bei der Anwendung von salpetersauren Salzen bestehen diese Nachteile nicht, weil man diese Säure an solche Basen (Kali, Kalk) gebunden verabreichen kann, die ihrerseits selbst Pflanzennährstoffe sind, aufgenommen werden und die Reaktion der Lösung nicht stark beeinflussen können. Unter den natürlichen Verhältnissen des Pflanzenbaues sind freilich derartige Störungen fast immer ausgeschlossen, weil freie Mineralsäuren wie auch freie Alkalien sehr bald durch Umsetzung oder Vereinigung mit Bodenbestandteilen zum Verschwinden gebracht werden.

Der Beweisführung, daß das Ammoniak geeignet sei, die Pflanzen mit Stickstoff zu versorgen, ist später noch eine weitere Schwierigkeit erwachsen, indem erkannt wurde, daß Ammoniakverbindungen sowohl im Boden, wie auch

in wäßrigen Lösungen durch gewisse Bakterien verhältnismäßig leicht und rasch in Salpetersäure umgewandelt werden können. Strenge Beweiskraft ist demnach nur solchen Untersuchungen zuzuerkennen, in denen die Tätigkeit nitrifizierender Mikroorganismen gänzlich ausgeschlossen wurde. Unter Einhaltung dieser Vorsichtsmaßregel haben Pitsch und A. Müntz und auch Gerlach gezeigt, daß das Ammoniak den Pflanzen in der Tat den gesamten Bedarf an Stickstoff liefern kann. Jedweder Zweifel an der Fähigkeit der Pflanzen Ammoniak zu verarbeiten wurde durch eine Beobachtung A. Mayers behoben, der jungen Kohl- und Weizenpflanzen beträchtliche Mengen Stickstoff durch Bestreichen der Blätter mit kohlenurem Ammoniak zuführte und die Umwandlung dieses Stickstoffträgers in organische stickstoffhaltige Substanz analytisch nachwies.

Unter den gewöhnlichen Verhältnissen des Ackerbaues wird in Anbetracht der kräftigen Nitrifikation in den meisten Bodenarten der bei weitem größte Teil des Stickstoffs von den Pflanzen jedenfalls in Form von Salpetersäure aufgenommen. Doch läßt sich voraussehen und es ist auch festgestellt worden, daß Pflanzen, die in sumpfigen und moorigen Bodenarten gedeihen, nicht bloß die Fähigkeit besitzen, Ammoniak aufzunehmen, sondern wegen der Unmöglichkeit einer Salpeterbildung in derartigen Böden geradezu auf das Ammoniak angewiesen sind. Auch stickstoffhaltige organische Stickstoffverbindungen, namentlich solche, aus denen sich leicht Ammoniak abspalten läßt, sind befähigt, die Pflanzen mit Stickstoff zu versorgen. So ist nachgewiesen, daß Harnstoff, Glykokoll, Asparagin, Glutamin von den Wurzeln ohne vorherige Zersetzung aufgenommen werden und der Pflanze als Stickstoffquelle dienen können, während es für einige andere Stickstoffsubstanzen, wie Harnsäure, Koffein, Cinchonin, Chinin, wahrscheinlich gemacht worden ist, daß sie an der Stickstoffernährung der Pflanzen nicht teilnehmen können.

Aufnahme von  
elementarem  
Stickstoff.

Obgleich es nun durch die Untersuchungen von Boussingault, sowie von Lawes, Gilbert und Pugh unumstößlich sichergestellt zu sein schien, daß die Pflanzen nicht imstande seien, den freien atmosphärischen Stickstoff zu assimilieren, hielt man unter den Landwirten dennoch daran fest und wurde namentlich durch gewisse Erfahrungen mit den kleeartigen Gewächsen immer und immer wieder darauf hingewiesen, daß namentlich dem Klee außer den bekannten noch andere Stickstoffquellen zur Verfügung stehen müßten. Man hatte erfahren, daß man dem Klee eine Stickstoffdüngung gar nicht zuzuführen brauchte und dennoch Erträge von so hohem Stickstoffgehalt wie von kaum einer anderen Feldfrucht erzielte; man beobachtete regelmäßig, daß nach dem Anbau von Klee trotz der Entnahme sehr stickstoffreicher Ernten der Boden ertragsfähiger wurde und einer Düngung für die nächste Frucht nicht bedurfte. Die naheliegende Vermutung, daß die kleeartigen Gewächse imstande seien, den freien Stickstoff der Luft zu binden und zu verwerten, wurde freilich oft ausgesprochen, aber niemand fand sich zunächst, der das Rätsel zu lösen vermochte. Die älteren Versuche von Boussingault, der auch Papilionaceen benutzt hatte, und die Ausführungen Liebig's über diesen Gegenstand schienen

von einer Unanfechtbarkeit, daß man es überhaupt nicht wagte, in eine Nachprüfung dieser Arbeiten einzutreten. Ein Zufall war es, der im Jahre 1886 Hellriegel auf den richtigen Weg brachte. Während die Getreidearten und Hackfrüchte eine strenge Abhängigkeit der Erträge von der ihnen zur Verfügung stehenden Stickstoffmenge erkennen ließen, wollten sich die Leguminosen dieser Gesetzmäßigkeit nicht fügen, sondern gediehen ohne Stickstoffzufuhr, in reinem Sande gezogen, zuweilen üppiger als nach ausreichender Stickstoffdüngung. Des Rätsels Lösung fand sich in einer ganz unerwarteten Richtung. Hellriegel fand, daß die von ihm benützten Leguminosen: Erbsen, Serradella und Lupinen auf sterilisiertem Boden sich in der Stickstoffernährung den Zerealien vollkommen gleich verhielten und Erträge lieferten, die der Stickstoffzufuhr annähernd proportional waren. In nicht sterilisiertem Boden aber vermochten die Leguminosen unter gewissen Umständen selbst dann zu wachsen, wenn er frei von assimilierbaren Stickstoffverbindungen war oder nur Spuren von ihnen enthielt, und zwar insbesondere dann, wenn die Versuchskulturen während der Vegetation unbedeckt im Freien gehalten wurden, und sicher dann, wenn man dem stickstofflosen Bodenmaterial den durch Anrühren mit destilliertem Wasser und Absitzenlassen bereiteten Aufguß von einer geringen Menge (1—2<sup>0</sup>/<sub>100</sub>) eines zweckmäßig gewählten Kulturbodens beigab. Die Leguminosen brachten es in letzterem Falle nicht nur in der Regel zu einer durchaus normalen, sondern ausnahmsweise bisweilen zu einer auffallend üppigen Entwicklung, und in ihren Ernteprodukten ließ sich häufig ein sehr hoher Stickstoffmehrgelhalt nachweisen, der aus dem Boden nicht stammen konnte.

Der eigentümliche, sehr bedeutende Einfluß, den die Zugabe einer geringen Menge Bodenaufguß auf das Wachstum und die Stickstoffaufnahme der Leguminosen ausübte, ließ sich nicht erklären durch den Gehalt des Aufgusses an Stickstoff oder anderen Pflanzennährstoffen. Wurde der Aufguß gekocht oder auch nur auf 70° C erhitzt, so verlor er seine Wirksamkeit gänzlich und ausnahmslos. Auch wurde ein und dieselbe Leguminosenart durch Bodenaufgüsse verschiedener Herkunft sehr ungleich beeinflußt, und ein und derselbe Aufguß wirkte auf verschiedene Leguminosenarten durchaus verschieden. So beförderte der Aufguß von einem vorzüglichen Zuckerrübenboden, in dem Erbsen und verschiedene Kleearten seit langer Zeit in die regelmäßige Fruchtfolge eingeschoben, Serradella und Lupinen aber noch niemals angebaut waren, das Wachstum und den Stickstoffgehalt der Erbsen sicher und in bedeutendem Grade, hatte aber in der geringen Menge, in der er angewandt wurde, für die Entwicklung der Serradella und Lupine nie die geringste Wirkung.

Das durch Zufuhr von Bodenaufguß bedingte Wachstum der Leguminosen in einem stickstofffreien Bodenmaterial unterschied sich von ihrer Vegetation in einem sterilisierten, mit Nitraten versehenen Boden wesentlich und schon äußerlich sichtbar dadurch, daß im ersten Falle nach der Keimperiode in der Regel ein eigentümlicher, von sehr charakteristischen Erscheinungen begleiteter Hungerzustand eintrat, dem dann nach kürzerer oder längerer Zeit eine sehr kräftige und rasche Entwicklung folgte.

In sterilisiertem und während der Vegetationszeit steril erhaltenem oder mit einem unwirksamen Aufguß versehenen Boden wurde das Auftreten von Wurzelknöllchen bei den Leguminosen nicht bemerkt, gleichgültig ob der Boden stickstofflos war und die Pflanzen darin langsam verhungerten oder ob er mehr oder weniger Nitrate enthielt und die Pflanzen infolgedessen mehr oder weniger gute Entwicklung erreichten. In nicht sterilisiertem, mit einem wirksamen Bodenaufguß versetzten Bodenmaterial war dagegen die Bildung normal entwickelter Wurzelknöllchen stets nachweisbar, und hiermit war eine erhebliche Assimilation von Stickstoff, dessen Quelle im Boden nicht zu suchen war, immer verbunden. Die Knöllchenbildung ließ sich bei einer und derselben Leguminosenpflanze an der einen Hälfte des Wurzelsystems hervorrufen, an der anderen verhindern dadurch, daß man die erste in eine stickstofffreie, mit etwas Bodenaufguß vermischte und nicht sterilisierte, die andere in eine ganz gleich zusammengesetzte, aber durch Kochen sterilisierte Nährlösung eintauchen ließ. Die Entwicklung der Wurzelknöllchen erfolgte sehr früh, schon in dem vorbezeichneten Hungerstadium, in dem die Pflanzen, um ihr Leben zu fristen, ihre notwendigen Assimilationsorgane resorbieren mußten. Ein deutliches Wachstum der Leguminosen in stickstoffreiem Boden fand immer erst nach Bildung der Wurzelknöllchen statt.

Lebhaftes Wachstum der Leguminosen mit erheblicher Stickstoffaufnahme in stickstoffreiem Boden ließ sich auch dann erzielen, wenn man sie in einer von Stickstoffverbindungen gereinigten Atmosphäre oder in einem beschränkten Luftraume wachsen ließ, der ihnen nur Spuren gebundenen Stickstoffs liefern konnte.

Durch die eben vorgeführten Ergebnisse der Untersuchungen Hellriegels ist die Frage nach der Stickstoffversorgung der Leguminosen, die die Forschung ein halbes Jahrhundert lang in Spannung gehalten hatte, in ihren Hauptzügen klar beantwortet worden. Die Assimilation des freien Stickstoffs ist bei diesen Pflanzenarten an Mikroorganismen geknüpft, die nach ihrem Eindringen in die Wurzeln Knöllchen erzeugen und freien Stickstoff der Luft binden, den sie in irgend einer Form den Wirtspflanzen zur Verfügung stellen. Die eingehende Verfolgung der Beobachtungen Hellriegels durch eine sehr große Zahl anderer hat dann ergeben, daß es sich hierbei um eine Bakterienart (*Bacterium Radicicola*, Beijerinck) handelt, die nach ihrem Eintreten in die jungen Wurzeln sich so außerordentlich stark vermehrt, daß ihr Protoplasma mit dem der Wurzelzellen gewissermaßen verschmilzt und in einem späteren Stadium ihrer Entwicklung, in der Form der sogenannten Bakteroiden, freien Stickstoff in organische Verbindungen überführt. Nach den Untersuchungen Fr. Nobbes zeigt sich, daß eine Zuführung dieser Bakterien zu den Wurzeln nur dann von einer sicheren Wirkung ist, wenn die Pflanzen mit Bakterien aus Knöllchen der eigenen Art geimpft werden, daß es also verschiedene Rassen dieser Bakterien geben muß, die wahrscheinlich durch Anpassung an bestimmte Wirtspflanzen entstehen. So blieben z. B. Pisumbakterien vollständig unwirksam bei *Trifolium*, *Medicago*, *Robinia*, *Anthyllis* und *Ornithopus*, wirkten aber außer

bei *Pisum* auch auf *Vicia* und *Phaseolus*. In den Kulturböden scheinen aber indifferente Bakterienformen vorzukommen, die die Fähigkeit haben, sich an mancherlei, wenn auch nicht an alle Leguminosenarten anzupassen.

Die Hellriegelschen Entdeckungen haben nun auch auf den Weg zu besonderen praktischen Maßnahmen in der Landwirtschaft geführt. Während es früher nicht gelungen ist, gewisse Leguminosen, zum Beispiel *Serradella*, in Gegenden zu bauen, wo sie bis dahin nicht angebaut worden waren, hat man jetzt in der Impfung der Samen oder des Bodens mit virulenten Reinkulturen der betreffenden Bakterienart oder auch in der Zumischung von etwas Boden, auf dem jene Leguminosen bereits heimisch waren, die Mittel und Wege erkannt, die trotz mancher unvermeidlicher Mißerfolge doch die Aussicht eröffnet haben, das Gedeihen solcher auf einem gegebenen Boden neuanzusiedelnder Leguminosen sicherzustellen.

Es mag noch Erwähnung finden, daß die geschilderte Eigentümlichkeit, in Symbiose mit Bakterien freien Stickstoff zu assimilieren, nicht allein auf die Leguminosen beschränkt ist, sondern auch bei einigen anderen Pflanzenarten (so z. B. bei der Erle, Ölweide) beobachtet wurde. Wir haben an dieser Stelle jedoch den Kulturpflanzen unsere besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Neben der Produktion organischer Substanz, die durch die Zersetzung von Kohlensäure und Wasser und die Verarbeitung von Salpetersäure und Ammoniak, sowie bei der großen Gruppe der Leguminosen durch Bindung freien Stickstoffs vor sich geht, findet in den Pflanzen ein ununterbrochener Verbrauch der neugebildeten Substanz statt. Die Erhaltung des Lebens und die in jedem lebenden Organismus, ob Tier oder Pflanze, niemals aufgehenden stofflichen Veränderungen bedürfen einer Energiequelle, die bei den höheren Pflanzen in der aufgespeicherten organischen Substanz zu suchen ist. Selbst in dem latenten Lebenszustande, in dem sich die Samen befinden, werden wenn auch nur sehr geringe Mengen organischer Substanz zerlegt. Nach dem Erwachen des Lebens, bei der Quellung und Keimung der Samen, steigert sich die Stoffzersetzung in beträchtlichem Umfange, und später, nach der Ausbildung der chlorophyllführenden Assimilationsorgane, bleibt der Stoffverbrauch bestehen, nur wird er, solange das Licht auf die Pflanzen einwirkt, insofern verdeckt, als die Assimilation den Verbrauch unter gewöhnlichen Verhältnissen immer übertrifft. Dieser Stoffverbrauch betrifft sowohl die stickstofffreie wie die stickstoffhaltige organische Substanz. Die im Assimilationsvorgang entstandenen Kohlehydrate oder Fette zerfallen unter Sauerstoffaufnahme in Kohlensäure und Wasser, und die stickstoffhaltigen Assimilationsprodukte, zu denen in erster Linie die eiweißartigen Verbindungen zu rechnen sind, werden zerlegt und liefern eine Reihe von Spaltungsstücken, die man auch außerhalb der lebenden Zelle durch Hydrolyse der verschiedenen Eiweißstoffe darstellen kann. Zu diesen Spaltungsprodukten gehören Asparagin, Glutamin, Leucin, Tyrosin, Phenylalanin, Xanthin, Hypoxanthin, Guanin und andere. Die meisten dieser Stoffe werden von der Pflanze wieder zurückverwandelt in Eiweißkörper und sind früher nur als eine Form betrachtet worden, in der

Zerstörung von  
organischer Sub-  
stanz in der  
Pflanze.

die stickstoffhaltigen Verbindungen der Pflanzen nach den Verbrauchsorten transportiert werden. Manche Eiweißzersetzungserzeugnisse, darunter das Asparagin, Glutamin, Betain und andere, behalten dauernd ihre Form, namentlich in solchen Pflanzen, die wasserreiche Organe (Rüben, Früchte) bilden. Sehr reich an solchen nicht eiweißartigen Stickstoffverbindungen sind ferner die Pflanzenteile, die ein besonders lebhaftes Wachstum aufweisen, wie alle Keimlinge, jungen Triebe und sich entfaltende Blatt- und Blütenknospen. Nicht eiweißartige stickstoffhaltige Verbindungen gehören demnach nicht, wie man früher wohl annahm, zu den selteneren Pflanzenstoffen, sondern sie besitzen, wie Kellner gezeigt hat, eine ganz allgemeine Verbreitung im Pflanzenreiche.

Mineralische Bestandteile der Pflanzen.

Zu den Bestandteilen, die man in den Pflanzen regelmäßig vorfindet, gehören außer den stickstofffreien und stickstoffhaltigen organischen Substanzen noch eine Reihe mineralischer Stoffe: Kali, Natron, Kalk, Magnesia, Eisen- und Manganverbindungen, Phosphorsäure, Schwefelsäure, Kieselsäure und Chlor. Die rätselhafte Lebenskraft war es wiederum, die vor der Entwicklung der Naturwissenschaften für die Herkunft und Erzeugung aller dieser Stoffe verantwortlich gemacht wurde. De Saussure ahnte wohl die Bedeutung der Mineralstoffe, indem er 1804 schrieb: „Bevor wir zu unverständlichen, wunderlichen und allen bekannten Beobachtungen widersprechenden Verwandlungen unsere Zuflucht nehmen, wollen wir uns erst genau versichern, daß die Pflanzen diese Stoffe aus den Umgebungen, in denen sie sich befinden, nicht schöpfen können.“ Auch der Ansicht, daß die Mineralsubstanzen nur zufällige Bestandteile der Pflanzen seien, trat er entgegen und wollte sie nur gelten lassen für die Stoffe, die sich nicht immer in den gleichen Pflanzen vorfinden, nicht aber für die ständig darin auftretenden. Entscheidende Beweise für diese Auffassung beizubringen gelang freilich de Saussure ebensowenig wie denen, die in der Folgezeit denselben oder ähnlichen Ansichten huldigten. Immerhin hatten Humphrey Davy, besonders aber Sprengel, gestützt auf landwirtschaftliche Beobachtungen, der letzte auch auf Grund einer großen Anzahl von Aschenanalysen, mit aller wünschenswerten Deutlichkeit die Nützlichkeit und Notwendigkeit der Mineralstoffe für das Gedeihen der Pflanzen hervorgehoben.

Zum vollen Siege wurde die „Mineralstofftheorie“ aber erst 1840 durch Liebig geführt, der ohne neue Beobachtungen, allein durch die überzeugende Art seiner Darstellung — die allerdings nur dadurch ermöglicht wurde, daß Liebig den in Betracht kommenden Dingen, wie keiner vor ihm, auf den Grund schaute und ihre Tragweite abzuschätzen wußte, — und durch die Macht seiner Autorität auch diesem Teile der Pflanzenernährungslehre Geltung verschaffte. Der wirkliche Nachweis der Herkunft und der Notwendigkeit der Mineralstoffe wurde erst 1842 geliefert, nachdem die Universität Göttingen die Preisfrage gestellt hatte: „ob die sogenannten unorganischen Elemente, welche in der Asche der Pflanzen gefunden werden, auch dann in den Pflanzen sich finden, wenn sie ihnen nicht dargeboten werden, und ob jene Elemente so wesentliche Bestandteile des vegetabilischen Organismus seien, daß dieser sie zu seiner

völligen Ausbildung bedürfe“. A. F. Wiegmann und B. Polstorff lösten die Aufgabe, indem sie unter anderem Kressesamen in fein geschnittenen Platindraht aussäten und darin keimen und wachsen ließen, wobei sie nur destilliertes Wasser zugaben. Der Aschengehalt der so aufgezogenen Pflänzchen deckte sich genau mit dem Aschengehalt der Aussaat und ließ keine Vermehrung erkennen. Damit war dem Glauben an die Erzeugung der Mineralstoffe im Pflanzenleibe endgültig das Fundament entzogen. Bald folgten weitere Beweise durch Kulturen in reinem Quarzsand unter Ausschluß oder Zugabe von Aschenbestandteilen bei Zufuhr von reinem Wasser. Die üppige Entwicklung bei Gegenwart der pflanzlichen Mineralbestandteile und die kümmerliche Entfaltung der Pflanzen in Abwesenheit dieser Stoffe verschaffte der „Mineralstofftheorie“ bald allgemeine Annahme.

Die Forschungsmethoden, die bei diesen Arbeiten zur Anwendung kamen, erfuhren dabei nach und nach eine große Vervollkommnung. Die Kulturen im Quarzsande machten noch Platz den Kulturen in Nährstofflösungen. Wohl hatte man es schon lange Zeit vorher versucht, Pflanzen in Fluß- oder Regenwasser zu ziehen, de Saussure hatte sogar schon Lösungen verschiedener Salze benutzt, zielbewußt aber wurde diese elegante und durchsichtige Methode erst von J. Sachs und W. Knop in den Jahren 1850—60 in den Dienst der Forschung gestellt. Anfänglich wollte es nicht gelingen, alle die in den Pflanzenaschen regelmäßig aufgefundenen anorganischen Stoffe in einer Lösung zu vereinigen, deren Gehalt an freier Säure gering genug war, um den Wurzeln nicht zu schaden. Da manche unter diesen Stoffen, wie Kalk, Eisenoxyd, Phosphorsäure, in der Form, in der man sie anwenden zu müssen meinte, nebeneinander in Lösungen nicht bestehen konnten, sondern sich gegenseitig ausfällten, so versuchte J. Sachs, diese Salze in verschiedenen Lösungen, nacheinander den Pflanzen darzubieten, und hatte mit diesem Verfahren der „fraktionierten Lösungen“ Erfolg. Knop überwand die angedeuteten Schwierigkeiten und stellte eine ihrem Zweck vorzüglich entsprechende Nährstoffmischung her, die aus 4 Teilen Calciumnitrat, 1 Teil Kaliumnitrat, 1 Teil Monokaliumphosphat und 1 Teil Magnesiumsulfat bestand. Diese Mischung in einer Stärke von 0,5 bis 5 in 1000 Teilen Wasser aufgelöst und mit ein wenig gefällttem reinem Ferriphosphat versetzt, ist dann in der Folgezeit, nach der Anpassung an das wechselnde Ziel der Untersuchungen, sehr häufig benutzt worden und hat bei der Erforschung der Notwendigkeit der einzelnen Aschenbestandteile und deren Vertretbarkeit, ihre Aufnahme durch die Pflanze usw. wesentliche Dienste geleistet.

Als unentbehrlich für alle grünen Pflanzen erwiesen sich die Phosphor- und Schwefelsäure, das Kali, der Kalk, die Magnesia und das Eisen. Jedem dieser Stoffe fallen bestimmte, zum Teil freilich noch nicht vollkommen sicher erkannte physiologische Funktionen zu, die von anderen, wenn auch chemisch noch so nahe verwandten Stoffen nicht geleistet werden können. Von der Phosphorsäure weiß man, daß sie an der Zusammensetzung der in den Zellkernen vorkommenden Eiweißverbindungen (Nukleine) beteiligt sowie

Bestandteil anderer anscheinend ebenfalls lebenswichtiger Zellbestandteile (Lecithine und Lecithide) ist. Die Schwefelsäure ist die Form, in der die Pflanzen den zum Aufbau der Eiweißstoffe unbedingt erforderlichen Schwefel aufnehmen. Vom Kali wissen wir nur, daß es in den Pflanzen überall mit den Kohlehydraten vergesellschaftet ist, und haben nur erfahren, daß es sowohl bei der Entstehung, wie auch bei der Wanderung der genannten Stoffgruppe eine wichtige Rolle spielen muß. Noch weniger sind wir über die besonderen Funktionen unterrichtet, die der Kalk und die Magnesia in der Pflanze ausüben, wir wissen nur mit aller Sicherheit, daß alle in dieser Richtung bisher geprüften Pflanzen in ziemlich frühem Entwicklungsstadium zugrunde gehen, wenn ihnen die Aufnahme von Kalk oder Magnesia abgeschnitten wird. Andeutungen über etwaige wichtige Funktionen dieser beiden Nährstoffe liegen wohl vor; so findet man z. B. den Kalk in der Pflanze in großen Mengen an Oxalsäure (zu unlöslichem oxalsaurem Kalk) gebunden, eine Säure, die in freiem Zustande dem Zellinhalte schädlich werden könnte, und die Magnesia hat man neuerdings als integrierenden Bestandteil des Chlorophylls erkennen wollen (Willstätter). Das Eisen spielt bei der Entstehung des Chlorophylls eine wichtige Rolle; ohne Eisenzufuhr entwickeln sich Blätter von blasser, gelblicher Farbe, die Pflanze kränkelt und bringt es zu keiner normalen Erzeugung organischer Substanz.

Außer den eben besprochenen anorganischen Verbindungen, die wir zu den unentbehrlichen Nährstoffen der Pflanzen rechnen müssen, stoßen wir bei der Analyse der Pflanzenaschen ausnahmslos noch auf drei weitere Bestandteile anorganischer Natur, nämlich auf Kieselsäure, Chlor und Natron, von denen es zwar sehr wahrscheinlich ist, daß sie unter gewissen Umständen eine nützliche Rolle im Leben der Pflanze spielen, die aber nicht zu den unentbehrlichen Nährstoffen der Pflanze zählen. Es gelingt nämlich ohne Schwierigkeiten, selbst solche Pflanzen ohne diese drei Stoffe zur vollen Entwicklung und normalen Samenbildung zu bringen, die, unter natürlichen Verhältnissen gewachsen, besonders reich daran sind. Der gewöhnliche Sumpfreis, der in ausgereiftem Zustande in seiner Asche nicht weniger als 80% Kieselsäure enthält, hat in Wasser kultiviert ohne jede Zufuhr dieses Stoffes eine ganz normale Ausbildung erlangt. Früher, als man die Kieselsäure noch für einen unbedingt notwendigen Nährstoff, wenigstens der sogenannten Kieselpflanzen hielt, zu denen man auch die Getreidearten rechnete, hatte man sich die Ansicht gebildet, die Kieselsäure trage wesentlich zu der Festigkeit der Halme bei, verhindere dadurch das Lagern des Getreides und spiele somit eine sehr nützliche Rolle. Diese Ansicht mußte indessen aufgegeben werden, als gezeigt wurde, daß die Festigkeit der Halme und ihr Widerstand gegen das Lagern nicht eine Folge ihres Kieselsäuregehaltes ist, sondern daß die Neigung zum Lagern auf ungenügender Belichtung solcher Pflanzen beruht, die bei üppiger Entwicklung auf dem Felde zu eng beieinander stehen und sich zu sehr gegenseitig beschatten. Solche vergeilten Halme besitzen ein schwammiges, weniger stark verholztes Gewebe und haben die Neigung, sich bei Wind- oder Regendruck zu lagern. Für die Nützlichkeit des Chlors ist irgend ein überzeugender Grund nicht aufgefunden



worden. Dagegen kann man vom Natron annehmen, daß es bei gewissen untergeordneten Vorgängen, zum Beispiel bei der Neutralisation freier Säuren des Pflanzensaftes, das Kali wenigstens teilweise vertreten könne. Bei Versuchen mit Mohrrüben, Runkelrüben und Gerste hat das Natron einen unzweifelhaft günstigen Einfluß auf die Erträge ausgeübt, worüber aber noch weitere Beobachtungen anzustellen sein werden. Von sämtlichen übrigen anorganischen Stoffen, die man in Pflanzen in größeren oder geringeren, vielfach nur minimalen Mengen aufgefunden hat, darf, vielleicht das Mangan ausgenommen, angenommen werden, daß sie als nebensächliche Bestandteile aus der Umgebung der Pflanzen auf dem Wege der Diffusion in die Pflanze eindringen, ohne sich an deren Lebensvorgängen unmittelbar zu beteiligen. Nach einer Hypothese von O. Löw sollen manche von diesen Stoffen, so das Mangan, Fluor, Bor und andere, wenn in genügender Verdünnung dargeboten, eine für die Produktion günstige Reizwirkung ausüben. Die bisher hierüber angestellten Beobachtungen bedürfen indessen noch der Erweiterung.

Nach den Gesetzen der Diffusion kann aus den die Pflanzenwurzel umspülenden Lösungen von jedem diffusiblen Stoffe soviel aufgenommen werden, bis zwischen der Konzentration der Flüssigkeiten innerhalb und außerhalb der Wurzelzellen ein Gleichgewicht eingetreten ist. Sobald durch Verarbeitung und chemische Umwandlung des aufgenommenen Stoffes das Gleichgewicht gestört wird, wird eine weitere Menge desselben Stoffes von außen eintreten können. Darnach darf man sich die Aufnahme der anorganischen Stoffe nicht als einen regellos verlaufenden Vorgang vorstellen, nicht darf man, wie einstens, auf ein „quantitatives Wahlvermögen“ der Pflanze schließen, wenn sie aus einer Lösung von dem einen Stoffe viel, von dem anderen wenig aufnimmt, sondern man muß sich dabei vergegenwärtigen, daß nur diejenigen Stoffe, die in den Zellen eine chemische Änderung erleiden, in größeren Mengen in die Wurzelzellen eintreten können. Nicht immer brauchen es somit unentbehrliche Nährstoffe zu sein, die über den ursprünglichen Gleichgewichtszustand hinaus aus der Umgebung aufgenommen werden können, sondern jeder Stoff, der innerhalb des Pflanzengewebes eine chemische oder physikalische Zustandsänderung erfährt. Wenn also eine Pflanzenart die Fähigkeit besitzt, größere Mengen Kieselsäure in unlöslicher Form abzulagern, so wird sie, wenn ihr die Möglichkeit dazu geboten wird, viel davon aufnehmen. So erklären sich jedenfalls eine ganze Anzahl anscheinend merkwürdiger Unterschiede zwischen den verschiedenen Pflanzenarten.

Die Aufnahme derartig nebensächlicher anorganischer Stoffe hat sich noch aus einem anderen Grunde nützlich erwiesen, wie noch kurz auseinandergesetzt werden soll. Nachdem E. Wolff in mehrjährigen Untersuchungen mit Hilfe der Methode der Wasserkultur festgestellt hatte, welche Mengen der unentbehrlichen mineralischen Nährstoffe und des Stickstoffs die Haferpflanze zu ihrer vollkommenen Ausbildung bedarf, versuchte er es nunmehr, Hafer mit diesen Nährstoffmengen (2% Aschenbestandteile auf 100 Teile Trockensubstanz) aufzuziehen. Wider Erwarten gelang dieses trotz vielfacher Abänderung

der Nährstoffmischung nicht, die Pflanzen wuchsen dabei nur kümmerlich. Wurde aber das Gesamtquantum der dargebotenen Mineralstoffe erhöht durch Vermehrung des Kalkes, der Phosphorsäure oder, was hier das wichtigste ist, auch durch Zugabe eines entbehrlichen Aschenbestandteiles, der Kieselsäure, dann brachten es die Haferpflanzen zu einem normalen Gedeihen. Die Menge der den Pflanzen zugänglichen Mineralstoffe darf somit nicht unter ein gewisses Minimum sinken (beim Hafer etwa 3 Teile Asche auf 100 Teile Trockensubstanz), was mit Wahrscheinlichkeit als eine Anpassungserscheinung an die Verhältnisse in der freien Natur gedeutet werden muß, indem der auf dem Felde gewachsene Hafer selten unter 6 Teile Mineralstoffe auf 100 Teile Trockensubstanz enthält.

Das Gesetz des  
Minimums.

Die Erzeugung organischer Substanz hängt also von einer ganzen Reihe von Faktoren ab, von denen jeder einzelne bestimmend auf die Größe der Produktion ist. Besteht an dem einen oder anderen dieser Faktoren Mangel, mag es Licht, Wärme, Feuchtigkeit, Stickstoff, Phosphorsäure oder Kali sein, so hängt die Größe der Produktion nur von diesem einen Faktor ab, mögen alle übrigen Verhältnisse noch so günstig gestaltet sein. Das eben angedeutete, bereits von Sprengel erkannte „Gesetz des Minimums“, das mit Recht mit dem Namen Liebig's geschmückt ist, da dieser es zuerst auf das klarste und seiner Tragweite bewußt ausgesprochen hat, ist im Laufe der Zeit von außerordentlichem Einfluß auf die landwirtschaftliche Praxis, wie auch ganz besonders auf die Methoden der Versuchsanstellung geworden und verdient trotz seiner Selbstverständlichkeit als oberster Grundsatz für alle Maßnahmen angeführt zu werden, die die Hebung der Pflanzenerträge bezwecken. Es ist das Gesetz mit anderen Worten die Grundlage des Feldbaues und stellt ein Naturgesetz dar, das ohne jede Ausnahme stets und überall volle Gültigkeit behält.

Die Düngung  
der  
Kulturpflanzen.  
Einleitung.

Die Düngung der Kulturpflanzen. Wohl so lange wie der Ackerbau zu den menschlichen Beschäftigungen gehört, weiß man, daß man dem Boden etwas zuführen muß, wenn man dauernd befriedigende Ernten erzielen will. Seit uralten Zeiten bis auf den heutigen Tag benutzt man dazu die Exkremente der Haussäugetiere, deren befruchtende Wirkung sich jedem offenbarte, der Vieh auf seiner Scholle hielt und seine Saaten vor Augen hatte. Mancherlei Gedanken über die Ursache jener befruchtenden Wirkung sind uns aus uralten Urkunden zwar bekannt geworden, haben aber Jahrtausende hindurch einen wesentlichen Einfluß auf die Praxis der Düngung nicht gehabt. Der Chemie war es vorbehalten, auch auf diesem Gebiete neue Bahnen zu erschließen und das älteste Gewerbe des Menschengeschlechtes einem Aufschwung entgegenzuführen, wie man ihn noch vor 60—70 Jahren nicht ahnen konnte. Während vor einem Jahrhundert die Führer auf dem Gebiete der Landwirtschaft, Thaer an der Spitze, Sprengel und die bedeutendsten Naturforscher wie Berzelius, Mitscherlich, Mulder, Boussingault, auch de Saussure noch in dem Humus das Hauptnahrungsmittel der Pflanzen erblickten und nur einzelne unter ihnen es wagten, auch die Aschenbestandteile, die in den Gewächsen regelmäßig gefunden werden, als wichtige Bestandteile der Pflanzennahrung hinzustellen, zeigte erst 1840 der

geniale Liebig, in welchem Irrtum man sich bis dahin befunden hatte: „Die Nahrungsmittel aller grünen Gewächse sind anorganische oder Mineralstoffe, wie Kohlensäure, Ammoniak, Wasser, Phosphorsäure, Schwefelsäure, Kalk, Magnesia, Kali, Eisen und vielleicht Chlor und Natron. Die Wirkung der tierischen Auswurfstoffe beruht nicht auf der Vermehrung des Humus durch ihre Einverleibung in den Boden, sondern auf den in ihnen enthaltenen Mineralbestandteilen, namentlich den phosphorsauren Salzen von Bittererde und Kalk, kohlen-saurem Kalk und kieselsaurem Kali.“ Der große Meister wies auf die günstige Wirkung der kalireichen Holzasche hin, er lehrte, wie man die Knochen mit Schwefelsäure behandeln und in aufgelöster Form in den Boden bringen müsse, um der Phosphorsäure, die sich mit den basischen Bestandteilen des Bodens verbinde, eine möglichst feine Verteilung zu geben und sie so der Pflanzenwurzel zugänglich zu machen. „Als Prinzip des Ackerbaues muß angesehen werden, daß der Boden in vollem Maße wiedererhalten muß, was ihm genommen wird; in welcher Form dies Wiedergeben geschieht, ob in der Form von Exkrementen, oder von Asche, oder von Knochen, dies ist wohl ziemlich gleichgültig. Es wird eine Zeit kommen, wo man den Acker mit einer Auflösung von Wasserglas (kieselsaurem Kali), mit der Asche von verbranntem Stroh, wo man ihn mit phosphorsauren Salzen düngen wird, die man in chemischen Fabriken bereitet, gradeso wie man jetzt zur Heilung des Fiebers und der Kröpfe chemische Präparate gibt.“ Der Umfang, den die Herstellung künstlicher Düngemittel genommen hat, beweist schlagend die Richtigkeit der Voraussage Liebig's.

In einigen anderen Beziehungen aber hatte Liebig, wie wir schon in der Einleitung bemerkten, geirrt. Er hatte die Ansicht vertreten, daß die natürlichen Quellen des gebundenen Stickstoffs (Luft, Niederschläge, Boden) zu einer gedeihlichen Entwicklung der Kulturpflanzen ausreichen und der oft beobachtete günstige Einfluß der in der Düngung gegebenen Ammoniaksalze nicht auf der direkten Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff beruhe, sondern auf indirektem Wege, durch Auflösung von Kalkphosphat in der ammonsalzhaltigen Bodenflüssigkeit zustande käme; der Erfolg der Düngung beruhe in erster Linie auf dem Ersatz der durch die Ernten entzogenen Mineralstoffe, nicht aber auf dem Ersatz des Stickstoffs, der „aus einer Quelle stammt, die immer und ewig fließt und die unerschöpflich ist“. „Es ist für die Agrikultur von der größten Wichtigkeit zu wissen, daß die Zufuhr von Ammoniak für die meisten Kulturgewächse unnötig und überflüssig sei, daß der Wert eines Düngers, wie in Frankreich und Deutschland als Regel gilt, nicht beurteilt werden darf nach seinem Stickstoffgehalte, daß er diesem Stickstoffgehalte nicht proportional sei.“ Solche und ähnliche Aussprüche Liebig's stießen auf den lebhaftesten Widerspruch und verwickelten ihn in eine lange literarische Fehde mit J. B. Lawes in Rothamsted (England), A. Stöckhardt in Tharandt, E. Wolff und Walz in Hohenheim, Alexander Müller in Chemnitz und anderen. Sieger und Besiegte gab es allerdings kaum in diesem denkwürdigen Kampfe, obgleich es zum Schluß den Anschein hatte, als ob Liebig die Siegespalme zugefallen sei. In Wirklichkeit aber half dem streitgewandten Liebig das Gesetz

des Minimums (S. 446) aus arger Verlegenheit; er stellte schließlich den unanfechtbaren Satz auf: die Ammoniaksalze hätten keine dauernde Wirkung, wenn sie allein, ohne Mineraldünger zur Verwendung kämen. Der Streit um nichts, wie dieser Meinungs-austausch nach der ihm von Liebig gegebenen schließlichen Wendung genannt zu werden verdient, hatte trotz alledem den gewaltigen Erfolg, in weiten Kreisen der Wissenschaft und landwirtschaftlichen Praxis das lebhafteste Interesse für diese und ähnliche Fragen hervorzurufen. Fast könnte man sagen, die damalige gebildete Welt hätte, wesentlich veranlaßt durch den großen Namen und die glänzende Dialektik Liebig's, zwei Lager bezogen, das der „Stickstoffler“ und das der „Mineralstoffler“ (S. 415). In der Anregung und Aufklärung, die der denkwürdige Streit verbreitete, lag ein gewichtiger Grund für die so raschen Erfolge, die den agrikulturchemischen Lehren in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts in der Praxis der Landwirtschaft beschieden waren (vgl. auch die Einleitung).

Stickstoffdüngung und Mineralstoffdüngung.

Die natürlichen Stickstoffquellen, die auf gewöhnlichem Ackerboden den Kulturpflanzen fließen, setzen sich zusammen aus dem Vorrat an gebundenem Stickstoff, der sich infolge vorausgegangener Düngungen, in der Form von Wurzel- und Stoppelresten und durch andere Vorgänge angesammelt hat, ferner aus den sehr geringen Mengen Stickstoff, die mit den atmosphärischen Niederschlägen in den Boden gelangen, aus den von den Bodenteilchen und von den Pflanzen selbst aus der Luft aufgenommenen Mengen Ammoniak, Salpeter- und salpetriger Säure und endlich aus den durch stickstoffbindende Mikroorganismen und Algen aus dem elementaren Stickstoff der Luft erzeugten Stickstoffverbindungen. Abgesehen von den Leguminosen, die von den stickstoffbindenden Bakterien ihrer Wurzelknöllchen mit genügenden Mengen organisch gebundenem Stickstoff versorgt werden, beziehen, soweit unsere Kenntnisse reichen, alle übrigen Kulturpflanzen aus den eben genannten Quellen doch nur so viel Stickstoff, daß ohne eine Stickstoffdüngung ein lohnender Betrieb des Ackerbaues unmöglich wäre. In Rothamsted, wo man auf einem schweren Tonboden seit 1852 Versuche mit alljährlich wiederkehrender, ganz gleichbleibender Düngung ausführt, wurde zum Beispiel in vierzigjährigem Durchschnitt von einer Parzelle, die eine vollständige Mineral- und Stickstoffdüngung erhielt, pro Jahr und englischem Acre 36,5 Bushels Weizenkorn geerntet, während auf einer anderen Parzelle desselben Feldes, bei gleicher Zufuhr von Mineralstoffen, aber ohne Stickstoffdüngung nur 15 Bushels erzeugt wurden, ein gewaltiger Unterschied, der die ertragsteigernde Wirkung des Stickstoffs recht deutlich vor die Augen führt. In der Ernte (Stroh und Korn) der zuletzt erwähnten, ohne Stickstoffdüngung belassenen Parzelle fanden sich durchschnittlich 20,3 Pfund Stickstoff, 12 Pfund waren mindestens in den Drainwässern abgeflossen, woraus sich ein Gesamtverlust von 32,3 Pfund Stickstoff für diese Parzelle berechnet. Zu diesem Betrage waren nach der Analyse des Bodens aus den obersten 27 Zoll — 21,5 Pfund geliefert worden; im Regen und Schnee hatte die Parzelle 5 Pfund und in den ausgesäten Weizenkörnern 2 Pfund Stickstoff erhalten. Dem Verluste von 32,3 Pfund stehen hiernach im ganzen

28,5 Pfund Stickstoff aus dem Boden, dem Saatgut und den atmosphärischen Niederschlägen gegenüber, und nur 3,8 Pfund entstammten anderen Quellen. In der Hauptsache waren es danach alte Vorräte des Bodens an Stickstoff, die von den Weizenpflanzen aufgenommen worden waren. Der Boden verarmte bei fehlender Stickstoffdüngung, man trieb Raubbau. Nicht viel anders lagen die Verhältnisse auf einer Parzelle, die gänzlich ohne jede Düngung blieb und im Durchschnitt der 40 Jahre 13 Bushels Weizenkörner geliefert hatte. Hier erstreckte sich der Raubbau selbstverständlich auch auf die mineralischen Nährstoffe, insbesondere auf Phosphorsäure und Kali. Raubbau ist es auch, wenn man die Felder von Zeit zu Zeit unbepflanzt liegen läßt. Zwar wird während dieser Zeit der Vorrat an assimilierbaren Nährstoffen im Boden durch Zersetzung organischer Stickstoffverbindungen und durch die fortschreitende Verwitterung der Gesteinstrümmel vermehrt, und die auf die Brache folgenden Früchte sind dadurch etwas besser gestellt, auf jeden Fall wird der Boden aber durch die Brache seiner Verarmung um einen Schritt näher gebracht, ganz gleichgültig, ob das Land, wie es oft geschieht, in dieser Zeit zur Verbesserung seiner physikalischen Beschaffenheit, zur Vertilgung von Unkräutern und aus besonderen wirtschaftlichen Gründen einer Bearbeitung unterzogen wird oder nicht. Die Brache schafft keine neuen Nährstoffe, sondern macht nur bereits vorhandene beweglich und aufnehmbar und schiebt dadurch den Zeitpunkt, in dem eine weitere Düngung notwendig wird, nur etwas hinaus und birgt namentlich auf den leichteren Böden die Gefahr, daß ein Teil der infolge der vorschreitenden Nitrifikation entstehenden Salpetersäure durch die Sickerwässer dem Boden entzogen wird.

Die natürlichen Quellen der Stickstoff- und Mineralstoffnahrung fließen somit allen Beobachtungen zufolge im allgemeinen nicht reichlich genug, um ohne Zuhilfenahme von Düngemitteln dauernd einen lohnenden Anbau von Pflanzen zu ermöglichen. Selbst auf ursprünglich außerordentlich reichen Bodenarten, wie zum Beispiel auf manchen frisch in Kultur genommenen Urwaldböden oder auf den berühmten russischen Tschernozem (Schwarzerde), ist dem lohnenden Raubbau eine Grenze gezogen, die früher oder später erreicht wird. Von dem Zeitpunkte an, wo auch nur an einem der unentbehrlichen Pflanzennährstoffe Mangel eintritt, sinken nach dem früher erwähnten „Gesetz des Minimums“ (S. 446) die Erträge auf ein Maß, das mit den wirtschaftlichen Zielen des Ackerbaues häufig nicht mehr in Einklang steht. Von diesem Zeitpunkte an tritt das Bedürfnis hervor, den eingetretenen Mangel durch eine Zufuhr geeigneter Nährstoffe auszugleichen.

Die Erfahrung hat nun gelehrt, daß unter den unentbehrlichen Nährstoffen einige wenigstens in der Natur und im Boden in so großer Menge vorkommen, daß ihre verstärkte Zufuhr im praktischen Betriebe noch in keinem Falle eine Steigerung der Ernten bewirkt hat. Hierzu gehört vor allem die Kohlensäure. Man hat wohl gemeint, daß leicht zersetzliche organische Stoffe, dem Boden einverleibt, nach ihrer Oxydation die über der Bodenfläche lagernde Luftschicht an Kohlensäure bereichern und die Pflanzen zu einer

gesteigerten Verarbeitung dieses Nährstoffes und zu einer rascheren Erzeugung organischer Substanz befähigen würden. Die Prüfung durch den Versuch hat diese Erwartung getäuscht, die ausgiebigen Luftbewegungen an der Bodenoberfläche scheinen den oberirdischen Pflanzenorganen eine vollständig ausreichende Menge Kohlensäure zuzuführen. Auch andere Nährstoffe, wie die Schwefelsäure, das Chlor und die Eisenverbindungen, meist auch die Magnesia, stehen allen Erfahrungen zufolge den Pflanzen in der Natur in solchen Mengen zur Verfügung, daß sich eine besondere Zufuhr nicht notwendig macht. Dagegen tritt in den meisten Bodenarten ein Mangel an Stickstoff und Phosphorsäure, in vielen auch an Kali und in einigen wenigen auch ein Mangel an Kalk, sehr selten ein Mangel an Magnesia ein. Stickstoff, Phosphorsäure und Kali sind die drei Kernnährstoffe, deren Gehalt den Kulturpflanzen in ausreichender Menge zu bieten die Hauptaufgabe der Düngung ist. Der Landwirt bezeichnet diese drei auch als wichtige Pflanzennährstoffe, nicht weil sie für die Lebensvorgänge in der Pflanze wichtiger sind als die übrigen, sondern weil sie im aufnehmbaren Zustande im Kulturboden häufig in unzureichenden Mengen vertreten sind und von den Kulturpflanzen in nicht unbedeutenden Mengen aufgenommen werden müssen, wenn sie gut gedeihen sollen. Sie sind deshalb für den Landwirt tatsächlich wichtiger als die anderen.

Mängel der  
Düngung in  
früherer Zeit.

Bis vor weniger als 100 Jahren noch waren es neben kalkhaltigen, erdigen Materialien in der Hauptsache die Auswurfstoffe der Tiere und Menschen, dazu allerhand vegetabilische Erzeugnisse und Abfälle, die als Düngemittel in Anwendung kamen. Freilich reichte der Gehalt der Exkreme an pflanzlichen Nährstoffen zusammen mit allem dem, was durch Verwitterung im Boden verfügbar wurde, zu einem intensiven Betrieb des Ackerbaues nicht aus, weshalb man auch schon zu den Zeiten der „reinen Stallmistwirtschaft“ in Europa und der Fäkalienwirtschaft in den ostasiatischen Ländern gelegentlich noch zu mancherlei anderen Hilfsmitteln seine Zuflucht nahm. Nicht alles nämlich, was die Futter- und Nahrungsmittel enthalten, geht in den Kot und Harn über. Der Organismus des wachsenden Tieres behält immer einen Teil des verzehrten Stickstoffs wie namentlich auch der Phosphorsäure im Körper zurück, wie auch in der Milch beträchtliche Mengen dieser Stoffe dem Kreislauf vom Boden in die Nahrung, in den Körper und zurück in den Boden entzogen wird. Auch die Stoffe der Handelsgewächse usw. schlagen zumeist ganz andere Wege ein und gehen dem Boden verloren. Wohl liefern die Grasländer und Wiesen hierzu wieder einen Zuschuß, aber alles auf diese Weise dem Acker wieder Zuführte reicht nicht aus, den Entzug zu decken, der in jeder Wirtschaft durch den Verkauf marktfähiger Produkte entsteht. Dazu kam, daß man vor nicht gar langer Zeit noch gar nicht ahnte, welche ungeheuren Verluste besonders an Stickstoff die gewöhnliche Behandlung des Düngers auf seiner Lagerstätte und bei der Unterbringung in den Boden erleidet.

Behandlung des  
Stalldüngers.

Bei der außerordentlichen Wichtigkeit, die eine rationelle Behandlung des Stalldüngers für die Landwirtschaft besitzt, haben Agrikulturchemiker aller Länder sich bemüht, den Veränderungen nachzugehen, die dieser Dünger

auf seiner Lagerstätte erleidet, und die Bedingungen zu ermitteln, unter denen schädliche Veränderungen vermieden werden können. Die mit Einstreumaterialien (Stroh, Laubstreu, Moostorf u. a.) vermischten, mit Harn getränkten Auswurfstoffe der landwirtschaftlichen Nutztiere unterliegen nämlich auf der Düngerstätte einer heftigen, sehr rasch verlaufenden Zersetzung durch Mikroorganismen, die Ströme von Kohlensäure, auch etwas Methan erzeugen und namentlich die stickstoffhaltigen Bestandteile der flüssigen Ausscheidungen in kohlen-saures Ammoniak, das der Verdunstung unterliegt, zersetzen. Von dem ursprünglich im frischen Dünger enthaltenen Stickstoff kann auf diese Weise mehr als die Hälfte verschwinden. Alle Bemühungen, diesen Verlusten, die für gar nicht besonders große landwirtschaftliche Bezirke Millionen betragen, durch chemische Konservierungsmittel vorzubeugen, haben keinen nennenswerten Erfolg gehabt. Freilich gelingt es, nach Versuchen, den flüchtigen Nährstoff z. B. mit Hilfe von Schwefelsäure und Phosphorsäure oder den sauren Salzen dieser Säuren vollständig festzuhalten, man hat sich aber dennoch veranlaßt gesehen, von der Anwendung solcher Mittel, die auch den zweifellos nützlichen Bakterien den Lebensfaden abschneiden, abzusehen, besonders weil der so behandelte Stalldünger im Acker zu langsam zur Wirkung kommt. Andere ammoniakbindende Stoffe, wie Gips, Superphosphatgips, Eisenvitriol, verschiedene Kalisalze, zeigten entweder eine zu geringe Wirkung, als daß ihre allgemeine Verwendung empfohlen werden könnte, oder sie besaßen, wie der Eisenvitriol, andere mit dem Zweck der Verwendung unvereinbare Eigenschaften. Am besten konservierend wirkte eine Einstreu von Torf oder Erde, die beide ein kräftiges Absorptionsvermögen für Ammoniak besitzen und pflanzenschädliche Nebenwirkungen später nicht entfalten.

Nach allen bisherigen Beobachtungen spielt aber die mechanische Behandlung des Düngers auf seiner Lagerstätte die hervorragendste Rolle beim Zustandekommen der Stickstoffverluste. Eine Zeitlang glaubte man, es seien dabei denitrifizierende Organismen am Werke, — „salpeterfressende Bakterien“ wären es, die den im Stallmist entstehenden Salpeter umsetzen und Veranlassung zur Entstehung elementaren Stickstoffs gäben. Jedenfalls kann es keinem Zweifel unterliegen, daß auf der Düngstätte große Mengen von freiem Stickstoff gebildet werden können, wie aber ihre Entstehung zu deuten ist, ist noch nicht ganz klargestellt. Es steht fest, daß diese Wertverminderung vermieden wird im Tiefstall und eingeschränkt wird beim Hofdünger, wenn dieser ähnlich wie der Tiefstalldünger aufbewahrt wird. Ziel einer guten mechanischen Behandlung des Stalldüngers ist es deshalb, die Durchlüftung zu beschränken und dadurch den Hauptquellen der Stickstoffverluste, der Bildung von elementarem Stickstoff und der Ammoniakverdunstung, den Weg zu verlegen. „Feucht und fest“ so lautet gegenwärtig noch das Losungswort für die zweckmäßigste Behandlung des Stalldüngers. Man ist sich aber wohl bewußt, daß große Mengen des wirksamsten Stickstoffs dabei in Verlust geraten können und müssen. Torf und Erdstreu dienen dem gleichen Ziele, indem sie durch ihr starkes Aufsaugungsvermögen den Dünger feucht erhalten und den Luftzutritt einschränken. Auf

dasselbe läuft schließlich die Empfehlung zementierter Gruben für die Lagerung des Stalldüngers hinaus. Zwar soll hier die am Entweichen gehinderte Kohlensäure die Lebenstätigkeit der Bakterien und dadurch auch die Stickstoffverluste einschränken, es erscheint dies aber nur als eine andere Erklärung für eine Wirkung der festen Lagerung und Feuchterhaltung.

Die getrennte Aufsammlung und Aufbewahrung der festen und der flüssigen Ausscheidungen der Nutztiere, auf die Soxhlet die Aufmerksamkeit gelenkt hat, würde unzweifelhaft die Stickstoffverluste am wirksamsten beseitigen; denn aus einer bedeckten Jauchengrube entweichen nur sehr geringe Mengen Ammoniak, und der Kot könnte sogar austrocknen, ohne daß sein Stickstoffgehalt merklich schwindet. Daß man dieses Verfahren bis jetzt so wenig beachtet hat, liegt an den äußeren Schwierigkeiten, die sich der getrennten Aufbewahrung von Kot und Harn entgegenstellen. Auf praktischer Seite ist man am Werke, dieser Schwierigkeiten Herr zu werden. Soviel steht jedenfalls fest, daß es sich hier um Fragen handelt, die wegen ihrer großen Bedeutung bis heute nicht zur Ruhe gekommen sind, die auch vor ihrer vollständigen Lösung nicht zur Ruhe kommen werden.

Wie aus dem Gesagten hervorgeht, kann der für weite landwirtschaftliche Gebiete wichtigste Dünger, der Stalldünger, nicht imstande sein, allen Ansprüchen der Kulturgewächse zu genügen. Er führt zwar sämtliche Pflanzennährstoffe, ohne Ausnahme, dem Boden wieder zu, ist also ein vollständiger Dünger, aber er bringt nicht die ganze, dem Boden durch die Kultur entzogene Menge dem Boden wieder zurück. Es kommt hinzu, daß viele unserer hochgezüchteten Kulturpflanzen sehr erhöhte Ansprüche an den Nährstoffvorrat des Bodens stellen, und daß es vor allem wieder die drei genannten Nährstoffe sind, an deren Spitze der Stickstoff steht, die in größeren Mengen beansprucht werden.

Bemühungen, billigen Stickstoff in die Wirtschaft einzuführen.

Die Bemühungen beim Stalldünger waren, da das, was von nichtflüchtigen Bestandteilen, wie von Phosphorsäure und Kali verloren gehen kann, stets auf Rechnung unzulänglicher Einrichtungen der Ställe und Dungstätten zu setzen ist, von Anfang an darauf gerichtet, billigen Stickstoff zu gewinnen oder vielmehr festzuhalten, um sich von dem teureren Kunstdüngerstickstoff nach Möglichkeit loslösen zu können.

Gründüngung.

Die zweite billige Stickstoffquelle, die man mit allen Hilfsmitteln der landwirtschaftlichen Kunst zu erschließen und auszuschöpfen suchte, wird gekennzeichnet durch das Wort: „Gründüngung“. Diese Kulturart ist seit alters her bekannt gewesen, aber erst nachdem man durch Hellriegels Forschungen und Schultz'-Lupitz Erfahrungen erkannt hatte, daß den Leguminosen (Kleearten, Erbsen, Bohnen, Lupinen, Serradella usw.) die Fähigkeit zukommt, mit Beihilfe von Bakterien den freien Stickstoff der Luft sich dienstbar zu machen und davon die stickstoffhaltigen Stoffe ihres Körpers aufzubauen, hat man das von Schultz schon vor dieser Erkenntnis für seine Wirtschaft fertig ausgearbeitete und erprobte System der Stickstoffdüngung mit Gründüngungspflanzen mit mehr oder weniger Erfolg auf die verschiedensten Verhältnisse auszudehnen und anzuwenden versucht. Man hat aber im allgemeinen erkennen müssen,



daß bestimmte Bodenarten, vor allen Dingen aber ganz bestimmte klimatische Verhältnisse dazu gehören, um mit Hilfe von schmetterlingsblütigen Gewächsen den Luftstickstoff in erheblicheren Mengen und in nutzbringender Weise in die Wirtschaft einzuführen. Ebenso wenig wie die rationellere Stalldüngerbehandlung hat die Gründüngung eine allgemeinere Abkehr von den sogenannten künstlichen Stickstoffdüngern gebracht.

Ein dritter Anlauf, billigen Stickstoff zu erhalten, wiederum auf Kosten der unermesslichen Stickstoffquelle in der Atmosphäre, wurde zuerst mit Bewußtsein und anscheinend auch mit Erfolg, vom praktischen Landwirt Caron unternommen. Gewisse freilebende Bakterien im Boden, das wissen wir schon seit längerer Zeit (S. 430), vermögen unter günstigen Bedingungen den freien Stickstoff der Luft zu ihrem Lebensunterhalt heranzuziehen. Wenn es nun gelingt, durch Bodenbearbeitung und bestimmte Maßnahmen (Brache) diese günstigen Bedingungen zu schaffen, so kann es möglich erscheinen, den Kulturpflanzen sehr billigen Stickstoff im Boden zur Verfügung zu stellen. Alle zur Aufklärung dieser wichtigen Frage ausgeführten neueren Arbeiten haben nun gezeigt, daß auf diese stickstoffsammelnde Tätigkeit der Bodenbakterien keine großen Hoffnungen für die Landwirtschaft gesetzt werden können. Was man von ihren Lebensbedingungen kennen gelernt hat deutet darauf hin, daß nur unter Verhältnissen eine starke Stickstoffbindung erwartet werden kann, die im allgemeinen im Boden fehlen.

Stickstoffsamm-  
lung durch  
Bakterien.

Alle diese Bemühungen, die in der Wirtschaft selbst liegenden Stickstoffquellen zum ausreichenden Fließen zu bringen, und nach Möglichkeit die Hinzuziehung der teuren Stickstoffdüngemittel unnötig zu machen, haben ihr Ziel nicht, oder doch nicht voll erreicht.

Bevor wir uns den Stoffen zuwenden, die hier und an anderen Stellen Hilfe zu bringen vermögen, sei noch einer bisher nicht erwähnten Eigenschaft des Stalldüngers und des Gründüngers gedacht. Beide bringen große Mengen organischer Substanz in den Boden, die schneller Zersetzung anheimfällt und den Humusgehalt vermehrt. Obgleich man sich von den alten Humustheorien (S. 432) frei gemacht hat, hat man andererseits doch erfahren, daß dieser Humusgehalt in wichtigster Weise den Kulturboden beeinflußt: die Erde wird durch ihn feucht und warm gehalten, er hilft den Boden lockern, die Zersetzung der in der Ackerkrume enthaltenen Mineralstoffe beschleunigen, und er übt einen bestimmenden Einfluß auf die der Kultur günstige Tätigkeit der im Boden lebenden Mikroorganismen aus. Der Humus ist somit außerordentlich wichtig für das, was der Landwirt Boden-Gare nennt und mit Recht hoch einschätzt. Man kann behaupten, daß sich auf dem Felde trotz reichlicher Verwendung künstlicher Düngemittel Höchsternten nur dann erzielen lassen, wenn ihm auch humusbildendes Material auf die eine oder andere Weise, am besten in Form von Stalldünger zugeführt wird. Wenn es auch unter besonderen Verhältnissen gelingt, ohne ihn auszukommen, wird er doch stets, schon aus diesen Gründen, als Haupt- und Grunddünger angesprochen werden müssen.

Düngung mit  
organischer Sub-  
stanz.

Der Stalldünger, die menschlichen Exkreme und andere Abfallstoffe, die häufig im Kompost dem Acker zurückgegeben werden und ferner der Gründünger enthalten die in der Wirtschaft umlaufenden Mengen von Pflanzennährstoffen besonders von Stickstoff, Phosphorsäure und Kali. Bei den Ansprüchen, die der Landwirt heute an die Ertragsfähigkeit der Äcker und Wiesen stellt und stellen muß, reichen diese Mengen aber in den meisten Fällen nicht aus. Nur mit diesen Hilfsmitteln der alten Zeit ausgerüstet würde es der heutigen Landwirtschaft auch unmöglich sein, die Moore und die ausgedehnten Heiden und Sandländereien in lohnende Kultur zu bringen. Um die hier sich zeigenden Lücken ausfüllen zu können, hat die gütige Natur in vergangenen Entwicklungsperioden der Erde für die anspruchsvolle Menschheit gewaltige Vorräte der wichtigen Pflanzennährstoffe angesammelt und in großen Lagerstätten zur Anhäufung gebracht. Zum Teil dauern die Vorgänge, die zur Ansammlung führten, auch heute noch an.

Entstehung der Lagerstätten von Hilfsdüngern.

Die meist durch Organismenätigkeit entstandenen Phosphorit- und Raseneisensteinlager liefern zurzeit der Landwirtschaft die Phosphorsäure, und die fast bis zum letzten Rest ausgetrockneten Zechsteinmeere, die gewaltige Teile von Deutschland bedeckten und deren Reste unter einer Steindecke von oft bedeutender Mächtigkeit begraben liegen, geben das Kali, das für den landwirtschaftlichen Betrieb vielerorts notwendig geworden ist. Selbst den Stickstoff, das oft so flüchtige und nicht leicht zu fesselnde Element, an dessen Beherrschung hervorragende Männer ein Jahrhundert lang vergeblich sich bemühten, hat die Natur in fester gebundener Form anzusammeln gewußt, nämlich, wenn wir von kleineren anderweitigen Vorkommen absehen, in den großen Salpeterlagern Chiles und in Steinkohlen-, Braunkohlen- und Torflagerstätten, die sich an vielen Punkten der Erde massenhaft vorfinden und aus denen das Ammoniak bei der trockenen Destillation (Verkokung und Leuchtgasbereitung) als Nebenprodukt gewonnen werden kann und zum großen Teil auch gewonnen wird.

Entwicklung der Verwendung von Kunstdünger.

In den Zeiten, als man begann nach Hilfsmitteln zu suchen, um die Fruchtbarkeit der Felder zu heben und die Wirkung des Stalldüngers zu vervollständigen, kamen allerdings nur Knochen und Guano allein zur Verwendung, mit denen man gleichzeitig Stickstoff und Phosphorsäure, im Guano auch etwas Kali in den Boden brachte. Bald nach dem Bekanntwerden des Guanos in Europa durch A. von Humboldt stieg der Verbrauch des wirksamen Düngers ganz gewaltig, und schon anfangs der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts gingen die besseren Guanolager ihrer Erschöpfung entgegen. Die Verwendung von Guano und Knochenmehl, die natürlich in gewissem Umfange noch heute stattfindet, verdient besonders deshalb erwähnt zu werden, weil sie den Anfang der noch in unabsehbarer Weiterentwicklung begriffenen Benutzung von Kunstdüngemitteln darstellt. Gerade das schnelle Versiegen dieser Quelle bei gleichzeitiger starker Zunahme des Bedarfs hat, neben anderen wichtigen Ursachen, einen starken Ansporn gegeben, nach anderen Hilfsdüngern zu suchen und sie, wie oben schon angedeutet wurde, auch zu finden.

Vom Guano kam man auf das schwefelsaure Ammoniak und, als dieses nicht Stickstoffdünger, Schwefelsaures Ammoniak und Chilisalpeter. ausreichte, auf den Chilisalpeter, und diese beiden Stickstoffdünger sind bis auf den heutigen Tag die wichtigsten geblieben und werden diese Stellung wohl noch längere Zeit behalten. Von diesem gebundenen Stickstoff aus den Sparbehältern der Natur, dessen Bedeutung als Nährstoff und Baustoff der Kulturpflanzen ausreichend beleuchtet worden ist, gebraucht die Landwirtschaft fast aller Kulturvölker ganz gewaltige und alljährlich weiter anwachsende Mengen — allein in Deutschland sind in den letzten Zeiten jährlich gegen 200 Millionen Mark für Stickstoffdünger verausgabt worden. Der deutsche Landwirt und mit ihm viele Landwirte anderer Nationen haben sich so sehr an die Verwendung dieser Hilfsdünger gewöhnt, daß sie ohne sie gar nicht mehr auskommen würden. Nach zahlreichen Untersuchungen steht es wohl fest, daß der Ammoniakstickstoff in der Wirkung hinter dem Salpeterstickstoff zurücksteht, es wird diese Verschiedenheit aber schon durch einen geringen Preisunterschied zugunsten des Ammoniaksalzes ausgeglichen. Weiter kommt hinzu, daß gar nicht selten die besonderen Eigenschaften des Ammoniaks, die es bei exakten Gefäßversuchen stets hinter den Chilisalpeter zurücktreten lassen, auf freiem Felde zugunsten des Ammoniakstickstoffs wirken und ihm sogar den Vorrang vor dem Salpeterstickstoff geben können. Für die Bevorzugung des schwefelsauren Ammoniaks spricht ferner der Umstand, daß dieses Salz den Boden in keiner Weise ungünstig beeinflußt, während das beim Salpeter auf tonhaltigen Böden stets der Fall ist. Andererseits verdient die letzte Stickstoffform unbedingt den Vorzug, wenn eine Kopfdüngung erfolgen soll oder wenn bestimmte Kulturpflanzen, zum Beispiel Zucker- oder Futterrüben mit Stickstoff zu versorgen sind.

Bei aller Vortrefflichkeit und ausgedehntester Anwendbarkeit dieser Düngemittel haften ihnen, vom landwirtschaftlichen Standpunkte besehen, doch große Mängel an, die darin bestehen, daß einmal der Preis des Stickstoffs in ihnen sehr hoch ist, und daß sie ferner keineswegs als unerschöpfliche Quellen für die Versorgung der Kulturpflanzen mit Stickstoff gelten können. Der hohe Preis der Stickstoffdünger hat naturgemäß zur Folge, daß in der Landwirtschaft viel zu wenig davon angewendet wird. Um die tatsächlich vorhandenen Lücken nur einigermaßen auszufüllen, müßten allein in Deutschland nicht 200, sondern 500 oder 600 Millionen Mark für Stickstoffdünger jährlich ausgegeben werden. Was die Möglichkeit der Erschöpfung der Stickstoffvorräte der Natur betrifft, so kommen für den großen Salpeterbedarf der Landwirtschaft im Grunde nur die Lagerstätten in Chile in Betracht. Die Hoffnungen, die man bisher auf andere Gebiete der Erde, die ähnliche klimatische Bedingungen aufweisen, wie Chiles Salpeterwüsten, gesetzt hat, mußten bisher eine nach der anderen zu Grabe getragen werden. Nach einem älteren Urteile der Sachverständigen sollten nun die chilenischen Lagerstätten höchstens noch 40 Jahre für die steigenden Bedürfnisse der Landwirtschaft ausreichen. Es stützten sich diese Berechnungen aus dem Ende des vorigen Jahrhunderts vornehmlich auf die Untersuchungen der Lager von Tarapaca, die tatsächlich in 20 bis 25 Jahren erschöpft sein sollen. Inzwischen sind aber ausgedehnte Lagerstätten in bisher unerforschten Gebieten,

so von Toco, Taltal, Antofagasta und Aguas Blancas, aufgefunden worden, so daß nach neueren Schätzungen, selbst bei weiterer Steigerung des Weltverbrauches, auch in 100 Jahren noch keine Erschöpfung der Salpetervorräte eingetreten sein soll. Ob diese Angaben der Wirklichkeit entsprechen, mag dahin gestellt sein, jedenfalls steht fest, daß es sich um ein eigenartiges geologisches Vorkommen handelt, das einmal ausgeschöpft sein wird, und es ist kaum zu erwarten, daß ähnlich große Ansammlungen an einer anderen Stelle der Erde wiederkehren.

Die Ammoniaksalze, die als Nebenprodukte in den Kokereien und Leuchtgasfabriken gewonnen werden, gehen mit den Kohlenvorräten zu Ende. Dieser Zeitpunkt liegt ohne Frage noch in weiter Ferne — aber selbst wenn die Erzeugung von Ammoniaksalzen in Zukunft auch nach Möglichkeit, unter Heranziehung der Moore, weiter gesteigert wird, so werden sie doch bei weitem nicht imstande sein, den Bedarf und Ausfall an Chilisalpeter zu decken, und der Preis des Stickstoffs wird nicht geringer, sondern höher werden, wenn nicht von anderer Seite Hilfe gebracht wird.

Stickstoffdünger  
aus Luftstickstoff.

„Billiger Stickstoff und ausreichende Stickstoffquellen“ ist deshalb schon seit einigen Jahrzehnten die Losung der Landwirtschaftswissenschaft und -praxis gewesen, und auf verschiedene Weise hat man sich in den letzten Jahrzehnten des jüngstverflossenen Jahrhunderts bemüht, wohlfeile Stickstoffquellen zu erschließen oder vorhandene zum reichlicheren Fließen zu bringen. Die Anstrengungen, die man gemacht hat, um den Stalldünger vor den großen Verlusten, denen er ausgesetzt ist, zu bewahren, um durch Gründüngung mit Leguminosen oder Unterstützung gewisser im Boden frei lebenden Bakterien den elementaren Stickstoff der Luft in Pflanzennahrung überzuführen, haben wir bereits geschildert. Wir können heute als sicher annehmen, daß alle diese Maßnahmen, trotz ihrer Wichtigkeit, niemals allgemein an Stelle der Stickstoffdünger gesetzt werden können. Der Beweis für diese Behauptung läßt sich schon aus dem Umstande ableiten, daß gerade seitdem man sich auf das eifrigste bemüht, die erwähnten Vorgänge in der Landwirtschaft auszunützen, eine gewaltige Steigerung des Verbrauchs von Stickstoffdüngern eingetreten ist, die noch stetig fortschreitet.

Man sah im letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts auch wohl schon hilfesuchend nach der chemischen Wissenschaft und Technik herüber, die so manche unlösbar scheinende Aufgabe fast spielend gelöst hatten. Bereits seit Priestleys und Cavendishs Zeiten, also seit mehr als hundert Jahren, sind nämlich zahlreiche Versuche angestellt worden, den in unerschöpflichen Mengen vorhandenen Luftstickstoff in Fesseln zu schlagen. Daß die praktische Lösung dieses Problems in der von Cavendish angegebenen und auch noch in anderer Weise schon vor der Türe stand, ahnte man am Ende des letzten Jahrhunderts noch nicht. Wohl aber erkannte man mit aller Deutlichkeit die gewaltige Bedeutung, die einer Lösung der Frage innewohnt. Das zeigt unter anderem ein Ausspruch des bekannten englischen Chemikers William Crookes, den er bei der feierlichen Eröffnung der Sitzungen der „British Association“ im Jahre 1898, also an der Wende des Jahrhunderts, tat. Crookes, der sich selbst mit der

Frage der Stickstoffverbrennung beschäftigt hatte, sagte etwa: „Auf die Dauer wird es unmöglich sein, der beständig anwachsenden Bevölkerung der Erde Brot zu schaffen, wenn es nicht gelingt, auf künstlichem Wege dem Boden die erforderliche Stickstoffdüngung zu geben; . . . . die Möglichkeit, den in der Luft befindlichen Stickstoff in Bindung zu bringen, ist aus diesem Grunde eine der größten Erfindungen, die nur darauf wartet, durch den Scharfsinn der Chemiker zweckentsprechend nutzbar gemacht zu werden.“ Ähnlich hat sich auch der französische Chemiker André ausgesprochen, ähnlich haben alle Agrikulturchemiker zu jener Zeit gedacht und gelehrt. — Die sogenannte „Stickstofffrage“, das heißt die Frage nach ausreichenden und wohlfeilen Stickstoffquellen für die Landwirtschaft, hatte, wie aus dem Gesagten ohne weiteres hervorgeht, vor wenigen Jahren noch einen geradezu drohenden und gefährlichen Charakter. Daß ihr dieser genommen ist und daß die Landwirtschaft aller Länder heute, wenigstens soweit die Beschaffung des Düngerstickstoffs in Betracht kommt, fast ohne Sorgen in die Zukunft blicken kann, das verdankt sie tatsächlich der Nutzbarmachung des Luftstickstoffs durch die chemische Technik. Es ist also ganz so gekommen, wie Crookes es vorhergesagt hatte. Das Ziel des Chemikers war, den in der Luft in freiem, ungebundenem Zustande enthaltenen Stickstoff in Verbindungen überzuführen, die zur Pflanzenernährung Verwendung finden können. Auf zwei verschiedenen Wegen, deren Anfänge weit zurückliegen, strebte man dem genannten Ziele zu und erreichte es, als man mit dem wissenschaftlichen und vor allem mit dem technischen Rüstzeug der neueren Zeit an die Frage herantrat, in unglaublich kurzer Zeit auf beiden. Als eine technische Vorbedingung für die Stickstoffbindung hat sich die Möglichkeit der billigen Herstellung starker elektrischer Ströme erwiesen.

Es soll hier nicht näher auf den chemischen und technischen Teil dieser Erfolge eingegangen werden; nur daran sei erinnert, daß es im Laufe weniger Jahre gelungen ist, bei starken elektrischen Entladungen oder vielmehr bei den hierbei erzielten hohen Temperaturen den Stickstoff mit dem Luftsauerstoff zu vereinigen. Das hierbei zuerst gebildete Stickoxydgas kann leicht in Salpetersäure übergeführt werden, und diese liefert durch Neutralisation mit Kalk den Kalksalpeter, der bereits in beträchtlichen Mengen (1910 waren es 135 000 dz) von Norwegen aus in den Handel gebracht wird.

Kalksalpeter.

Der zweite Weg, der zur Herstellung eines marktfähigen und unter Umständen gut verwendbaren Stickstoffdüngemittels, des Kalkstickstoffs, geführt hat, geht von weit zurückliegenden Beobachtungen bei metallurgischen Prozessen aus und endet bei der Erfahrung, daß Erdalkalidkarbide — praktisch ist nur die Verwendung des Calciumkarbides — bei hohen Temperaturen freien Stickstoff der Luft begierig aufnehmen. Es bildet sich bei der Verwendung des genannten Ausgangsmaterials Calciumcyanamid, das der wesentliche Bestandteil des mit dem wenig schönen Namen „Kalkstickstoff“ geschmückten neuen Düngemittels ist.

Kalkstickstoff.

Zu den wichtigen, stickstoffhaltigen Hilfsdüngern, dem Chilisalpeter und schwefelsauren Ammoniak, kommen somit neuerdings der Kalksalpeter und der

Kalkstickstoff hinzu. Der Kalksalpeter ist im allgemeinen, in seiner Stickstoffwirkung, dem Chilisalpeter gleichzusetzen, er kann als Kopfdünger verwendet werden und zeigt auf tonhaltigen Böden nicht die schädlichen Beeinflussungen wie der Chilisalpeter. Leider hat dieser Dünger aber die für seine Aufbewahrung und Verwendung sehr mißliche Eigenschaft, stark hygroskopisch zu sein und durch Wasseranziehung an der Luft zu zerfließen. Der Kalkstickstoff, der in einer ganzen Anzahl von Fabriken hergestellt wird, ist eine ganz eigenartige Erscheinung auf dem Düngemarkt. Es handelt sich nämlich in der Form, in der er zur Verwendung gelangt, nicht um einen Pflanzennährstoff, sondern sein wertvoller stickstoffhaltiger Bestandteil ist ein Pflanzengift und ebenso die nächsten Spaltungsprodukte dieses Stoffes, die sich beim Zusammenkommen mit den feuchten Bodenbestandteilen bilden müssen. Diese Verbindungen müssen im Boden, bevor sie als Pflanzennahrung in Betracht kommen, tiefer gehende Zersetzungen erleiden, die beim tätigen Boden durch seine katalytischen Eigenschaften und wohl auch in geringerem Maße durch Bakterien und Pilze veranlaßt werden. In normalem Ackerboden wird aus der Stickstoffverbindung des Kalkstickstoffs schnell zuerst Harnstoff, dann Ammoniak und endlich Salpetersäure. Richtig verwendet schließt sich hiernach der Kalkstickstoff in seiner Wirkung dem schwefelsauren Ammoniak an und kann in vielen Fällen dem letzten gleichgesetzt werden, wobei zu bemerken ist, daß veranlaßt durch den eigenartigen Charakter des Stoffes immer eine gewisse Unsicherheit der Wirkung bleibt. Auch hiervon abgesehen haften dem Kalkstickstoff einige unangenehme Eigenschaften an, die seiner Einführung in die Praxis sehr im Wege gestanden haben.

Die Landwirtschaft hatte die Hoffnung gehegt, daß mit den beiden Düngemitteln tüchtige und wirksame Konkurrenten des Chilisalpeters auf dem Weltmarkt erschienen seien, die geeignet sein möchten, die Monopolstellung dieses Produktes zu brechen. Auf Grund sämtlicher Erfahrungen, die man bisher in Industrie und Landwirtschaft auf diesem Gebiete gemacht hat, ist aber zu sagen, daß die Herrschaft auf dem Stickstoffmarkt die bewährten Stickstoffdüngemittel Chilisalpeter und schwefelsaures Ammoniak ausüben werden und daß ihr Stickstoffpreis so bald nicht vom Stickstoffpreise anderer Düngemittel beeinflußt werden wird. Es hat sich weiter herausgestellt, daß bei den jetzigen Ausbeuten die Salpetersäuresynthese niemals den Weltkonsum an Stickstoff, auch nur zum größeren Teil zu decken imstande ist. Ähnlich vermag der Kalkstickstoff, ob er direkt oder nach der Umwandlung in schwefelsaures Ammoniak Verwendung findet, nur einen sehr kleinen Teil des Bedarfes zu befriedigen. Beide Düngemittel sind Lückenbüßer, deren Erscheinen bei dem immer gewaltiger anschwellenden Bedarf der Erdenbewohner an gebundenem Stickstoff zu begrüßen ist, die aber unter der gewaltigen Menge der aus anderen Quellen stammenden Stickstoffdüngemittel verschwinden werden, ohne auf die Preisbildung einen Einfluß ausgeübt zu haben. Obgleich somit die Hoffnungen, die die Landwirtschaft auf die neuen Düngemittel setzte, bisher durchaus nicht als erfüllt betrachtet werden können, so muß es doch als ein Triumph der

modernen chemischen Technik bezeichnet werden, daß sie innerhalb weniger Jahre zwei Wege ausgebaut hat, auf denen man zu brauchbaren, im wahrsten Sinne des Wortes „künstlichen“ Düngemitteln zu gelangen vermag, die nicht höher zum Teil sogar niedriger im Preise stehen, als die von der Natur dargebotenen ähnlichen Stickstoffdünger. Vor allem ist es der chemischen Technik schon jetzt gelungen, die Sorge um die Beschaffung ausreichender Mengen von Düngestickstoff für jene Zeiten zu zerstreuen, in denen die Chilisalpeterlager einmal wirklich abgebaut sein werden. Ob die heutigen Luftstickstoffdüngemittel bereits die endgültige Form darstellen, ist fraglich und, vor allen Dingen beim Kalkstickstoff, unwahrscheinlich. Es ist auch nicht ausgeschlossen, daß noch andere Methoden der Bindung des Luftstickstoffs (so die Habersche Methode der direkten Vereinigung von Stickstoff und Wasserstoff zu Ammoniak) zu brauchbaren Düngern führen können. Ein abschließendes Urteil hierüber läßt sich nicht abgeben, da noch alles im Werden und Wachsen ist. Daß die Landwirtschaft mit stets offenen Augen die Entwicklung dieser Dinge verfolgen wird und muß, ist klar, denn mit keiner Industrie sind ihre Interessen so innig verwachsen wie mit dieser.

Der zweite wichtige Pflanzennährstoff, dessen in der Wirtschaft umlaufende aufnehmbare Mengen sehr häufig nicht ausreichen, ist nach unseren früheren Ausführungen die Phosphorsäure. Ähnlich wie die Natur in vergangenen Zeiten große Mengen von Stickstoff angesammelt und in großen Lagerstätten zur Anhäufung gebracht hat, so auch von diesem Pflanzennährstoff. Auch in bezug auf die Phosphorsäure ist die Befürchtung ausgesprochen worden, daß einmal Mangel für die Landwirtschaft eintreten könnte. Tatsächlich findet sich hier kein Ausweg wie beim Stickstoff; sind die von der Natur dargebotenen Ansammlungen beseitigt, so ist ein Ersatz ausgeschlossen. Die Vereinigten Staaten von Amerika sollen diesem Umstande in der neuesten Zeit bereits Rechnung getragen haben, indem sie neu aufgefundene Lagerstätten der industriellen Ausbeutung entzogen. Die Triebfeder zu diesem Vorgehen ist die Furcht, daß der Eigenbedarf in absehbarer Zeit aus den ehemals ungeheuren Phosphatlagern in Florida, Südcarolina und Tennessee nicht mehr gedeckt werden könnte. Man rechnet heute, daß in 50—60 Jahren, bei weiterer Zunahme des Abbaues sogar in 25 Jahren diese gewaltigen Vorräte, die auch vielen anderen Ländern der Erde zurzeit das Hauptmaterial zur Herstellung von Superphosphat liefern, verschwunden sein werden. Diese Verhältnisse sichern den Phosphatlagern, die sich in großer Ausdehnung an der Nordküste Afrikas, von Tunesien, Algerien bis Marokko hin vorfinden, wachsende Bedeutung. Von diesen Lagerstätten kann man wohl behaupten, daß selbst bei starker Inanspruchnahme noch nach 100 Jahren der größte Teil unabgebaut sein wird. Außer den genannten sehr großen Lagern finden sich auch sonst auf der Erde noch zahlreiche bekannte und sicher auch noch unbekannte Ansammlungen von abbauwürdigen Phosphaten, so daß mehrere Jahrhunderte lang ein Mangel schwerlich eintreten wird. Sicher ist aber wohl, daß viel früher als die Steinkohle die Phosphate

Phosphorsäure-  
dünger, Super-  
phosphate.

einmal abgebaut sein werden; die Menschheit wird sich dann größter Sparsamkeit bei der Verwendung dieses Pflanzennährstoffs befließigen müssen.

Thomasschlacke  
und andere  
Phosphate.

Die zweite große Phosphorsäurequelle, die in gewissen Eisenerzen vorhanden ist und der Landwirtschaft in Form von Thomasschlacke, die bei der Entphosphorung des Eisens entsteht, zugute kommt, hat in den letzten Jahrzehnten stetig an Bedeutung gewonnen. Die Produktionshöhe der Thomasschlacke hängt ganz von der des Eisens ab, man kann direkt den Satz aufstellen: viel Eisen, viel Schlacke — wenig Eisen, wenig Schlacke. Mit anderen Worten heißt das, daß der Landwirtschaft zur Zeit der Blüte der Eisenindustrie viel Thomasmehl zur Verfügung steht, zu Zeiten zurückweichender Eisenerzeugung wenig. Künstlich kann die Produktion von Thomasmehl nur wenig gehoben werden.

Die Thomasschlacke kann nach ausreichend feiner Mahlung ohne weiteres für die Düngung verwendet werden, da sie die Phosphorsäure in einer Form enthält, die zwar nicht in Wasser löslich ist, die aber doch durch die Pflanzenwurzel in Lösung gebracht und aufgenommen werden kann. Die Schlackemehle verschiedener Herkunft und Erzeugungsweise verhalten sich in dieser Hinsicht nicht gleichartig. Die feine Mahlung ist bei den Phosphoriten zu meist nicht ausreichend, um aus ihnen Düngemittel zu machen. Wohl können die weicherartigen Rohphosphate, von denen als die besten Algier- und Gafsa-phosphat zu nennen sind, nach ausreichender Zerkleinerung mit gutem Erfolge auf Hochmoorboden und auch auf sauren Mineralböden zur Düngung verwendet werden, da die Säure des Bodens die Löslichmachung übernimmt, auf anderen Bodenarten in guter Kultur, besonders aber auf kalkreichen ist dagegen von der Verwendung von Rohphosphaten unbedingt Abstand zu nehmen. Um ganz allgemein für Düngungszwecke tauglich zu erscheinen, werden die feingemahlten Phosphorite gemeinlich mit soviel Schwefelsäure behandelt, daß aus dem schwerlöslichen und den Pflanzenwurzeln schwer zugänglichen Tricalciumphosphat in Wasser lösliches Monocalciumphosphat entsteht. Die so gebildeten, bei richtiger Fabrikation streufähigen, trocknen und viel Gips einschließenden Massen werden unter dem Namen Superphosphat in den Handel gebracht und verwendet. Eine ähnliche „Aufschließung“, das heißt Löslichmachung der Phosphorsäure für Düngungszwecke wird auch häufig bei anderen phosphorsäurehaltigen Materialien wie Knochen und Guano vorgenommen. Dem alten Aufschließverfahren der Rohphosphate haben sich neuerdings andersartige zugesellt, die teils mit Hilfe der Elektrolyse arbeiten (Palmaer-Phosphat — ein Dicalciumphosphat), teils durch Zusammenschmelzen mit Alkalisalzen eine Löslichmachung der Phosphorsäure zu erzielen suchen (Wolters-, Schröder-Phosphat). Es ist nur auf das lebhafteste zu wünschen, daß die Herstellung dieser Phosphate im großen sich als durchführbar erweist und daß es vielleicht mit Hilfe dieser neuen Aufschließverfahren gelingt, die minderwertigen Phosphate, von denen noch große Vorräte vorhanden sind, in guten Phosphorsäuredünger zu verwandeln.

Kalldünger.

Als weiteren Nährstoff, der dem Kulturboden in größeren Mengen zugeführt werden muß, wenn er dauernd reiche Erträge bringen soll, haben wir



bereits das Kali genannt. Besonders groß ist das Kalibedürfnis der Wiesen, es tritt ferner besonders in die Erscheinung bei intensivem Hackfruchtbau (bei Rüben und Kartoffeln), ferner bei Lupinen, Serradella und anderen Leguminosen. Dankbar für die Kalidüngung sind auch alle Fruchtbäume und verschiedene Getreidearten. Die Erkenntnis, daß die Landeskultur durch Kalisalze einer beträchtlichen Steigerung fähig ist, hat die im deutschen Boden weitverbreiteten Kaliverbindungen (mit Natrium- und Magnesiumsalzen vermisches Chlorkalium und schwefelsaures Kalium) zu einem sehr wichtigen Produkt gemacht, das in allen Teilen der Erde für den genannten Zweck verwendet wird. Dem entsprechend ist auch die Produktion von Kalisalzen in den letzten Jahrzehnten ganz ungeheuer angewachsen, innerhalb 50 Jahren stieg die Gesamtförderung von 22930 Doppelzentnern auf 81607785 Doppelzentner. Die Herstellung von konzentrierten Salzen (Fabrikaten) ist besonders angewachsen, seitdem das Ausland, in erster Linie Nordamerika große Mengen verlangt und seitdem man auch im Inlande erkannt hat, daß die sogenannten Rohsalze (Carnallit, Kainit, Sylvinit und Hartsalz) in vielen Fällen, durch die großen Mengen von Nebensalzen, die physikalische Beschaffenheit des Bodens, seine Gare, und auch unmittelbar einzelne Kulturpflanzen schädlich beeinflussen. Es stieg innerhalb 30 Jahren die Erzeugung an konzentrierten Salzen von 1133317 Doppelzentnern auf 10940221 Doppelzentner, insonderheit die der hochprozentigen Kalidüngesalze von 95000 Doppelzentnern auf 5248738 Doppelzentner.

Der Wert der geförderten Salze kann für das Jahr 1910 auf 150 Millionen Mark geschätzt werden und dürfte für 1912 bereits 200 Millionen Mark überstiegen haben.

In diesen Kalidüngern besitzt Deutschland ein höchst schätzenswertes Monopol. Es ist natürlich nicht ausgeschlossen, daß auch an anderen Stellen der Erde ähnliche Verhältnisse bestanden haben wie zur Zechsteinperiode, und vielleicht auch noch in anderen geologischen Perioden, in Deutschland, aber alle Anstrengungen anderer Länder, und besonders sind solche von den Vereinigten Staaten von Amerika gemacht worden, sich durch Auffindung von Kali im eigenen Lande dieser Abhängigkeit von Deutschland zu entziehen, haben bisher so gut wie zu keinem Resultate geführt. Eine um so auffallendere Erscheinung ist es, daß gerade in Deutschland große Anstrengungen gemacht werden, ein kalihaltiges Gestein, den Phonolith in feingemahlener Form unter die Kalidüngemittel einzureihen. Wie ausreichende Versuche gezeigt haben, ist die Wirkung der Phonolithmehle durchaus unbefriedigend, wenn man sie als Kalidünger betrachtet, und auch ihre sonstigen Eigenschaften vermögen dieses Urteil nicht zu beeinflussen.

Damit nun die natürlichen und künstlichen Düngemittel zu ihrer vollen Kalkdünger. Wirkung gelangen, ist abgesehen von den Grundlagen jeder intensiven Kultur, also einer Regulierung der Wasserverhältnisse, einer rationellen Bodenbearbeitung, der Einführung der Hackkultur usw. auch dafür zu sorgen, daß der Kalkgehalt des Bodens ausreicht. Die Wirkungen des Kalkes im Boden sind ohne Frage ebenso wichtig wie vielseitig, und außerdem gehört er ja auch zu

den unbedingt notwendigen Nährstoffen aller grünen Gewächse. Der Kalk verbessert in chemischer und physikalischer Hinsicht den Boden, er verstärkt die Absorptionskräfte, verhindert die Krustenbildung und erleichtert durch Krümelung die Bearbeitung des Bodens. Der Kalk wirkt aufschließend auf bestimmte mineralische Bodenbestandteile und neutralisiert andererseits schädliche Säuren. Besonders durch diese letzte Tätigkeit unterstützt er das Wachstum wichtiger Bakterien, von denen nur die Salpetersäurebildner genannt sein mögen. Kurz und gut, zusammen mit dem Humus ist der Kalk ein wichtiges Meliorationsmittel für jeden normalen Ackerboden. Mangel an kalkhaltigen Düngstoffen herrscht in der Natur zum Glück nicht. Der Landwirt hat schon lange gelernt von ihnen Gebrauch zu machen. Er verwendet den Kalk in gebranntem und ungebranntem Zustande, als gebrannten Stückkalk, gemahlene gebrannten Kalk, gemahlene kohlen-sauren Kalk als Mergel usf. In allen Fällen ist seine Verwendung dann am richtigsten und wirkungsvollsten, wenn er in möglichst vollkommen zerkleinertem Zustande möglichst innig mit dem Boden vermischt wird, den er nach der einen oder anderen Richtung verbessern soll.

Schluß-  
betrachtungen.

Unsere Schilderungen lassen erkennen, daß, seitdem die Chemie und mit ihr in Gemeinschaft eine Reihe anderer Wissenschaften die Landwirtschaft und besonders den Ackerbau zu beeinflussen begonnen haben, dieses bis dahin auf reiner Empirie fußende Gewerbe feste, wissenschaftliche Grundlagen erhielt. Der Vorgang der reichlichen und vorteilhaften Erzeugung organischer Substanz, das Ziel des Ackerbaues, ist ein chemischer Prozeß, der sich in den Kulturpflanzen vollzieht und der eine Anzahl anderer Vorgänge in Luft, Wasser, Boden und Pflanzenkörper zur Voraussetzung hat. Eine wirkliche Beherrschung aller dieser Vorgänge für den gedachten Zweck würde den Gipfel der Kunst des Landwirtes bedeuten. Es ist das natürlich ein Ideal, dem stets das Streben gilt, das aber unerreichbar bleibt. Das Wissen auf unserem Gebiete, das wie jedes Wissen ein Erkennen von Gründen und Ursachen ist, hat aber schon jetzt dahin geführt, daß es dem Ackerbau des alten Europa gelungen ist und weiter gelingen wird, seine starken Bevölkerungen zu ernähren und zugleich dem gewaltig anwachsenden Wettbewerb der billiger produzierenden Länder mit Erfolg zu begegnen. Ohne die neuen Wissensquellen und ohne die durch sie gewonnenen Hilfsmittel des neuzeitlichen Ackerbaues wäre beides vollkommen unmöglich.

Es ist klar, daß der zwar schon viele Jahrtausende in und mit der Natur schaffende Landmann erst durch die Aufklärungen der letzten 6 bis 7 Jahrzehnte das Wirken und Schaffen der Natur und auch den Sinn und Zweck zahlreicher Erfahrungssätze hat recht verstehen lernen — sein Gedankenkreis hat in dieser Zeit eine Erweiterung erfahren wie niemals zuvor. Wir können deshalb behaupten, daß die Beziehungen der Chemie zum Ackerbau nicht nur eine Vermehrung der Produktion und damit wirtschaftliche Vorteile gebracht haben, sondern daß auch durch sie eine große Veredelung des Gewerbes eingetreten ist. Mit der Veredelung und Vervollkommnung der Arbeit geht stets Hand in Hand eine Veredelung und Vervollkommnung des die Arbeit leistenden Menschen.

### Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere.

Während der Landwirt die Kulturpflanzen zur Erzeugung der organischen Substanz verwendet, werden die Nutztiere, die auf vorgebildete organische Substanz angewiesen sind, von ihm herangezogen, um nicht marktfähige oder geringwertige Stoffe in marktfähige und vor allem in solche von höherem wirtschaftlichem Wert umzuwandeln. Daß das letzte notwendig ist, geht schon daraus hervor, daß die Stoffumwandlung im Tierkörper nicht ohne große Verluste vor sich gehen kann, da die Lebensvorgänge untrennbar verknüpft sind mit der Zerstörung großer Mengen organischer Substanz. So sehen wir denn auch, daß die tierischen Erzeugnisse wie Fleisch, Fett, Milch, Häute, Wolle einen beträchtlich höheren Marktwert besitzen als die Futterstoffe, aus denen sie gebildet wurden, daß sie überhaupt erst einen stets offenen Markt finden, während die Futterstoffe: Wiesengewächse, Futterpflanzen, wirtschaftliche und gewerbliche Abfälle verschiedener Art eben nur einen Markt als Futterstoffe haben oder ganz unverkäuflich sind.

Zweck und Ziel  
der landwirt-  
schaftlichen  
Tierernährung.

Aber nicht allein die Umformung oder im landwirtschaftlichen Sinne Veredlung der durch die Pflanzenwelt gebildeten organischen Substanz, sondern auch die Ausnutzung eines größtmöglichen Teiles der darin enthaltenen Energie durch die Arbeitstiere hat die Ernährungslehre ins Auge zu fassen.

Es soll im folgenden in aller Kürze die Entwicklung dieser Lehre und ihr heutiger Stand dargestellt werden, soweit sie den Zweck verfolgt, Mittel und Wege anzugeben, um den Stoff- und Kraftwechsel des Tierkörpers so zu beeinflussen, daß entweder möglichst viel vom Stoffbestande der Futtermittel erhalten bleibt und eine höher bewertete, veredelte Form annimmt oder daß andererseits möglichst viel von der chemischen Energie der Futterstoffe als wirtschaftlich nutzbare Arbeitskraft erhalten werden kann.

Die ersten Bemühungen, eine brauchbare Ernährungslehre für die Bedürfnisse des Landwirtes zu schaffen, sind von Albrecht Thaer unternommen worden; sie gipfeln in seinen Ausführungen über die Wertschätzung der Futtermittel aus dem Jahre 1809, die in den „Grundsätzen der rationellen Landwirtschaft“ niedergelegt sind. Thaer hat es hier als erster versucht, was immer das Bestreben der Fütterungslehre geblieben ist, Unterlagen und Anhaltspunkte für die in der rationellen Praxis erforderlichen Futterberechnungen zu schaffen: er fand sie in den sogenannten Heuwerten. Es war Thaer allerdings zunächst darum zu tun, die Leistung der Futtermittel in bezug auf die Düngererzeugung festzustellen, später aber wurden daraus Verhältniszahlen für die Bewertung der verschiedenen Futterstoffe, die angeben sollten, wieviel Gewichtsteile des einen oder anderen Futtermittels bei der Ernährung der Tiere gleichwertig seien hundert Teilen Heu. Nach Wolff beruhten die Heuwerte ursprünglich auf den chemischen Untersuchungen, die Einhof in Möglin ausgeführt hatte, indem er die Futtermittel auf ihren Gehalt an in Wasser, Alkohol, verdünnten Säuren und Alkalien löslichen Bestandteilen prüfte. Eine weitere Begründung der Heuwerte wurde nicht versucht, die Anzahl der Fütterungsversuche blieb

Thaers  
Heuwerte.

bis 1840 eine sehr geringe, und die ursprünglich chemische Basis der Heuwerte geriet in Vergessenheit.

Um den Einblick in den Sinn dieser „Heuwerte“ zu erleichtern sei hinzugefügt, daß zum Beispiel der Wert von 100 Pfund Heu gleich gesetzt wurde dem Wert von 300 Pfund Wintergetreidestroh, 200 Pfund Sommergetreidestroh, 40 Pfund Roggenkörnern, 33 Pfund Rübkuchen, 250 Pfund Kartoffeln und 400 bis 500 Pfund Runkelrüben. Solche Angaben für eine Gleichwertigkeit, die aber bei fast allen landwirtschaftlichen Schriftstellen anders lauteten, wurden lange Zeit bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts hinein sowohl für Futter- wie für Düngerberechnungen benutzt.

Bei dem vollständigen Mangel einer einheitlichen und wissenschaftlichen Grundlage mußten die Heuwerte naturgemäß zu einer großen Unsicherheit und Verwirrung führen; nichtsdestoweniger hat die Heuwertstheorie bis gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts in der praktischen Landwirtschaft die Herrschaft ausgeübt.

Liebig's  
Auftreten, Zer-  
gliederung des  
Sammelbegriffs  
„Nahrung“ oder  
„Futter“ in  
chemisch unter-  
schiedene Einzel-  
begriffe.

Einen Umschwung in den Anschauungen brachte auf diesem Gebiete, wie auf manchem anderen, das Auftreten Liebig's. Wie er im Jahre 1840 durch sein Buch „Die Organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie“ den Grund legte zu der weiteren Entwicklung der Pflanzenernährungslehre, so hat er in seiner Schrift: „Die Tierchemie oder die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie“ (zuerst erschienen 1842) ein für jene Zeit außerordentlich klares Bild von den Ernährungsvorgängen im Tierkörper gezeichnet und damit einer rationellen landwirtschaftlichen Fütterungslehre die Wege gebahnt. Liebig zerlegte sowohl den Körper des Tieres wie den der Pflanze (also des Futters) in die wichtigen organischen und anorganischen Bestandteile — und es standen hiernach den Hauptbestandteilen des Tierkörpers: Eiweiß, Fett, Wasser und Mineralstoffe gegenüber die Hauptbestandteile der Pflanze: Eiweiß, Kohlehydrate, Fett und Mineralstoffe.

Durch eine große Anzahl von Untersuchungen hat Liebig sodann mit Beihilfe seiner Schüler in Gießen die Schicksale verfolgt, welche die Nahrungsbestandteile bei ihrer Aufnahme und Verarbeitung im Tierkörper erleiden, bis ihre Reste durch Lunge und Haut, im Harn und Kot den Körper wieder verlassen; er hat mit anderen Worten die Gesetze des Stoffwechsels mit den ihm zur Verfügung stehenden Mitteln klarzulegen gesucht.

Verwendung der  
Futterbestand-  
teile im Tier-  
körper nach  
Liebig.

Liebig unterschied auf Grund seiner und der ihm sonst zugänglichen Forschungsergebnisse die einzelnen Nährstoffe in plastische, zu denen er die stickstoffhaltigen Nahrungsbestandteile, die Eiweiß- oder Proteinsubstanzen, zählte und in wärmeerzeugende Stoffe oder Respirationsmittel, zu denen die stickstofffreien Bestandteile der Nahrung, also hauptsächlich Kohlehydrate und Fette, gerechnet wurden. Liebig stellte auch schon fest, daß die Eiweißstoffe im Atmungsprozeß an die Stelle der Kohlehydrate und Fette zu treten vermögen, daß dagegen die letztgenannten beiden Stoffgruppen bei der Neubildung und beim Ersatz plastischer Stoffe des Tierkörpers nicht die Rolle der Eiweißstoffe übernehmen können.

Ferner hat Liebig bereits die Tatsache bewiesen, daß nicht allein das in der Nahrung aufgenommene Fett Veranlassung zur Bildung von Körperfett gibt, sondern daß im lebenden Tierkörper auch Fett neugebildet wird, das aus anderen Bestandteilen der Nahrung entstehen muß, und als solche Bestandteile bezeichnete er vor allem Zucker und Stärkemehl, ohne dabei in Abrede zu stellen, daß auch aus Eiweiß Fett gebildet werden könne.

Wenn wir außerdem noch darauf verweisen, daß Liebig auch die Bedeutung bestimmter Mineralstoffe für die Entwicklung und Erhaltung des Tierkörpers klarlegte, so ist aus dem Gesagten mit genügender Deutlichkeit zu erkennen, daß er für die Ernährungslehre eine gute und dauerhafte Grundlage geschaffen hat. Er hat auch hier durch die Art seines Auftretens, durch die Anregung, die er dem Geiste bot, eine große Anzahl von Jüngern an die Arbeit gerufen, die seinen Bau weiterführten. Es muß auch an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß fast gleichzeitig mit Liebig in Frankreich Boussingault in ganz ähnlichem Sinne die Ernährungsphysiologie sowohl der landwirtschaftlich wichtigen Tiere wie Pflanzen gefördert hat.

Erst nachdem Liebig in der geschilderten Art bahnbrechend vorgeschritten war und den rohen Begriff Futter in chemisch benennbare und wohl unterscheidbare Einzelbegriffe aufgelöst hatte und nachdem er gleichzeitig die analytischen Methoden vervollkommenet oder geschaffen hatte, die es möglich machten auf dem Gebiete der Tierernährung weiterzuschreiten, vermochten die Schüler und Nachfolger Liebig's schnell und sicher weitere Aufschlüsse zu gewinnen.

Auf dem rein physiologischen Gebiet waren es namentlich K. Voit zusammen mit Pettenkofer, der den bekannten nach ihm benannten Apparat erbaute, mit dessen Hilfe der gesamte Stoffwechsel des Menschen wie der Tiere auf das genaueste zu verfolgen ist — und einer ganzen Anzahl jüngerer Forscher, von denen hier nur Bischoff, Rubner und Tappeiner genannt sein mögen, die durch eine Reihe schöner Experimentaluntersuchungen den Verlauf des tierischen Ernährungsvorganges zu übersehen ermöglichten.

So stellten zunächst Bischoff und Voit im Jahre 1857 unzweifelhaft fest, daß man unter normalen und hierzu geeigneten Umständen den sämtlichen Stickstoff der Nahrung oder eine ihm fast genau entsprechende Menge in den sichtbaren Ausscheidungen der Tiere wiederfindet, sofern nicht ein Teil davon im Körper selbst festgelegt wird. Voit gelangte durch weitere Versuche, die er auf dieser Tatsache aufbaute, zu den Gesetzen der Fleischbildung. Diese Beobachtungen über den Ansatz und die Zerstörung von Organeiweiß, denen bald weitere folgten, waren an Hunden, also fleischfressenden Tieren, gemacht worden. Später wurden dann diese Gesetze der Fleischbildung von Henneberg bei Ochsen verfolgt, und es zeigte sich, daß auch beim Pflanzenfresser die gleichen Regeln gelten wie beim Fleischfresser. Ohne Ausnahme wird durch vermehrte Zufuhr von Eiweiß in der Nahrung auch seine Zerstörung, also der Umsatz gesteigert; dagegen wird durch Zuführung von Fett und Kohlehydraten diese Zerstörung von Eiweißstoffen herabgesetzt und deren Ansatz vermehrt.

Physiologische  
Forschungen  
von Voit und  
anderen.

Gesetze der  
Fleischbildung.

Es sind diese Beobachtungen durch zahlreiche Versuche verschiedener Forscher mit Milchkühen und Schafen als richtig befunden worden; immer stellte sich heraus, daß zu einer reichlichen und vorteilhaften Fleischmast es nicht allein darauf ankommt große Mengen von Futter den betreffenden Tieren zu geben, sondern daß es ebenso wichtig ist ein gewisses Verhältnis der stickstoffhaltigen (Eiweiß) zu den stickstofffreien Nährstoffen (Nährstoffverhältnis) einzuhalten. Es wurde dann weiter festgestellt, daß auf den Eiweißzerfall besondere Verhältnisse einwirken, daß er beeinflußt wird durch übermäßige Wasseraufnahme, durch starke Kochsalzgaben, durch Sauerstoffmangel (d. h. bei großen Anstrengungen) und wohl auch durch einige Reizmittel in der Nahrung. Auf den Fleischansatz wirkt auch ohne Frage die besondere Beanlagung der betreffenden Tiere ausschlaggebend ein, aber alle diese Einflüsse können doch in keiner Weise die hohe Bedeutung der von Voit und anderen Forschern festgestellten Grundgesetze der Fleischbildung herabdrücken.

Die Fettbildung  
im Tierkörper.

Was die Fettbildung im Tierkörper anbetrifft, so ist es nicht ganz leicht gewesen, volle Klarheit zu schaffen. Schon Liebig hatte, wie geschildert, eine bestimmte Antwort auf diese Frage gegeben, ohne den direkten Beweis für seine Anschauungen liefern zu können. Daß die Kohlehydrate zur Neubildung von Fett im Tierkörper herangezogen werden, konnte schon durch die Versuche Liebigs und durch die 1848 bis 1850 von Lawes und Gilbert in Rothamsted ausgeführten Fütterungsversuche als erwiesen gelten; dagegen hat wohl G. Kühn in Möckern als erster nachgewiesen, daß eine Vermehrung der Nahrungszufuhr, über den Mindestbedarf hinaus, eine Erzeugung von Fett zur Folge hat, gleichgültig ob dieser Überschuß an Nahrung aus Eiweiß oder aus Kohlehydraten besteht. Später ist durch Versuche von Kern und Wartenberg, Pfeiffer und Lehmann, Wolff u. a. (an Schafen, Schweinen und Ochsen) gleichfalls der Nachweis geführt worden, daß die Fette sowohl aus Proteinstoffen wie aus Kohlehydraten entstehen können. Es mag nicht unerwähnt bleiben, daß der Physiologe Pflüger stets die Fettbildung aus Eiweiß verneint hat. Wir können die Frage aber heute wohl als ziemlich endgültig dahin beantwortet annehmen, daß die Fettbildung im Tierkörper sowohl aus den Eiweißstoffen wie aus den Kohlehydraten und selbstverständlich auch aus dem Fett des Futters erfolgen kann.

Bedeutung der  
Rohfaser und  
der Amide.  
Dynamische  
Äquivalente.

Von den physiologischen Forschungen haben für die Fütterung der landwirtschaftlichen Nutztiere auch die Arbeiten besondere Bedeutung, die sich mit der Bedeutung der Rohfaser und der nichteiweißartigen stickstoffhaltigen Bestandteile des Futters beschäftigen; wir werden weiterhin darauf zurückkommen müssen. An dieser Stelle sei noch der grundlegenden Untersuchungen M. Rubners über die dynamischen Äquivalente, das heißt die Vertretungswerte der Nahrungsstoffe im Tierkörper, gedacht. Auf diesem Gebiet haben auch Stohmann und später O. Kellner wertvolle Untersuchungen ausgeführt. Es wurde durch sie festgestellt, daß sowohl im Kalorimeter wie im Tierkörper 1 g Fett eine Energiemenge erzeugt, die im Mittel 9,4 Kalorien entspricht, daß die Kohlehydrate (Stärke, Rohrzucker, Traubenzucker) unter den gleichen

Verhältnissen im Mittel 4,1 Kalorien erzeugen. Entsprechend diesem Energieinhalt erfolgt nicht allein die Erzeugung von Wärme und motorischer Kraft, also von kinetischer Energie, sondern auch die gegenseitige Vertretung bei der Fettbildung im Tierkörper, d. h. die Speicherung von potentieller Energie. Beim Eiweiß wurde durch die in der gedachten Richtung ausgeführten Versuche ermittelt, daß keine Übereinstimmung zwischen den im Tierkörper und im Kalorimeter gefundenen Ergebnissen besteht. Sie stellte sich aber wieder ein, wenn man berücksichtigte, daß im Tierkörper die Zertrümmerung der Eiweißstoffe nur bis zum Harnstoff geht, und wenn man den kalorischen Wert des, aus dem zum Versuch dienenden Eiweißquantum, entstehenden Harnstoffs beim Kalorimeterversuch in Abzug brachte. Im Mittel der mit pflanzlichem und tierischem Eiweiß ausgeführten Versuche erzeugte dann 1 g Eiweiß, 4,14 Kalorien also fast genau soviel wie die gleiche Menge Kohlehydrate. In bezug auf die Erzeugung von Wärme, dynamischer Energie und von Fett im Tierkörper sind hiernach Kohlehydrate und Eiweißstoffe gleich hoch einzuschätzen. Diese Gesetzmäßigkeiten im Stoff- und Kraftwechsel haben später Kellner mit zur Aufstellung seiner Stärkewerte geführt.

Wie wir bereits bemerkten, laufen alle Bemühungen in der landwirtschaftlichen Fütterungslehre darauf hinaus, für die Futtermittelverwertung brauchbare, das heißt richtige Grundlagen zu finden, die für die Futterzumessung unter den verschiedenen Produktionsverhältnissen praktische Verwendung finden können. Wie wir heute klar erkennen, ging man aber zu frühzeitig zu einer rein chemischen Behandlung unseres Gegenstandes über.

Nach Überwindung der Heuwerte legte man zu Beginn der fünfziger Jahre den Hauptwert auf die Zusammensetzung der Futtermittel; man bestimmte darin aber nur den Gesamtgehalt an Rohnährstoffen, von denen die Rohfaser, als unverdaulich, unberücksichtigt blieb. Die Entwicklung der Methodik der chemischen Analyse, die zur Unterscheidung der Futterbestandteile in Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, stickstofffreie Extraktstoffe (wie die löslichen stickstofffreien Bestandteile der Futterstoffe genannt wurden), Rohasche führte, verdanken wir, neben Liebig, besonders Henneberg in Göttingen. Auf Grund der hierdurch geschaffenen Möglichkeit, die Futtermittel in einzelne Nährstoffe zu zerlegen und durch eine Anzahl von Fütterungsversuchen, bei denen die zugeführten Mengen von Rohnährstoffen berücksichtigt wurden, hat man auch gleich versucht, die Berechnung von Futterrationen auf den Gehalt der Futterstoffe an Rohnährstoffen aufzubauen, (Grouven).

Aber schon die in den Jahren 1851 bis 1854 von E. Wolff ausgeführten und die einige Jahre später von Henneberg und Stohmann veröffentlichten Versuche zeigten deutlich, daß bei der Beurteilung des Nährwertes der Futtermittel, also bei der Berechnung von Futterrationen, nicht allein der Gehalt an stickstoffhaltigen und stickstofffreien Nährstoffen in betracht kommt, sondern auch deren Aufnahmefähigkeit durch den tierischen Organismus, also deren Verdaulichkeit. Die Weender Versuche ließen erkennen, daß die organischen Bestandteile verschiedener Futtermittel in außerordentlich ver-

Grundlagen für  
die Futtermittel-  
verwertung und  
Zumessung.

Verdaulichkeit  
der Futterstoffe.

schiedenem Grade verdaulich sind, daß es Futtermittel gibt, von deren organischer Substanz 90% und andere von deren organischer Substanz nur 30% verdaut werden. Zur selben Zeit wurde von Ritthausen, Stöckhardt und auch von Henneberg und Stohmann gezeigt, daß bei Wiederkäuern ein beträchtlicher Teil der Rohfaser unter Umständen bis zu 70% im Kot nicht wieder erscheint, sondern scheinbar verdaut wird.

Alle diese für die Fütterung außerordentlich wichtigen Beobachtungen gaben die Veranlassung, daß man in Weende und Hohenheim und an zahlreichen anderen Versuchsstationen eine große Anzahl von Versuchen ausführte, um die Verdaulichkeit der verschiedenen Futtermittel festzustellen; Stoffwechsel- und Verdauungsversuche beherrschten die ganze Tätigkeit der auf diesem Gebiete arbeitenden Forscher.

Fütterungs-  
normen auf  
Grund der vor-  
handenen ver-  
daulichen Nähr-  
stoffe  
(E. v. Wolff).

Trotz der zahlreichen bei diesen Arbeiten gewonnenen Aufklärungen wagte man längere Zeit nicht, die neuen Erfahrungen auch bei der Berechnung der Futterrationen zu verwenden, mit anderen Worten, sie der Praxis zugänglich zu machen. Erst im Jahre 1874 wurden von E. Wolff auf Grund der Gehalte der Futtermittel an verdaulichen Nährstoffen neue Normen für die Bewertung der Futtermittel und für die Fütterung geschaffen, die zweifellos gegen die älteren einen ganz wesentlichen Fortschritt darstellen. In den Wolffschen Tabellen über Futtermittel und Fütterungsnormen sind ausschließlich die Ergebnisse direkter Versuche und Untersuchungen benutzt worden; wir haben es somit zweifellos mit einer gesunden Grundlage für die Praxis zu tun, die nur mit den wirklichen Nährstoffen des Futters rechnet, welche durch den Verdauungsvorgang in den tierischen Organismus übergegangen waren, und alle die Stoffe ausschaltete, die im Kot, also unbenutzt, den Körper wieder verließen.

Bei diesen Berechnungen ist eines Umstandes nicht gedacht worden, der dazu geführt hat, daß die schärfer beobachtende Praxis sich vielfach von den Wolffschen Fütterungsnormen abwendete, und daß eine weitere Umgestaltung dieser Normen sich als notwendig herausstellte. Wenn man nämlich den Nährwert der Futtermittel nach verdaulichen Nährstoffen berechnet, dann müssen Futtermischungen mit gleichen Mengen von verdaulichem Eiweiß, Fett und Kohlehydraten als in ihrer Futterwirkung gleichwertig bezeichnet werden, ganz gleichgültig welche Futtermittel zur Herstellung dieser Mischung gedient haben. Es muß zum Beispiel für die Nährwirkung gleichbedeutend sein, ob eine bestimmte Menge von verdaulichen Nährstoffen aus Heu, Stroh, Kartoffeln, Rüben, Körnern oder irgend welchen Abfallstoffen stammt. Daß diese Annahme nicht allgemein richtig sein kann, hat die Praxis gefühlt und durch die Ablehnung der Wolffschen Fütterungsnormen zum Ausdruck gebracht; es blieb O. Kellner vorbehalten, nicht nur den Beweis für die Unrichtigkeit der Futterbewertung und Futterzumessung allein nach dem Gehalt der Futtermittel an verdaulichen Nährstoffen zu erbringen, sondern auch gleichzeitig der Praxis hierfür neue, richtigere Maßstäbe zu übergeben.

Kellners Unter-  
suchungen.

Hiermit wären wir beim neuesten Standpunkte der landwirtschaftlichen Fütterungslehre angelangt; um ihn klarzulegen, wollen wir kurz die Arbeiten



Kellners vorführen und häufig den Autor selbst sprechen lassen. Kellner ging zunächst darauf aus, einen Maßstab zu gewinnen, mit dem die Wirksamkeit der verschiedenen Futtermittel gemessen werden konnte: Er stellte zuerst Fütterungsversuche mit den einzelnen Nährstoffen, mit Stärkemehl, mit Zucker, mit reiner Zellulose, mit Eiweiß, mit Fett, sämtlich in reiner und zerkleinerter Form, an, und wählte als Versuchstiere, um den einfachsten Fall der tierischen Produktion herauszugreifen, ausgewachsene Rinder, die zur Mast aufgestellt worden waren. Die Ausführung der Versuche war kurz die folgende: Zu einem Grundfutter, dessen Nährwirkung — mit Zuhilfenahme des besonders hierzu eingerichteten Pettenkoferschen Respirationsapparates und ferner durch genaueste Feststellung aller Bestandteile der Einnahmen und Ausgaben — während zwei bis drei Wochen ermittelt worden war, wurde der zu prüfende Einzelnährstoff in bestimmter Menge (z. B. pro Tier 2 kg Stärkemehl) zugelegt und während längerer Zeit auf demselben Wege wie beim Grundfutter die Wirkung gemessen. Im Durchschnitt einer größeren Zahl von Versuchen, die auf diese Weise mit Stärkemehl ausgeführt worden sind, ergab sich, daß aus je 1 kg dieses Nährstoffs 248 g Körperfett gebildet wurden, ein Betrag, in dem eine kleine festgestellte Menge neu angesetzten Fleisches mit eingeschlossen ist. Nach der Versuchsanlage ist dieser Betrag das Maximum der Leistung, die beim Rinde vom Stärkemehl zu erwarten ist. In gleicher Weise wurden von Kellner auch die anderen Futtermittelbestandteile untersucht und gefunden, daß aus 1 kg der Nährstoffe höchstens die folgenden Mengen von Körperfett entstehen können:

Aus 1 kg verdaulichem Eiweiß . . . . .	235 g Fett
Aus 1 kg verdaulichem Stärkemehl . . . . .	248 g Fett
Aus 1 kg verdaulicher Rohfaser . . . . .	248 g Fett
Aus 1 kg verdaulichem Rohrzucker . . . . .	188 g Fett
Aus 1 kg verdaulichem Fett . . . . .	474—598 g Fett

Das anerkannt beste Maß für die dem Futter und auch den daraus gebildeten tierischen Stoffen innewohnende Energie ist der Wärmewert. Wenn man nun den Wärmewert dieser Fettmengen mit dem Wärmewert der Nährstoffe, aus denen sie entstanden sind, vergleicht, so ergibt sich, daß keiner der verdaulichen Nährstoffe mit vollem Betrage zum Ansatz gelangt, sondern daß immer größere Verluste eintreten, die durch Fäulnis- und Zersetzungs Vorgänge im Futterbrei, sowie durch den für die Umwandlung in Fett notwendigen Kraftaufwand verursacht werden.

Auch mit den stickstoffhaltigen Stoffen nichteiweißartiger Natur, die im Pflanzenreiche weite Verbreitung besitzen und in manchen Futtermitteln mehr als die Hälfte des Rohproteins ausmachen, den sogenannten Amidin, hat Kellner sich beschäftigt und namentlich mit Asparagin Versuche bei Schafen über dessen Wirkung auf die Fettbildung ausgeführt. Es hat sich dabei gezeigt, daß das Asparagin an der Fettbildung nicht beteiligt ist. Wie sich im allgemeinen die Rolle und die Wirkung der Amide, ein Gemisch sehr verschiedenartiger

Verbindungen, bei der Fütterung der Nutztiere gestaltet, ist durch die Kellner'schen Versuche nicht entschieden; es ist neuerdings auf diesem Gebiete von Morgen, Fingerling u. a. weiter gearbeitet worden. Von den organischen Säuren wurde von Kellner nur die Milchsäure geprüft, die sich in den Futtermitteln während des Einsäuerns in größeren Mengen bildet. Versuche mit Schafen zeigten, daß auch Milchsäure, wie das Asparagin, ein zu einfacher Stoff ist, als daß Körperfett daraus erzeugt werden könnte.

Wertigkeit der  
Futtermittel  
nach Kellner.

Mit den geschilderten Versuchen war ein Maßstab für die Leistung der einzelnen reinen Nährstoffe gewonnen, und Kellner ging jetzt dazu über, diesen Maßstab auf die Leistung der einzelnen Futtermittel, die ja stets ein inniges Gemenge der Nährstoffe darstellen, anzuwenden. Bei den zunächst geprüften Ölkuchenmehlen, wie Baumwollsaatmehl, Erdnußmehl, Kokosmehl und Leinkuchenmehl zeigte sich, daß sie ganz ebenso wirkten, als ob die in ihnen enthaltenen verdaulichen Nährstoffe in reiner Form den Tieren zugeführt worden wären, sie erwiesen sich mit anderen Worten als vollwertig. Ein ganz anderes Ergebnis zeigte sich bei einer anderen Gruppe von Futtermitteln, den Heu- und Stroharten. Während bei Vollwertigkeit der vorhandenen verdaulichen Nährstoffe aus 1 kg Haferstroh hätten entstehen müssen 109,7 g Körperfett, entstanden nur 66,1 g, beim Weizenstroh stellte sich das Verhältnis noch ungünstiger, anstatt 104,1 g, Körperfett wurden nur 22,1 g gebildet. Die beiden Stroharten waren hiernach minderwertig und es zeigte sich im allgemeinen bei den Rauhfutterstoffen, daß im Durchschnitt 100 g verzehrte Rohfaser den Fettansatz um 14,3 g herabdrückten. Durch eine Reihe jahrelang fortgeführter glänzender Untersuchungen hat dann Kellner gezeigt, daß die Wirkung der verdaulichen Nährstoffe sehr verschieden ist, je nachdem sie in der einen oder anderen Gruppe von Futtermitteln zum Verzehr gelangt, und es folgt daraus ohne weiteres, daß es falsch ist, die verdaulichen Nährstoffe zur Grundlage der Futterberechnung zu machen. Zweifellos muß die Wertigkeit der verschiedenen Futterstoffe bei der Futterberechnung Berücksichtigung finden.

Fütterungs-  
normen auf Grund  
der Mengen ver-  
daulichen Ei-  
weißes und des  
Stärkewertes  
nach Kellner.

Die Nährwirkung eines jeden Futters wird durch zwei Faktoren bestimmt, nämlich einerseits von der gesamten Energie des Futters, die nach Abzug aller Nebenausgaben für die Kau- und Verdauungsarbeit, die Darmbelastung, die Fäulnisvorgänge im Futterbrei und die Assimilationsarbeit übrig bleibt und andererseits von den zur Verfügung stehenden Mengen verdaulichen Eiweißes. Den Energieinhalt des Futters kann man nach Kellners Erwägungen in verschiedener Form ziffernmäßig zum Ausdruck bringen; man kann die Zahl der Wärmeeinheiten angeben, die aus dem Futter dem Tiere in verwertbarer Form zufließen, oder man kann die Menge Fett, die im Maximum aus dem Futter zu entstehen vermag, als zuverlässiges Maß einstellen. Für geeigneter aber und dem Laien verständlicher — es wird dieser Standpunkt von einigen Seiten nicht geteilt — hielt es Kellner, die Wirkung des reinen Stärkemehls als Grundlage zu nehmen und für jedes Futtermittel anzugeben, welche Menge verdaulicher Stärke dasselbe zu leisten vermag wie 100 kg des betreffenden Futtermittels. Dieses Maß bezeichnete Kellner als Stärkewert, der also

angeben soll, daß das betreffende Futter dem Tiere gerade soviel Material zur Erhaltung und Erzeugung von Körperfett und Muskelkraft zuführt, wie die durch die Stärkewert-Zahl angegebene Menge Stärke. Da nun aber andererseits dem Eiweiß noch ganz besondere Aufgaben im Tierkörper zufallen, so kommt man für die Bemessung des Futters für bestimmte Zwecke mit dem Stärkewert allein nicht aus. Man muß auch noch wissen, wie viel verdauliches Eiweiß in jedem Futtermittel enthalten ist und wieviel davon den Tieren je nach ihrem Alter und dem Fütterungszweck im Durchschnitt zu reichen ist. An die Stelle der Rechnung mit verdaulichen Nährstoffen hat Kellner somit die einfachere und vor allen Dingen richtigere Rechnung mit verdaulichem Eiweiß und Stärkewerten gesetzt und diese Rechnung für die verschiedensten praktischen Zwecke systematisch durchgeführt und in übersichtlichen und ausführlichen Tabellen niedergelegt, die in sehr großer Zahl in die Hände des praktischen Landwirts gelangt sind und tatsächlich mit Erfolg benutzt werden.

Die zahlreichen Nachprüfungen der Produktionswerte, die von wissenschaftlichen und praktischen Kreisen erfolgten, haben im allgemeinen ergeben, daß die von Kellner geschaffenen Grundlagen die richtigen Wege weisen und, gegenüber den Wolffschen Fütterungsnormen, einen bedeutenden Fortschritt darstellen, der auch dadurch noch besonders deutlich in die Erscheinung tritt, daß der Stärkewert sämtliche verdaulichen Nährstoffe umfaßt und daß es bei seiner Verwendung völlig gleichgültig ist, wieviel Rohfaser vorhanden ist und welchen Wert sie hat, wieviel Prozente Amide im Rohprotein stecken, wieviel organische Säuren und andere minderwertige organische Verbindungen im Rohfett und unter den stickstofffreien Extraktstoffen sich finden.

Selbstverständlich stellen die Kellnerschen Angaben nicht den Endpunkt der Entwicklung der Fütterungslehre dar. Die Tierphysiologie, die der Ernährung der Nutztiere schon unschätzbare Dienste geleistet hat, wird das auch weiterhin tun. Die Erkenntnis der Dinge ist eben dann erst vollkommen, wenn sie vollständig wahr und geordnet ist. Daß dieses Ziel schon jetzt erreicht wäre, kann nicht behauptet werden, wohl aber, daß man auf gutem Wege dahin sich befindet. Durch die äußerst mühsame, umfassende und folgerichtige Tätigkeit Kellners ist auch bereits ein Standpunkt erreicht, mit dem der Praktiker zunächst zufrieden sein kann.

Unsere Schilderungen bezwecken nur, dem Leser einen ganz allgemeinen Überblick über die Fortschritte und den gegenwärtigen Stand der Lehre von der Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere zu vermitteln.

Weiterentwicklung der Fütterungslehre.

### Literatur.

**Pflanzenernährung.** Die agrikulturchemische Literatur, die die Pflanzenernährung und die damit zusammenhängenden Gebiete umfaßt, ist eine recht umfangreiche. Das erste wissenschaftliche Lehrbuch über unseren Gegenstand „Elemente der Agrikulturchemie“ schrieb HUMPHRY DAVY am Anfang des vorigen Jahrhunderts. Es war aus einer Reihe von Vorlesungen hervorgegangen, die DAVY von 1802 an gehalten hatte. Als den Anfang unserer Wissenschaft haben wir weiter vorn das Jahr 1840 genannt, und zwar ist JUSTUS LIEBIGS Buch „Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie“ als das Fundament der Agrikulturchemie zu bezeichnen. Dem LIEBIGSchen Buch gingen voraus die „Bodenkunde“ (1837) und die „Lehre vom Dünger“ (1839) von C. SPRENGEL in denen sich viele ganz modern anmutende Anschauungen, so über die Bedeutung der Aschenbestandteile der Pflanzen und das Gesetz des Minimums finden, ohne daß sie die Bedeutung wie bei LIEBIG gewonnen hätten. Fast gleichzeitig wie LIEBIG in Deutschland wirkte in Frankreich in ähnlichem Sinne BOUSSINGAULT dessen wichtigste Forschungsergebnisse in seiner „Agronomie, chimie agricole et physiologie“ (1860) (auch deutsch von GRAEGER) zusammengefaßt sind. Von den Schriften gegen LIEBIG seien nur die von LAWES und GILBERT in Rothamsted und die von E. WOLFF „Die Erschöpfung des Bodens durch die Kultur“ (1856) genannt: In der Folgezeit sind dann eine Anzahl von Lehrbüchern der Agrikulturchemie (Pflanzenernährung und angrenzende Gebiete) erschienen, so von STÖCKHART, HENNEBERG und STOHMANN, E. REICHARDT, W. SCHUMACHER, W. KNOP, E. WOLFF, A. SACHSE, GRAND-EAU, ADOLF MAYER, HELLRIEGEL. Schriften die allein die Düngerlehre behandeln verfaßten u. a. E. WOLFF, P. WAGNER, M. MAERCKER, O. STUTZER, HEINRICH, O. LEMMERMANN. Mit hierhergehörigen Fragen beschäftigt sich auch eine größere Anzahl von Arbeiten der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft.

Von den regelmäßig erscheinenden Zeitschriften und Jahresberichten seien genannt: „Die landwirtschaftlichen Versuchsstationen“, „die Zeitschrift für das landw. Versuchswesen in Österreich“, BIEDERMANNS Zentralblatt für Agrikulturchemie und der Jahresbericht über die Fortschritte der Agrikulturchemie. Bei der Vielseitigkeit des Gebietes und der engen Berührung mit der praktischen Landwirtschaft finden sich viele gute agrikulturchemische Abhandlungen auch in anderen Zeitschriften vor; das „Zentralblatt“ und der „Jahresbericht über die Fortschritte der Agrikulturchemie“ haben sich seit langer Zeit große Mühe gegeben, alle die im In- und Auslande erschienenen Veröffentlichungen von irgend welcher Bedeutung zu sammeln und übersichtlich geordnet im Auszuge wiederzugeben.

**Tierernährung.** Der erste Versuch, eine brauchbare Grundlage für die Futterzumessung zu schaffen, ist von ALBRECHT THAER gemacht worden; seine Heuwerttheorie findet sich in seiner Schrift: „Grundsätze der rationellen Landwirtschaft“. Den Grund zur heutigen Ausgestaltung der Tierernährungslehre legte LIEBIGS bekanntes Buch:

„Die Tierchemie oder die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie“. Während dieses Buch von **LIEBIG** 1842 erschien, wurde das von **BOUS-SINGAULT** verfaßte, ähnlich gerichtete Werk: „Die Landwirtschaft in ihren Beziehungen zur Chemie, Physik und Meteorologie“ zuerst im Jahre 1844 veröffentlicht. Beide Schriften, zu denen sich im Jahre 1845 das Buch von **J. R. MAYER** in Heilbronn: „Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel“ gesellte, sind von außerordentlichem Einfluß auf die danach lebhaft einsetzende Forschung und die sich daraus herleitenden Veröffentlichungen geworden. Ein großer Teil dieser Veröffentlichungen, teils Futtermitteluntersuchungen, teils die Ergebnisse von Fütterungsversuchen, teils rein physiologische Versuchsergebnisse finden sich in den „Landwirtschaftlichen Versuchsstationen“ in den „Landwirtschaftlichen Jahrbüchern“, im „Journal für Landwirtschaft“ u. a. und sind zusammengetragen worden in „**BIEDERMANN'S** Zentralblatt für Agrikulturchemie“ und im „Jahresbericht über die Fortschritte der Agrikulturchemie“.

Zusammenfassende Werke über die Zusammensetzung von Pflanzen und Tierstoffen erschienen dann: 1871 von **E. WOLFF**, nämlich: „Aschenanalysen von landwirtschaftlichen Produkten, Fabrikabfällen und wildwachsenden Pflanzen“, und 1891 von **Th. DIETRICH** und **J. KÖNIG**: „Zusammensetzung und Verdaulichkeit der Futtermittel, nach vorhandenen Analysen und Untersuchungen zusammengestellt.“ Von den die Ernährungslehre, so weit sie uns hier angeht, behandelnden Schriften sind aus den siebziger und achtziger Jahren zu nennen: **E. WOLFF**: „Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere. Kritische Zusammenstellung der in neuerer Zeit durch tierphysiologische Versuche erlangten Resultate in ihrer Bedeutung für die Aufgabe der landwirtschaftlichen Tierhaltung“ (1876) und ferner **J. KÖNIG**: „Die menschlichen Nahrungs- und Genußmittel, ihre Verfälschungen und deren Nachweis, mit einer Einleitung über die Ernährungslehre“ (1880). Einen maßgebenden Einfluß auf die ganze Arbeitsrichtung und Methodik auf unserem Gebiet hat bis auf den heutigen Tag das bekannte Buch von **Th. L. W. BISCHOFF** und **K. VOIT** „Die Gesetze der Ernährung des Fleischfressers, durch neue Untersuchungen festgestellt“ (1860) ausgeübt — und es muß deshalb hier auch der schönen Arbeiten der **Voit'schen** Schule gedacht werden, die sich in „**LIEBIG'S** Annalen der Chemie“ und in der „Zeitschrift für Biologie“ finden. Wichtige Abhandlungen für die Entwicklung unserer Lehre finden sich auch in den von **HENNEBERG** und **STOHMANN** veröffentlichten „Beiträgen zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer“, zuerst 1860 erschienen. Von den Lehrbüchern seien noch genannt: **SETTEGAST**: „Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere“, **J. KÜHN**: „Die rationelle Ernährung des Rindes“ und die „Fütterungslehre“ von **E. v. WOLFF**.

Die weitere Literatur findet sich dann in den oben erwähnten Zeitschriften und Jahresberichten. Eine neue Zusammenfassung mit neuen Gesichtspunkten tritt uns im Jahre 1905 entgegen, in **KELLNERS**: „Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere, Lehrbuch auf der Grundlage physiologischer Forschung und praktischer Erfahrung.“ In der Zwischenzeit hat dieses Buch, das eine wichtige Phase in der Entwicklung der Tierernährungslehre darstellt, bereits sechs Auflagen erlebt; eine kleine allgemein verständliche Ausgabe hat sich dem größeren Werke zugesellt, und die für den Praktiker wichtigen Angaben sind auch in den weitverbreiteten landwirtschaftlichen Kalender von **MENTZEL** und von **LENGERKE** übergegangen.

Es soll ferner darauf hingewiesen werden, daß im Jahre 1908 auch als IV. Band seiner Agrikulturchemie und als Vervollständigung dieses Werkes von **ADOLF MAYER** die

„Ernährung und Fütterung der Nutztiere“ erschien. In der eingehenden und kritischen Art MAYERS werden darin in anziehender Weise alle die zahlreichen Fragen und Schwierigkeiten besprochen die z. B. auch der KELLNERSCHEN Lehre noch innewohnen und die auf unserem Gebiete überall in reicher Anzahl auftauchen. Es sei hier auch gedacht des Sammelwerkes über die Handelsfutterstoffe, das von zahlreichen Mitgliedern des Verbandes landwirtschaftlicher Versuchsstationen im Deutschen Reiche abgefaßt worden ist, der „Principals of Animal Nutrition“ von ARMSBY des umfangreichen zweibändigen Werkes von POTT „Handbuch der tierischen Ernährung“ über Fütterung und Futtermittel und des Buches von BÖHMER über die Kraftfuttermittel.