

Chemie und Physiologie in ihrer Auswirkung auf den Pflanzenanbau.

Von Prof. Dr. KURT NOACK, Berlin-Dahlem.

Direktor des Pflanzenphysiologischen Instituts der Universität Berlin.

(Eingez. 30. Juni 1936.)

Festvortrag auf dem Reichstreffen der Deutschen Chemiker in München am 8. Juli 1936.

Es ist mir die ehrenvolle Aufgabe zuteil geworden, Ihnen vom Gesichtspunkt des Physiologen aus einen Überblick über Erfolge und Ziele der pflanzlichen Ernährungslehre zu geben, in einer Stadt, die den Bahnbrecher auf diesem Gebiet, *Justus v. Liebig*, zu ihren Bürgern zählte. Keiner hat den wesentlichsten Teil seines umfassenden Wirkens schöner gewürdigt als sein Schüler *A. W. v. Hofmann*, der von ihm sagte: „Seine Hand, die niemals einen Pflug geführt, lieferte der ältesten aller menschlichen Gewerbetätigkeiten, dem Ackerbau, den Schlüssel zum Verständnis tausendjähriger Gepflogenheiten.“ Aber noch nicht erschlossen ist das Tor, das uns den Blick frei gibt auf das Getriebe der lebendigen Substanz. Denn diese, das Protoplasma, ist es letzten Endes, die wir in unserem Ringen um Ar und Halm erschließen müssen und deren grundsätzliche Erforschung keineswegs nur ein Postulat des Strebens nach theoretischer Erkenntnis bildet.

Wenn uns *Liebig* weit eindringlicher als seine Vorgänger zeigte, daß das Pflanzenwachstum von der Zufuhr wohldefinierter Stoffe abhängt, so konnte er im Rahmen des damaligen Wissens nur einen weiten, die Einzelercheinungen überspringenden Bogen vom gesamten Endeffekt zurück zur ersten Ursache schlagen; und obwohl seit *Liebig* ein gewaltiges Erfahrungsmaterial über notwendige Menge und gegenseitige Verträglichkeit der Düngemittel ungeahnte Steigerungen unserer Ernteerträge ermöglichte, beginnt die deutsche Agrikulturchemie erst in neuester Zeit, sich der unmittelbaren Wirkung der einzelnen Ernährungsfaktoren anzunehmen, ein Beginnen, in dem sie sich innig mit der Physiologie berührt. Diese hat nach Möglichkeit einzelne Funktionen herauszuschälen, um sie zu einem Bild von der harmonischen Gesamtleistung zu vereinen. Sie muß gewissermaßen physiologische Konstanten schaffen.

Wenden wir uns der **Pflanzenernährung vom Boden her** zu, so zeigt uns schon deren erster Akt, der Eintritt der Ionen und des Wassers in die lebenden Zellen der Wurzel, die Verkettung einer Einzelfunktion mit dem Gesamtgetriebe, und zwar nicht nur in dem Sinn, daß eine Ionenart die andere ganz wesentlich beeinflusst, sondern auch in der Weise, daß der Gesamtstoffwechsel sich bis an die Peripherie auswirkt und die Eintrittspforten der Ionen und Moleküle kontrolliert. Diese erst in den letzten Jahren sich anbahnende Erkenntnis fordert also eine Unterordnung von Vorgängen, die scheinbar lediglich in dem Charakter der eintretenden Ionen und in statischen Eigenschaften des Protoplasmas begründet sind, unter den Gesamtkomplex des Lebensgetriebes.

Wie merkwürdig die Dinge verquickt sind, zeigt uns das Verhalten einer einzelnen Zelle gegen Lösungen. Konnte doch *Pfeffer* die lebende Zelle als Osmometer betrachten, als ein System, das sich gegen Zuckerlösung verhält wie sein berühmtes Modell, eine Tonzelle mit einer Ferrocyan-kupfermembran, die nur Wasser, aber nicht den darin gelösten Zucker hindurchläßt und die auch den Eintritt von Salzen ganz wesentlich erschwert. Andererseits gelingt es ohne weiteres, auch höhere Pflanzen von der Wurzel her sogar mit Zucker zu ernähren.

Auf dieser Grundlage haben sich die Physiologen aller Länder seit vielen Jahren um die Gesetze der Stoffeinwanderung bemüht. Dabei ist ein gewaltiges Material über die grundsätzliche Wechselwirkung zwischen Protoplasma und Ionen erarbeitet worden. Wir wissen, daß Ninsalz-Lösungen schädigend wirken; wir wissen, daß das osmotische Verhalten der Zellen gegenüber den einzelnen Salzen sehr stark von Lösungsgegnossen beeinflusst wird. So wird die Aufnahme eines jeden Salzes der Kationenreihe K, Na, Li, Mg, Ba, Ca durch ein beliebiges anderes Salz gehemmt, dessen Metallion in dieser Reihe hinter dem betreffenden Ausgangssalz steht, und wir finden auch eine entsprechende Reihe bei den Anionen. Wir wissen auch, daß der Hydratationsgrad der Ionen, d. h. die Schwärmdichte der Wassermoleküle um die Ionen, eine Rolle spielt und daß die einzelnen Ionen einen wesentlichen Einfluß auf die Hydratation der Plasmakolloide, also auf den lebenswichtigen Quellungszustand des Protoplasmas besitzen. Auch haben wir alles Recht, das Protoplasma als einen Austauschkörper aufzufassen, wie er grundsätzlich auch in der Struktur des Bodens gegeben ist, und wir können die Mineralsalzaufnahme als einen Kampf um die Ionen betrachten, der zwischen den Sorptionskomplexen der lebenden Zelle und denen des Bodens ausgetragen wird. Aber in diesen Kampf greift, wie wir erst neuerdings lernen, das lebendige Geschehen in der Pflanze ein, vornehmlich die Atmung, die freie Energie zur Verfügung stellt.

Schon seit längerer Zeit ist bekannt, daß tierische Organe, wie Leber und Muskel, Kalium nur solange aufnehmen, als sie voll atmen. Für die Organe der höheren Pflanze zeigten dies am klarsten zunächst der Engländer *Steward*¹⁾ und der Amerikaner *Hoagland*²⁾. In Weizenwurzeln geht die Aufnahme des Kaliums, der Halogen- und der Nitrationen nur vor sich, wenn die Kulturen mit einem mindestens 7,5% Sauerstoff enthaltenden Gasgemisch durchlüftet werden; diese Sauerstoffmenge ist auch für deren Atmung die untere Grenze. Aber darüber hinaus ist der physiologische Gesamtzustand der Organe für die Salzaufnahme von wesentlicher Bedeutung. Nach *Berry* und *Steward*³⁾ ist bei zahlreichen Speicherorganen die Aufnahme des ungiftigen und als körperfremde Substanz leicht nachweisbaren Brom-Ions aus ganz schwachen Kaliumbromidlösungen wohl ebenfalls eine Funktion der Atmung; wesentliche Brommengen werden aber nur von solchen Speicherorganen aufgenommen, die wie die Kartoffelknolle oder die Rübe die inhaerente Fähigkeit zum Wachstum besitzen, während z. B. das nicht mehr fortentwicklungsfähige Fruchtfleisch des Apfels oder die ebenfalls endgültig ausgestalteten Keimblätter der Erbse keine Bromspeicherung aufweisen. Bei der Kartoffel kann durch vorübergehende Abkühlung die latente Wachstumsfähigkeit zeitweise unterdrückt werden mit der Folge, daß gerade in diesem Stadium die Bromaufnahme ausbleibt.

1) F. C. Steward, *Protoplasma* 18, 208 (1933).2) D. R. Hoagland u. T. C. Broger, *Symposium of the American Association for the Advancement of Science*, Berkeley, California 1934.3) W. E. Berry u. F. C. Steward, *Ann. Botany* 48, 395 (1934).

Ich bin diesen Verhältnissen mit meinem Schüler *Schmidt* soeben an einer völlig intakten Pflanze nachgegangen, wobei uns auch die von der Agrikulturchemie viel behandelte Frage beschäftigte, welcher Art die Abhängigkeit der Salzaufnahme von der gleichzeitig aufgenommenen Wassermenge ist⁴⁾. Durch möglichst einfache Versuchsbedingungen vermieden wir die bisher das Bild trübende Überschneidung mehrerer Faktoren: eine stark transpirierende Pflanze (*Sanchezia*) wurde in einer einfachen Nährlösung aufgezogen und in derselben Nährlösung unter streng biologischen Bedingungen in nur 8stündigen Versuchen auf Ionen- und Wasseraufnahme untersucht. Die Ionenaufnahme erwies sich, abgesehen vom Kalium, das eine Sättigungskurve zeigte, als eine lineare Funktion der Wasseraufnahme, aber nur in erster Annäherung. Dies ergab sich aus der Verschiedenheit der Kurvengradienten bei den einzelnen Ionenarten und besonders daraus, daß die relative Ionenaufnahme, d. h. der Aufnahmewert, bezogen auf die jeweils gleich 1 gesetzte Ausgangskonzentration in der aufgenommenen Wassermenge, ganz andere Bilder zeigte. So bewirkt Herabsetzung der Wasseraufnahme eine Erhöhung der Nitrationsaufnahme auf das Sechsfache der in der gleichzeitig aufgenommenen Wassermenge ursprünglich gegebenen Nitrationskonzentration; abgestufte Steigerung der Wasseraufnahme hatte einen gesetzmäßigen Rückgang des relativen Aufnahmewertes bis herab zum Wert 1 zur Folge. Ebenso verhielt sich das wie das Nitration leicht bewegliche Kaliumion. Die Pflanze besitzt also die Fähigkeit, eine durch Hemmung der Wasserzufuhr behinderte Aufnahme der für die Ernährung mengenmäßig wichtigsten Ionen auf Grund einer ihrem Wesen nach unbekannten, spezifischen Attraktionsfähigkeit einigermaßen auszugleichen. Die relativen Aufnahmewerte der übrigen Ionen blieben dagegen in allen Fällen unter 1, meist derart, daß die Aufnahme mit steigender Wasseraufnahme anstieg.

Die ausschlaggebende Bedeutung des Gesamtstoffwechsels für die Ionenaufnahme zeigte sich uns darin, daß sich die Ionenaufnahme der stets verdunkelten Wurzel als stark abhängig von der den oberirdischen Teilen gebotenen Lichtmenge erwies, wobei wir die Wasseraufnahme auf einem konstanten mittleren Wert hielten: Im Lichtbereich von 500—5000 Lux ergaben sich für die Kalium- und Magnesiumaufnahme rasch ansteigende Sättigungskurven, während die Aufnahme der übrigen Ionen durch Minimumkurven gekennzeichnet wurde; in einem bestimmten Bereich der Lichtstärke wurden Calcium- und Phosphationen von der Wurzel sogar an die Nährlösung abgegeben.

Unter diesen Umständen können wir *Steward* beipflichten, wenn er trotz der gewaltigen, von Physiologie und Agrikulturchemie auf die Mineralsalzaufnahme aufgewandten Arbeit diesen Fragenkomplex als jungfräuliches Gebiet bezeichnet.

Wie wahr diese Bemerkung ist, ergibt sich auch aus den Verhältnissen im Innern der Pflanze. Die Pflanze enthält durchweg mehr Kationen als anorganische Anionen, obwohl ihr natürlich Basen- und Säureanteile in äquivalenten Mengen im Boden zur Verfügung stehen; ihr Überschuß an Kationen kann bis auf das Fünffache steigen. Dies erklärt sich aus verschiedenen Gründen: einmal wird ein Teil der Kationen komplex ohne Anion eingebaut; dies gilt mit Sicherheit für das Magnesium des Chlorophylls und das Eisen der Atmungskhämine. Ferner liegt ein beträchtlicher Teil der Basen in Form von Salzen organischer Säuren vor und außerdem gehen die Nitrat- und Sulfationen durch Reduktion zur Amino- und Sulfhydrylgruppe im Verlauf der Synthesen der Anionengarnitur ganz oder teilweise verloren. Dazu kommen noch die Verhältnisse bei der Salz-

aufnahme; denn die Anionen und Kationen brauchen nicht in äquivalenten Mengen aufgenommen zu werden.

Dieser Punkt ist es, der die Agrikulturchemie in erster Linie angeht. Denn ungleiche Ionenaufnahme hat eine Reaktionsverschiebung im Boden nach der sauren oder alkalischen Seite zur Folge. Wir haben in den beiden letzten Jahrzehnten gelernt, in der Konzentration der Wasserstoffionen als Maß für den Säuregrad des Substrats einen Faktor erster Ordnung für Pflanzenentwicklung und Bodenwandlung zu erblicken, und wir wissen, daß beide Vorgänge auf Abstufungen im Säuregrad reagieren, die nur mit feineren Mitteln, als wir sie im Lackmuspapier besitzen, erfassbar sind.

Selbstverständlich beruht die ungleiche Aufnahme von Anionen und Kationen nicht darauf, daß die zusammengehörigen, entgegengesetzt geladenen Ionen eines Salzes bei der Aufnahme durch die Pflanze getrennt werden würden; hierzu wären gewaltige elektrostatische Kräfte nötig. Wohl aber sind es die Wasserstoff- und Hydroxylionen des Wassers, die letzten Endes dieselbe Wirkung erzielen, indem sie die Salze auf dem Weg der hydrolytischen Dissoziation in ihre Säuren und Basen zerlegen, so daß nunmehr der in Hydroxydform vorliegende Basenanteil unabhängig vom Säureanteil, im großen ganzen offenbar nach Maßgabe des Bedarfs an den Ionengattungen, von der Pflanze aufgenommen werden kann. Entsprechend wirkt die Atmungskohlensäure der Wurzel.

Hieraus hat sich ein Verständnis für die Tatsache entwickelt, daß Nährsalze, die im ganzen als neutral gelten, ein Sauer- bzw. Alkalischerwerden des kultivierten Bodens bedingen. Diese physiologische Acidität und Alkalinität der Nährsalze wurde nach wichtigen Vorarbeiten von *Ad. Meyer* durch *Kappen*⁵⁾ in ein System gebracht. Im Grundsatz sind als physiologisch alkalisch z. B. die Nitrate des Kaliums, Natriums, Calciums und sogar das an sich sauer reagierende Monocalciumphosphat anzusprechen, während als physiologisch sauer wirkende Düngesalze die Chloride und Sulfate des Ammoniums, des Kaliums und des Calciums zu gelten haben. Sogar der Harnstoff gehört mittelbar hierher, insofern als er durch die Tätigkeit der nitrifizierenden Bodenbakterien über das Ammoniumcarbonat in Salpetersäure übergeführt werden kann.

Aber auch hier liegen die Dinge nicht einfach. Neuere Untersuchungen zeigen, daß von den landläufigen Düngesalzen einzig das Ammonsulfat ausgesprochen physiologisch saure Wirkung besitzt. In Versuchen von *Kappen* mit Natronsalpeter blieb der Alkalinitätsanstieg hinter dem Betrag zurück, der bei stark verschiedener Aufnahmegeschwindigkeit der Natrium- und der Nitrationen zu erwarten war. Auch vermag selbst reichliche Salpeterdüngung keine wirksame Neutralisation versauerter Böden zu erzielen. Jedoch weist *Kappen* mit Recht darauf hin, daß wir uns bei diesen Fragen nicht mit dem Boden im ganzen befassen dürfen, sondern die kleinsten Räume um die Absorptionszone der Wurzel zu beachten haben; denn es könnte sich gerade in der unmittelbaren Nachbarschaft der Wurzeln durch Zurücklassen des Natriums eine Entsäuerung einstellen, die, wenn sie auch nicht dem Boden im ganzen zugute kommt, doch eine wesentliche Förderung der gerade in ihr wurzelnden Pflanzen bedeutet. Derartiges zeigte vor kurzem *Schander*⁶⁾ an der kalkfeindlichen gelben Lupine, die an saure Böden angepaßt ist. In Nährlösungen ist für sie der Bereich der optimal wirkenden Wasserstoffionenkonzentration sehr eng und erweist sich wesentlich breiter bei Bodenversuchen, offenbar deswegen, weil die Pflanze auf die wurzelnahe Bodenzone infolge der gegenüber

⁵⁾ H. Kappen, Die Bodenazidität. Berlin 1929.

⁶⁾ H. Schander, Ber. dtsch. bot. Ges. 53, 807 [1935].

⁴⁾ K. Noack, Ber. dtsch. bot. Ges. 54, 261 [1936].

Nährlösungen ungleich geringeren Diffusionsmöglichkeit einen regulatorischen Einfluß ausüben kann.

Solche oft beschriebenen, auch bei Pilzen vorkommenden Regulationen lassen sich am einfachsten durch Ionenaustausch zwischen den Sorptionskomplexen des Protoplasmas wie auch der Zellwand und andererseits denen des Bodens erklären. Soweit Anionenaustausch in Frage kommt, ist in erster Linie an die von der Wurzel reichlich ausgeschiedene Atmungskohlensäure zu denken. Neuerdings glaubt *Solberg*⁷⁾ die schon oft gehegte Vermutung einer Ausscheidung auch anderer Säuren bestätigen zu können. Er untersuchte in nährsalzfreien und auf pufferarmem Quarzsand aufgezogenen jungen Pflanzenkulturen die wurzelnahe Sandzone und fand darin auch noch saure Reaktion, als er die Proben auf 105° erhitzt hatte und damit das alleinige Vorhandensein von Kohlensäure ausschloß. Hierin ist freilich wohl kein direkter Beweis für die Ausscheidung einer nicht flüchtigen Säure durch die Wurzel zu erblicken. Denn *Allen* und *Kurmius*⁸⁾ erhielten aus dem natürlichen Austauschkörper des Bodens, dem Montmorillonit, durch Entbasung mit Salzsäure einen Ton, der seine Austauschacidität nach Erhitzen auf 110° nicht eingebüßt hatte.

Die Frage der Ausscheidung starker Säuren durch die Wurzel hat natürlich auch grundsätzliche Bedeutung für die Aufschließung der Primärmineralien, nicht zuletzt der Rohphosphate, die nach *W. Fischer*⁹⁾ sogar unter Druck bei 120° sehr wenig von Kohlensäure angegriffen werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß, wie schon ältere Erfahrungen zeigen, der Verteilungsgrad der schwerlöslichen Mineralien eine Rolle bei der Aufnahme durch die Pflanze spielt und daß auch das schwerlösliche Rohphosphat in fein gepulvertem Zustand assimilierbar ist. Andererseits steht es außer Frage, daß das Heer der Bodenbakterien, vor allem die nitrifizierenden Bakterien mit ihrer Salpetersäurebildung und die Schwefelsäurebildner in reichlichem Maß an der Bodenaufschließung teilnehmen.

Aus all dem Gesagten stellt sich als wesentlich für die Fortentwicklung unserer Erkenntnis die Tatsache heraus, daß die Ionen in Pflanze und Boden einschließlich der in ihm befindlichen kleinsten Lebewesen in innigster Wechselwirkung stehen und die inneren Stoffwechselvorgänge der höheren Pflanze, deren Ertrag wir durch Salzdüngung steigern wollen, ebenfalls an den Umsetzungen im Boden beteiligt sind, und daß wir vor allem in der Atmung einen überaus wichtigen Faktor für die Einwanderung der Ionen zu erblicken haben.

Die Aufhellung der ursächlichen Beziehungen zwischen Atmung und Ionenaufnahme scheint einem Forschungsgebiet vorbehalten zu sein, das neuerdings eine erfreuliche Entwicklung nimmt und das sich mit den elektrischen Potentialen im Pflanzenkörper befaßt. Diese Potentiale wurden noch vor kurzem im wesentlichen als Diffusionspotentiale betrachtet, entstanden aus den sich durch Elektrolyteinwanderung ergebenden Konzentrationsdifferenzen und aus der verschiedenen Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen. Neuere Arbeiten, vor allem die von *Lund*¹⁰⁾, zeigen aber, daß in tierischen und pflanzlichen Organen diese Potentiale nur vorhanden sind, solange die Atmung normal ist. Vorübergehender Sauerstoffentzug hat in reversibler Weise Potentialvernichtung zur Folge. An Wurzelspitzen fällt der Sitz der stärksten elektromotorischen Kraft mit der Zone der stärksten Atmung, den wachsenden Teilen,

zusammen. Es handelt sich also im wesentlichen nicht um Diffusionspotentiale, sondern wahrscheinlich um Reduktions-Oxydations-Potentiale. Dies wird besonders noch dadurch unterstrichen, daß ein Organ mit hoher elektromotorischer Kraft zugleich eine ausgesprochene Fähigkeit zur Reduktion von Methylenblau besitzt. Die Salzaufnahme durch die Pflanze kann daher nicht die Folge eines Diffusionspotentials sein. Diffusion heißt Anstreben eines Gleichgewichts, und mit Recht sagt *Keller*¹¹⁾: „Das Plasma ist antiosmotisch und schafft Konzentrationsdifferenzen, gleicht sie nicht aus.“ Dies steht in voller Übereinstimmung mit unserer heutigen Auffassung vom Wesen des Lebens, wenn wir die maßgebende Struktur als eine chemodynamische Maschine betrachten, in der jeweils bestehende Gleichgewichte in Ungleichgewichte zur Herstellung der Arbeitsbereitschaft umgeformt werden. Und es ist, wie auch *Lund* bemerkt, sehr wahrscheinlich, daß Wasser- und Mineralsalzaufnahme und wohl auch andere gerichtete Vorgänge bis hinauf zur Zellteilung und zu Reaktionsbewegungen auf äußere Reize durch elektrische Ströme bedingt sind, die ihrerseits von der Atmung geliefert werden. Es bahnt sich hier ein Weg, der uns zu einer großartigen Vereinigung einer Vielheit einzelner Lebenserscheinungen unter einem und demselben Gesichtspunkt führen wird. Dabei dürfte auch eine bisher wenig beachtete Eigenschaft des Wassers zu berücksichtigen sein, seine extrem hohe Dielektrizitätskonstante, die die Existenz der Ionen ermöglicht und die durch Salzzusatz stark verändert wird. Die bisher vorliegenden Untersuchungen¹²⁾ sind jedoch noch nicht genügend gesichert.

So sehen wir, daß allein schon das Lebensgeschehen an der Peripherie der Pflanze, in den im Boden befindlichen Aufnahmeapparaten, eine Fülle von Problemen birgt, die auf das innigste mit den Aufgaben der Agrikulturchemie verknüpft sind.

Nummehr möchte ich Ihnen einen kurzen Überblick über den **Mineralstoffbedarf** und über die Funktion der von der Pflanze aus dem Boden aufgenommenen Elemente geben, um Ihnen auch hier zu zeigen, welche wichtigen Aufgaben noch der Lösung harren.

Wenn wir den Mineralstoffbedarf in eindeutiger Weise feststellen wollen, müssen wir zunächst mit unnatürlich erscheinenden Bedingungen arbeiten; wir müssen Salzlösungen bekannter Konzentration, sei es als solche, sei es in Verbindung mit nährstofffreiem Quarzsand, anwenden. Unnatürlich vor allem deswegen, weil wir damit, soweit wir nicht mit den umständlich zu handhabenden fließenden Nährlösungen arbeiten, der Pflanze die Salze in einer Konzentrationshöhe bieten, wie sie in der Bodenlösung allermeist nicht gegeben ist. Schon *Liebig* wußte, daß der Gehalt des Bodens an wasserlöslichen Nahrungsbestandteilen um ein Vielfaches hinter dem Bedarf der Pflanze zurückbleibt. Dies gilt vor allem für die zweiwertigen Kationen, unter denen das lebenswichtige Magnesium in manchen Bodenlösungen überhaupt fehlt.

Aber da wir in synthetischen Nährlösungen normale Pflanzenentwicklung von der Keimung bis zur Fruchtbildung erreichen, dürfen wir den Bedarf an den einzelnen Elementen auf diesem Wege feststellen. Alte, reiche Erfahrung seit den Zeiten von *Julius Sachs* lehrte uns zunächst, daß eine Nährlösung, die Kalium, Calcium, Magnesium, Stickstoff, Phosphor, Schwefel und etwas Eisen enthält, normale Entwicklung gewährleistet. Mit zunehmender Reinheit der Salze schwanden aber die Erfolge. Hierin war ein wesentlicher Faktor für die weitere Entwicklung der Forschung gegeben, weil damit im Zusammenhang

⁷⁾ *P. Solberg*, Landwirtsch. Jb. **81**, 891 [1935].

⁸⁾ *P. Allen* u. *B. Kurmius*, Beiheft zu den Ztschr. d. V. D. Ch. Nr. 21 [1935], im Auszug veröffentlicht diese Ztschr. **48**, 584 [1935].

⁹⁾ *W. Fischer*, Z. anorg. allg. Chem. **223**, 422 [1935].

¹⁰⁾ *E. J. Lund*, (z. B.) Protoplasma **13**, 236 [1931]; *H. F. Rosenc* u. *E. J. Lund*, Plant Physiol. **10**, 27 [1935].

¹¹⁾ *R. Keller*, Protoplasma **25**, 69 [1936].

¹²⁾ *O. Blüh*, ebenda **23**, 411 [1935].

mit Erfahrungen an Pilzkulturen klar wurde, daß die Pflanze auch noch anderer Elemente, besonders bestimmter Schwermetalle, wenn auch nur in kleinsten Mengen, bedarf. Wie ausschlaggebend deren Wirkung ist, haben uns allerdings erst die letzten Jahre gezeigt, als wir u. a. aus *Bortels*¹³⁾ Versuchen an Schimmelpilzkulturen lernten, die auch noch in reinsten einfachen Nährlösungen vorhandenen Metallspuren durch Adsorption an Tierkohle weitgehend zu entfernen. Die minimale Pilzernte, die in derartig gereinigten Lösungen erhalten wird, kann um das rund Sechzigfache gesteigert werden, wenn der Nährlösung Nisen, Kupfer und Zink in Konzentrationen von jeweils $1 \cdot 10^{-4}\%$, bezogen auf die Nährlösung, zugesetzt werden, während die Zugabe nur eines oder zweier dieser Metalle eine wesentlich geringere Erntesteigerung zur Folge hat. Bemerkenswert ist, daß der optimal wirkende Konzentrationsbereich bei diesen Metallen sehr eng ist. Aus diesen Verhältnissen heraus hat *Hoagland*¹⁴⁾ für die Kultur der höheren Pflanze eine als A-Z-Lösung bezeichnete Zusatzlösung zu beliebigen Grundnährlösungen entwickelt, die früher 12 Elemente enthielt und neuerdings auf 26 Elemente angeschwollen ist. Die ältere Lösung enthält Lithium, Kupfer, Zink, Bor, Aluminium, Zinn, Mangan, Nickel, Kobalt, Titan, Jod und Brom, derart, daß in der fertigen Vollnährlösung nur kleinste Mengen dieser Zusatzelemente vorliegen. Die eindeutige Ertragssteigerung, die *Hoagland* mit solchen Spurenelementen erzielte, haben in Deutschland *Scharrer* und *Schropp*¹⁵⁾ bestätigt; mit der älteren A-Z-Lösung erhielten sie bei mehreren Kulturpflanzen über 100%ige Mehrerträge.

Die Bedeutung dieser Ergebnisse beschränkt sich keineswegs auf grundsätzliche Fragen der Biochemie, sondern geht den Pflanzenbau auch unmittelbar an. Denn obwohl diese Spurenelemente in der Regel überall zu finden sind, so ist doch eine Reihe von Fällen bekannt, in denen der Boden als Ernährungsfaktor versagt, weil das eine oder andere der Spurenelemente nicht vorhanden oder vielleicht festgelegt ist oder die normale Verwertung im Innern z. B. durch Kaliummangel, durch Alkalinität des Bodens u. a. gehemmt ist.

Aus all dem erwächst auch der Agrikulturchemie die Pflicht, sich ganz allgemein mit der **Funktion der Elemente in der Pflanze** zu befassen. Wenn wir die im eigentlichen Plasma mengenmäßig vorherrschenden Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Phosphor, Schwefel als die wesentlichsten Bausteine der Eiweißkörper und der Lipide betrachten dürfen, so sind wir doch gezwungen, diese Stoffgruppen nach der funktionellen Seite hin zunächst als eine konstante, unbekannte Größe hinzunehmen, von der bislang nur gewisse Teileigenschaften in die physiologische Betrachtung sich einzuspielen beginnen. Ebenso ist uns der Reaktionsablauf bei ihrer Bildung noch so gut wie verschlossen; wir können uns nur in großen Zügen ein Bild davon machen, wie der in anorganischer Form aufgenommene Stickstoff sich im Verein mit den übrigen Elementen mit der Ausgangssubstanz für alle Synthesen, den photosynthetisch entstandenen Kohlenhydraten, zu Eiweiß und Lipiden umsetzt, und wie das Heer der übrigen organischen Stoffe im Pflanzenkörper entsteht.

Es ist hier nicht der Ort, auf die schwer errungenen Teilerkenntnisse in diesem Gebiet einzugehen; denn wir sind gegenwärtig nur in Ausnahmefällen in der Lage, diese als Wegweiser in der Agrikulturchemie zu benutzen. Aber immer deutlicher wird es, daß die synthetischen Reaktionen innig mit den aeroben und anaeroben Atmungs-

vorgängen unter Mitwirkung der dabei entstehenden reaktionsfähigen Zwischenkörper verkoppelt sind, so daß die Klarlegung der Atmung, die zurzeit im Brennpunkt des biochemischen Interesses steht, von selbst auf die Erforschung der pflanzlichen Synthesen führen wird. Ein einfaches Beispiel hierfür ist die Reduktion der Nitrationen zu Ammoniak, wobei der Energieaufwand, wie *Warburg*¹⁶⁾ fand, von der Atmung bestritten wird; denn bei Nitratreduktion tritt eine zusätzliche Abgabe von Kohlensäure auf, und zwar ohne zusätzliche Aufnahme von Sauerstoff, da dieser von den zu reduzierenden Nitrationen geliefert wird.

Und hier beginnen die Probleme, die den Pflanzenbau interessieren. Die Tatsache, daß die reduktive Umwandlung des Nitrations ein arbeitsspeichernder Vorgang ist, läßt a priori eine Ernährung mit hydriertem Stickstoff, d. h. mit Ammoniumsalzen, als rationeller erscheinen. Jedoch hat die Pflanze in dieser Hinsicht, energetisch betrachtet, eine eigentümlich große Freiheit, da zwischen Ernährung mit Nitratstickstoff oder mit Ammonstickstoff kein einschneidender Unterschied besteht. Tatsache ist allerdings, daß das Ammoniumion rascher als das Nitration aufgenommen wird und daß zur gleich starken Befriedigung des Stickstoffbedarfs in Nährlösungsversuchen der Pflanze größere Gaben an Nitratstickstoff als an Ammonstickstoff geboten werden müssen.

Eine gewaltige Literatur befaßt sich mit der Frage, welche der beiden Arten der Stickstoffernährung die günstigste ist. Im großen ganzen dürfte der Basengehalt des Bodens maßgebend sein, insofern als in sauren Nährlösungen, die i. allg. basenarmen Böden entsprechen, die Nitraternährung, in weniger sauren die Ammonsalzernährung günstiger ist. Auch sprechen manche Erfahrungen dafür, daß der optimale Bereich der H-Ionenkonzentration bei Ammonsalzernährung enger ist als bei Nitraternährung. Außerdem kann nach *Mevius*¹⁷⁾ das aufgenommene Ammoniumhydroxyd infolge der Abspaltung von Ammoniak schädlich wirken, insofern es nicht durch Säuren in Form von Ammonsalzen oder Amiden entgiftet wird. Die ganze Frage der Nitrat- bzw. Ammonsalzernährung kann aber ebensowenig wie die allgemeine Aufnahme der Ionen rein physikalisch-chemisch behandelt werden, nachdem uns *Prianischnikow*¹⁸⁾ zeigte, daß der physiologische Gesamtzustand der Pflanze die Verwertung von Ammonstickstoff und Nitratstickstoff mit kontrolliert. Im Freiland komplizieren sich die Verhältnisse noch durch die Nitrifikation, die Oxydation des Ammonstickstoffs durch Bodenbakterien zu Salpetersäure, ohne daß wir über das Ausmaß dieser Vorgänge schon mit genügender Genauigkeit unterrichtet wären.

Energieaufwand ist auch bei der Assimilation des Schwefels nötig, da das Sulfation zur Sulfhydrylgruppe umgewandelt wird, um in dieser Form in die Eiweißkörper, in Vitamin B₁ und in eine offenbar wichtige Substanz, das viel untersuchte Glutathion, eingebaut zu werden. Dieses cyst.inhaltige Tripeptid scheint eben seiner Sulfhydrylgruppe wegen maßgebende Funktionen bei Fermentvorgängen und vielleicht auch bei der Atmung auszuüben.

Etwas klarer sehen wir im Fall des Phosphations, das ohne reduktive Umwandlung assimiliert wird. Seine Funktionen im Eiweiß und in den Lipiden sind noch nicht definierbar, wohl aber hat sich eine wichtige Rolle im Betriebsstoffwechsel herausarbeiten lassen. Die Zucker

¹⁶⁾ O. Warburg u. E. Negelein, Biochem. Z. 110, 66 [1920].

¹⁷⁾ W. Mevius, Planta 6, 379 [1928]; W. Mevius u. H. Engel, ebenda 9, 1 [1929].

¹⁸⁾ D. Prianischnikow, Z. Pflanzenernährg. Düng. Bodenkunde Abt. A 33, 134 [1934].

¹³⁾ H. Bortels, Biochem. Z. 182, 301 [1927].

¹⁴⁾ D. R. Hoagland u. W. C. Snyder, Proc. Amer. Hort. Sci. 30, 288 [1933].

¹⁵⁾ K. Scharrer u. W. Schropp, Jb. wiss. Bot. 78, 544 [1933].

treten in phosphoryliertem Zustand in die Gärung ein; auch die nur drei Kohlenstoffatome besitzenden Zwischenkörper der Gärung sind noch phosphoryliert. Hierbei vermittelt ein Ferment, die Hexokinase, den Übergang des Phosphations von einer besonderen Substanz, von der Adenylpyrophosphorsäure, auf die Glucose und macht sie dadurch offenbar gärbereit^{18a)}. Es wird immer klarer, daß die Atmungsvorgänge im Tier- und Pflanzenkörper eine weitgehende Übereinstimmung zeigen und daß wir von der durch die Gärungschemie geschaffenen Plattform aus auch den Betriebsstoffwechsel der höheren Pflanze erfassen werden, denn auch in dieser ist der die Gärung bewirkende Zymasekomplex vorhanden, und hier interessiert besonders, daß Extrakte aus keimenden Erbsen die Fähigkeit zur Phosphorylierung der Glucose besitzen, und daß *Ruhland*¹⁹⁾ in wachsenden Pflanzenorganen eine aerobe Gärung nachwies, die bei Abschluß des Wachstums verschwindet. Aus dem Phosphatgehalt der Stärke läßt sich schließen, daß überhaupt im Kohlenhydratstoffwechsel das Phosphation eine Rolle spielt, wie auch gerade ein Spezialist der Zuckerspeicherung, die Zuckerrübe, besonders phosphatbedürftig ist.

In diesem Zusammenhang ist es auch klar geworden, warum das Magnesium nicht nur für die grüne Pflanze, die in diesem Element offenbar den reaktionsfähigsten Teil des Chlorophyllmoleküls besitzt, lebenswichtig ist. Denn eines der an der anaeroben Zuckerspaltung beteiligten Enzyme, die Kozymase, ist nur in Gegenwart von Magnesiumsalz wirksam. Daraus ergibt sich nebenbei die Folgerung, daß wir die auf magnesiumarmen Böden auftretenden Chlorophylldefekte nicht ausschließlich als unmittelbare Folgen des Magnesiummangels betrachten dürfen; vermutlich werden zunächst wichtige Elementarfunktionen gestört, die mittelbar auf die Chlorophyllbildung einwirken, denn auch durch Eisenmangel läßt sich eine Chlorose erzielen, obwohl das Chlorophyll selbst eisenfrei ist.

Und gerade für dieses Element, das Eisen, ist die Teilnahme an dem alles beherrschenden Betriebsstoffwechsel von *O. Warburg* in vorzüglicher Klarheit erwiesen worden. Denn die Sauerstoffatmung von Tier und Pflanze ist vom Eisen der Hämine abhängig, die in ganz geringen, nur spektroskopisch nachweisbaren Mengen in der Zelle vorkommen und doch schon zum Teil präparativ hergestellt wurden²⁰⁾. Nichts zeigt uns eindrucksvoller die Verzahnung der Reaktionen im Organismus, als die Teilvorgänge bei der Sauerstoffatmung, bei der sich in fortlaufender Kette mehrere Katalysen mit und ohne Eisenbeteiligung die Hand reichen:

Wenn *Wieland* uns zeigte, daß die Verbrennung der Glucose ihrem Wesen nach eine Dehydrierung, d. h. Abspaltung des Wasserstoffs darstellt, der über Wasserstoffperoxyd zu Wasser oxydiert wird, so konnte *Warburg* den Weg des Wasserstoffs bis zu seiner energetischen Entwertung durch den Luftsauerstoff in wohldefinierte Teilstücke zerlegen. Er fand²¹⁾, daß die Wasserstoffabspaltung aus Zucker eine einfache stöchiometrische Reaktion zwischen phosphorylierter Glucose und einem eisenfreien Ferment darstellt, das eine wasserstoffaufnehmende Gruppe, das Amid der Nicotinsäure, enthält²²⁾. Da dieses Hydrierungsprodukt den aufgenommenen Wasserstoff nicht an den Luftsauerstoff abgeben kann, wird der Wasserstoff

von einem zweiten, ebenfalls eisenfreien Ferment, dem sog. gelben Ferment, übernommen, das durch eine Farbstoffkomponente, die Alloxazingruppe, charakterisiert ist und durch diese Hydrierung in die farblose Leukoverbindung übergeht. Diese hydrierte Verbindung kann an sich den Wasserstoff an den Sauerstoff der Luft abgeben; jedoch wird dieser Weg wegen geringer Umwandlungsgeschwindigkeit der beiden Fermentstufen untereinander nur von wenigen einzelligen Organismen benutzt und meist statt dessen ein ganzes System von Häminen eingeschaltet, von denen jedes nach Maßgabe der Wertigkeitsänderung seines Eisensatoms ebenfalls ein Reduktions-Oxydations-System darstellt, bis schließlich in einem letzten Hämin der Wasserstoff durch den Luftsauerstoff oxydiert wird. Vermutlich bezweckt dieses Schaltprinzip eine Reaktionsbeschleunigung dadurch, daß die einzelnen Redoxsysteme nach der Lage ihrer Oxydationspotentiale geordnet sind. Das Entstehen der Atmungskohlensäure erklärt sich damit, daß die Entfernung von zwei Wasserstoffatomen an der Glucose die nachgewiesene Bildung einer Carboxylgruppe zur Folge hat. Dieses Schema muß weitgehende Gültigkeit im Tier- und Pflanzenreich besitzen. So hat *Euler*²³⁾ das gelbe Ferment in Gerste, Hafer und Erbsen gefunden und auch seine Synthese während der Keimung nachgewiesen. Auch spinnen sich von hier aus die Fäden in andere Bereiche des Stoffwechsels; denn die Alloxazinkomponente des gelben Ferments stellt, von ihrem kolloidalen Eiweißträger abgetrennt, ein Wachstumsvitamin, das Vitamin B₂, dar.

Aber nicht nur bei energieliefernden, sondern auch bei energiespeichernden Vorgängen treffen wir das Eisen als Katalysator an. Nach *Warburg* ist die biologische Reduktion des Nitrations zur Ammoniakstufe oder, besser gesagt, die Zuckeroxydation durch den Sauerstoff des Nitrations eine Eisenkatalyse, die sich als solche durch ihre Empfindlichkeit gegen Blausäure charakterisieren ließ, eine Substanz, die das Eisen infolge Komplexbindung ausschaltet. Die Blausäureempfindlichkeit der Nitratreduktion ist außerordentlich groß; sie ist 20000mal höher als die der Atmung. Bilanzmäßig freilich ist die Nitratreduktion kein energiespeichernder Vorgang, da ihr Energiebedarf aus der Zuckerverbrennung mit einem nur etwa 30%igen Nutzeffekt gedeckt wird. Wohl aber ist dies bei der Photosynthese der Fall, die ja eine äußere Energiequelle, das Sonnenlicht, benutzt. Und auch dieser Vorgang ist nach *Warburg* eine Eisenkatalyse, die gegen Blausäure 1000mal empfindlicher ist als die Atmung. In welcher Form das Eisen bei der Photosynthese wirksam ist, steht noch dahin. Wesentlich erscheint mir, daß die Chloroplasten, die Organe der Photosynthese, nach *Moore* reichliche Mengen von Eisen besitzen, die mit Hämatoxilin eine Bräunung ergeben. Damit ist das Vorhandensein einer einfachen Eisenverbindung in kolloidaler Form angezeigt, und ich konnte nachweisen²⁴⁾, daß ein spezifisches Assimilationsgift, das Schwefeldioxyd der Rauchgase, den kolloidalen Zustand des Chloroplasteneisens in den ionogenen überführt unter gleichzeitiger Lahmlegung des Assimilationsapparates und Erhöhung des wasserlöslichen Eisenanteils.

Trotz der allgemeinen Verbreitung des Eisens im Boden verdient dieses Metall die eingehende Beachtung seitens der Agrikulturchemiker, da deutliche Eisenmangelerscheinungen, vor allem Chlorose, sich bei relativ hohem Eisengehalt der Pflanze einstellen können. Es scheint das Eisen auf seinem Weg zu den Blättern in sekundärer Folge einer Alkalität oder auch Kaliarmut des Bodens in der Pflanze festgelegt zu werden. Schon *Liebig* ahnte die Bedeutung des Eisens für die Atmung, aber auch noch mehr,

^{18a)} Anmerkung: Ob jegliche Zuckerveratmung mit Phosphorylierung verbunden ist, scheint nach Befunden von *Nord* (Naturwiss. 24, 297 [1936]) noch nicht sicher zu sein.

¹⁹⁾ *W. Ruhland* u. *H. Ullrich*, Ber. Verh. sächs. Akad. Wiss. Leipzig, math.-physische Kl. 88, 11 [1936].

²⁰⁾ *H. Theorell*, Biochem. Z. 279, 463 [1935].

²¹⁾ *O. Warburg*, *W. Christian* u. *A. Griese*, ebenda 282, 157 [1935].

²²⁾ *O. Warburg* u. *W. Christian*, ebenda 275, 464 [1934].

²³⁾ *H. v. Euler* u. *O. Dahl*, ebenda 282, 235 [1935].

²⁴⁾ *K. Noack*, diese Ztschr. 39, 302 [1926]; Naturwiss. 14, 383 [1926].

wenn er 1842 sagte: „Kein einziges Metall kann in bezug auf merkwürdige Eigenschaften mit den Eisenverbindungen verglichen werden.“

Wenn das Eisen der Pflanze noch in verhältnismäßig großen Mengen zugeführt werden muß, so ist dies anders beim Mangan, Kupfer und Zink. Bei einer besonders geeigneten Indikatorpflanze, die offenbar wenig Mangan vom Samen her mitbringt, bei der Wasserlinse, wurde eine normale Entwicklung nur in Gegenwart von Mangan in der Konzentration von 1:3 Milliarden erhalten. Wir werden wohl auch das Mangan mit seiner Fähigkeit des Valenzwechsels als ein Glied in irgendeinem lebenswichtigen Redoxsystem betrachten müssen. Dies gilt ebenso vom Kupfer. Eine in dieser Richtung liegende Beobachtung ist vor kurzem in meinem Institut gemacht worden²⁵⁾. Die dunkelbraune Färbung der Sporen des Schimmelpilzes *Aspergillus niger* ist, wie *Bortels*²⁶⁾ fand, vom Kupfer abhängig, derart, daß die gelbbraune Sporenfarbe kupferfreier Kulturen nach Kupferzusatz in das normale Schwarzbraun übergeht. Wir fanden nun, daß der Kupferzusatz in Stickstoffatmosphäre unwirksam ist und erst nach folgender Durchlüftung die Schwärzung der Sporen bewirkt. Damit ist in einem besonderen Fall eine biologische Oxydation als Kupferkatalyse sichergestellt. *Sjollema*²⁷⁾ beobachtete in Holland, daß das Heu in Gebieten, in denen beim Vieh Lecksucht auftritt, besonders kupferarm ist. Die näheren Zusammenhänge sind noch zu prüfen. Immerhin behauptet *Sjollema* auf Grund von Kompostanalysen, daß dem Boden bei normaler Stalldüngung Kupfermengen zugeführt werden, die 60–130 kg Kupfersulfat pro Hektar entsprechen. Ähnliches wird von Florida berichtet, wo auf kalkigen Moorboden nach Zugabe von 56 kg Kupfersulfat pro Hektar deutliche Ertragssteigerungen eintraten. Auch dürfen wir nicht vergessen, daß das neugeborene Tier ganz erhebliche Mengen an Kupfer, wie übrigens auch an Eisen und Zink, von der Mutter mitbekommt; die Leber eines neugeborenen Menschen enthält etwa 2,6 mg Kupfer pro 100 g, während die Leber eines Erwachsenen nur 0,75 mg pro 100 g enthält.

Solche Feststellungen berechtigen uns aber nicht, ganz allgemein eine Zusatzdüngung mit Kupfer oder den anderen Spurenelementen zu fordern; denn derartige extreme Ausschläge werden wohl nur auf ausgesprochen kranken Böden erhalten.

Wenn es nach dem Gesagten nicht schwer fällt, die Spurenelemente Mangan und Kupfer in Analogie zum Eisen als Bestandteile irgendwelcher vielleicht gekoppelter Redoxsysteme zu betrachten, so haben wir andererseits für die spezifische Funktion des Zinks noch keinen experimentellen Anhaltspunkt. Rein formal stellt dagegen fest, daß Zink bei Pilzkulturen eine wesentlich rationellere Ausnützung der Kohlenhydrate und auch der Stickstoffverbindungen bewirkt. Im Tier finden wir das Zink am reichlichsten in den besonders tätigen Organen. Vermutungsweise ist schon die Meinung ausgesprochen worden, daß auch das Zink, wenigstens mittelbar, an Redoxvorgängen beteiligt ist.

Neuerdings tritt ein anderes Spurenelement sehr in den Vordergrund, das Bor, dessen Unentbehrlichkeit schon 1915 von *Mazé* an Versuchen mit Mais festgestellt wurde und das aus Anlaß besonderer landwirtschaftlicher Erfahrungen seit 1923 von *Warrington* und anderen Amerikanern sehr stark beachtet wird. Bormangelsymptome sind sehr charakteristisch; vor allem werden die Zentren des Wachstums befallen. In der Borbedürftigkeit ergaben sich ziemlich starke quantitative Unterschiede, die vermutlich, wie dies

wohl für alle Spurenelemente gilt, von der Verschiedenheit der Borreserve im Samen abhängig sind. Die Bormangelschäden bei Leguminosen können durch eine Lösung behoben werden, die ein Teil Bor auf 2,5 Millionen Teile Wasser enthalten. Auch Kartoffel, Tabak und Tomate erwiesen sich als borbedürftig.

Die Funktion des Bors erscheint mir aus einem ganz besonderen Fall heraus erklärbar zu sein. *Schmucker*²⁸⁾ fand, daß die Pollenkörner tropischer Seerosen ihre langen Pollenschläuche nur im auffallend borreichen Sekret der Blütennarbe oder in Zuckerlösungen mit Zusatz kleinster Bormengen entwickeln. Wesentlich ist nun, daß entwickelte Pollenkeimschläuche bei Entfernung des Bors platzen. Dies bedeutet eine außerordentliche Steigerung der Plasmaquellung. Damit stimmt aufs beste überein, daß Bor auf Gelatine fäallend wirkt, d. h. dehydratisiert. So wäre das Bor als einer der zahlreichen Faktoren charakterisiert, die die Struktur des Protoplasmas kontrollieren. Und so würde auch eine neuere russische Mitteilung verständlich, wonach in Bormangelkulturen die Schäden statt durch Borzusatz durch Erhöhung der Kali- und Verminderung der Phosphatzufuhr behoben wurden.

Wir kommen damit auf die lebenswichtige Regulierung der Hydratation der Plasmakolloide und damit zu einem Metall, das einen der wichtigsten Faktoren unserer Düngerewirtschaft darstellt, zum Kalium. Eine Hektar-Kartoffelernte z. B. von 200 dz Knollen und 80 dz Kraut entzieht dem Boden mindestens 160 kg K_2O neben 50 kg CaO , 90 kg N und 40 kg P_2O_5 . Obwohl der starke Kalibedarf gerade unserer Kulturpflanzen außer Frage steht und Kaliummangel sich früher und stärker als Stickstoff- und Phosphormangel an der Pflanze bemerkbar macht, stehen wir der eigentlichen Funktion dieses Metalles noch einigermaßen ratlos gegenüber. Dies hat zwei Gründe: einmal finden wir das Kalium nicht wie etwa Magnesium und Eisen in funktionell greifbaren Körpersubstanzen eingebaut, sondern es liegt mindestens seiner Hauptmasse nach in ionogener Form vor; zum zweiten bewirkt Kaliummangel kein Krankheitsbild, das auf bestimmte Funktionen des Kalis einen Rückschluß zuließe.

Aber diese beiden negativen Feststellungen helfen uns wahrscheinlich auf den richtigen Weg. Denn wenn wir aus Tausenden von Versuchen ersehen, daß Kalium die Kohlenhydratbildung in Pflanzen befördert, die wie die Zuckerrübe dazu prädisponiert sind, wenn in Faserpflanzen oder in den steifhalmigen Gräsern die Entwicklung der Faser nach Menge und Güte durch Kalium gefördert wird oder wenn in Kaliummangelpflanzen eine übernormale Menge von Aminosäuren und Amiden Störungen im Eiweißstoffwechsel anzeigt, so wird es klar, daß das Kalium für die Vitalität im ganzen maßgebend ist, und es verlagert sich zunächst der Schauplatz in das Gebiet der allgemeinen Plasmakonstitution.

In dieser Richtung liegen nun konkrete Angaben zunächst für die Wasserführung vor. Schon *de Vries* maß 1884 dem Kalium eine wichtige Rolle für die Erhaltung des Zellurgors bei, d. h. der Fähigkeit, das Wasser im Plasma festzuhalten. Dies wurde von anderen unmittelbar dadurch erwiesen, daß Kalisalze im Gegensatz zu Calciumsalzen die Transpiration hemmen und andererseits die Wasseraufnahme durch die Wurzel fördern. Damit wird die Kalifrage in ein Gebiet getragen, in dem sich Zellforschung und Bodenkunde berühren, in ein Gebiet, in dem, durchaus in Übereinstimmung mit dem ionogenen Charakter des pflanzlichen Kaliums, die Eigenschaften des Kalium-Ions maßgebend sind, und zwar vor allem die auf seiner Hydratation beruhenden Eigenschaften. Allerdings nimmt das Plasma im Gegensatz zu den Bodenkolloiden das Kaliumion leichter

²⁵⁾ F. Gollmick, Zbl. Bakteriologie, Parasitenkunde Infektionskrankh. Abt. II 93, 421 [1936].

²⁶⁾ H. Bortels, Biochem. Z. 182, 301 [1927].

²⁷⁾ B. Sjollema, ebenda 267, 151 [1933].

²⁸⁾ Th. Schmucker, Planta 23, 264 [1935].

auf als das Natriumion. Dies erklärt sich, wie Quellungsversuche an Samen zeigen, in erster Linie daraus, daß die kleinen intercellularen Räume der semipermeablen Plasmagrenzfläche das Natrium mit seiner starken Schwinwasserhülle langsamer durchlassen als das schwächer hydratisierte Kalium. Hier ist auch der Platz für den oft erwiesenen funktionellen Kontrast zwischen Kalium und Calcium. Denn das Kaliumion ist dem hydrophilen Zustand der Plasmakolloide günstig, und zwar mehr als das Natrium, während Calcium entquellend, sogar koagulierend wirkt.

So wird es auch möglich, scheinbar spezifische Kaliumwirkungen auf einen allgemeinen Nenner zu bringen. Die schon oft aufgestellte und ebenso oft bestrittene Behauptung, daß das Kalium die Kohlensäureassimilation fördere, veranlaßte mich, diese Frage an der durch Warburgs Arbeiten klassisch gewordenen, einzelligen Grünalge *Chlorella* zu untersuchen, deren einfacher Bau keine Komplikationen bedingt, wie sie bei den Kulturpflanzen u. a. durch den langen Transportweg des Kaliums von der Wurzel in die assimilierenden Blätter gegeben sind. Mein Schüler *Pirson* fand soeben, daß schwach grüne Kaliummangelkulturen von *Chlorella* unmittelbar nach Zugabe einer höheren Kalidosis ihre Assimilationsleistung auf das Zwei- bis Zweieinhalbfache erhöhen, ohne daß der Chlorophyllgehalt oder die Zellenzahl in den kurzen Versuchsperioden steigen würde, während umgekehrt die durch Kaliummangel gesteigerte Atmung nach Kalizusatz sofort auf die Norm zurückgeht. Damit stimmt überein, daß wir in Chloroplastenmasse, die wir nach besonderem Verfahren aus Spinat isolieren, die beträchtliche Menge von rund 4% auswaschbaren Kalis, bezogen auf Trockensubstanz, finden. Trotzdem glauben wir nicht an eine spezifische Funktion des Kaliums bei der Photosynthese, schon deswegen nicht, weil wir in Nitratsmangelkulturen nach Zusatz von mehr Nitrat dieselbe Erhöhung der Assimilationsleistung erhalten. Denn genau wie das Kalium unter den Kationen, übt das Nitration unter den Anionen eine starke Quellungs Wirkung aus. Und wenn dem Kalium in spezifischer Weise die Kontrolle der Wasserführung zukommt, so wird dies mit seinem konstanten Verharren in ionogener Form zusammenhängen, während ja das Nitration durch Reduktion verschwindet.

Damit wird auch eine tiefere Bedeutung in den Antagonismus zwischen Kalium und Calcium hineingetragen, derart, daß wir für beide Metalle dieselben kolloidchemischen Momente als Hauptgrundlage ihrer Funktion zu betrachten haben, die wir zunächst allgemein als Förderung bzw. Hemmung der Plasmaquellung charakterisieren können. So erklärt sich die gegenseitige entgiftende Wirkung dieser beiden Kationen wie auch die an Pflanzen und neuerdings an tierischen Tumoren gemachte Erfahrung, daß Calcium die Abdiffusion des Kaliums aus der Zelle nach außen hemmt. Außerdem scheint das Calcium auch in der Zellwand eine wesentliche Rolle bei Austauschreaktionen zwischen dieser und den Bodenkolloiden zu spielen, wofür schon manche experimentellen Anhaltspunkte gegeben sind. Der Antagonismus zwischen Kalium und Calcium wirkt wohl auch ein Licht auf die Tatsache, daß Kalium nicht durch das verwandte Natrium ersetzbar ist; denn der Antagonismus zwischen Natrium und Calcium ist geringer.

Diese Feststellungen machen es klar, daß Kalium und Calcium alle Erscheinungen kontrollieren, die mit der Wasserführung unmittelbar oder mittelbar zusammenhängen. Vor allem gilt dies für die Beziehung des Kaliums zur Frost- und Dürresistenz der Gewächse. Die seit langem bearbeitete Frage des Gefriertodes klärt sich allmählich in der Richtung, daß die Eisbildung eine Dehydratation der Plasmakolloide und eine in gleicher Richtung

wirkende Erhöhung der Salzkonzentration im Zellsaft bewirkt. Damit erweist sich die Frostresistenz als Parallelerscheinung der Dürresistenz, in die auch die Salzresistenz mit einbezogen werden kann: eine frostharte Roggensorte zeigte in Gegenwart von 0,3 Mol Chlornatrium eine um etwa 10% höhere Keimzahl als der weniger frostharte Pettkuser Roggen. Wir haben damit eine Erklärung für die in zahlreichen Untersuchungen mit Sicherheit festgestellte Tatsache, daß reichliche Kaliumernährung ganz allgemein die Frostresistenz befördert, während reichliche Stickstoff- und Phosphaternährung diese Wirkung nicht erzielt. Günstige Beeinflussung der Plasmahydratation im Verein mit Erhöhung des osmotischen Wertes durch Zuckerbildung aus Stärke sind ohne Zweifel die Hauptmomente.

Befassen wir uns noch mit dem Teil des **Wassers**, der nicht als Konstitutionswasser oder als Baustein für die Kohlenhydrate verwandt wird, sondern als Vehikel für den Stofftransport in gewaltigen Mengen die Pflanze durchzieht, um als Wasserdampf abgegeben zu werden! Der Wasserbedarf der blattreichen Gewächse in unserem Klima beläuft sich schätzungsweise auf 400 cm³ für die Bildung von 1 g Trockensubstanz; der Maximalbedarf unserer Kulturpflanzen wird mit 40–70 m³ je Tag und Hektar angegeben. Hier harren für den Agrikulturchemiker und den Physiologen wichtige Aufgaben. Es ist keine Frage, daß die an sich durchaus mögliche Verbesserung der deutschen Wasserwirtschaft ganz beträchtliche Steigerungen der Ernteerträge zur Folge haben muß, wie dies besonders *Schoenefeldt* und *Allen*²⁹⁾ dargelegt haben. Denn der Faktor Wasser befindet sich bei uns im Minimum, wirkt also auch bei bester Düngung ertragsbestimmend, genauer gesagt, begrenzend. Diese schon 1883 von *Hellriegel* erhobene Feststellung gilt nicht nur physiologisch, sondern auch betriebswirtschaftlich, da nach der finanziellen Seite die Düngerversorgung keine Schwierigkeiten bietet. Ein gutes Gegenbeispiel liefern die Böden Hollands, die bei künstlicher Düngung infolge ihres Wasserreichtums gewaltige, bei uns nicht mögliche Ertragssteigerungen aufweisen. Der Physiologe hat genauer als bisher den spezifischen Wasserbedarf der einzelnen Kulturpflanzen zu erforschen mit dem Ziel, auch den Wasserbedarf als ein Glied in den Faktorenkomplex einzuordnen, nach dem die Wechselwirtschaft zu regeln ist, d. h. einer einseitigen, mehrere Jahre währenden Wassererschöpfung des Bodens durch entsprechenden Fruchtwechsel im Zusammenhang mit geeigneter Düngung vorzubeugen.

Und nicht zuletzt ist der Physiologe an einem weiteren Bodenfaktor interessiert, an dem ungeheuren Komplex pflanzlicher und tierischer Lebensgemeinschaften, in denen die Wurzeln der höheren Pflanzen nur einen kleinen Teil ausmachen. In verschiedenen Ackerböden der englischen Versuchstation Rothamsted wurde die Zahl der Bakterien in 1 g Boden zu 1 bis 3,7 Milliarden ermittelt³⁰⁾; eine Nachuntersuchung wäre zwar erwünscht. Nach *Löhnis* führen die frei lebenden stickstoffbindenden Bakterien in 24 Millionen Hektar deutschen Ackerbodens diesem 600–700 000 t Luftstickstoff pro Jahr zu; dazu kommt noch ein Stickstoffgewinn von 500 000 t durch die Knöllchenbakterien in den Leguminosen auf weiteren 4 Millionen Hektar. In 1 ha Waldboden wurde das Gesamtgewicht der Regenwürmer zu 2000 kg ermittelt; dies entspricht dem Hektar-Viehbestand einer erstklassigen Landwirtschaft. Die zahllosen Umsetzungen im Boden, die Eiweißbilanz der Mikroben, die noch reichlich unklare und elementar wichtige Humusbildung, die Stickstoffbindung und der gegenteilige Vorgang der Entbindung molekularen Stickstoffs, die oxydative Umwandlung der bei der Verwesung frei werdenden

²⁹⁾ O. Schoenefeldt u. F. Allen, diese Ztschr. 48, 101 (1935).

³⁰⁾ E. J. Russel, Boden und Pflanze. Dresden-Leipzig 1936. S. 278.

ungeheuren Mengen von Aminostickstoff durch kohlen säure-assimilierende Bakterien, die bakterielle Oxydation des Eiweißschwefels zu Schwefelsäure, die allgemeine Beteiligung der Mikroben an der Aufschließung des Bodens und vieles andere stellen wichtigste Probleme dar, deren Lösung eine rationelle Pflege des Bodens, eine zweckmäßige Vereinigung von natürlicher und künstlicher Düngung im Zusammenhang mit der sonstigen Bodenbearbeitung ermöglichen wird. Um so betrüblicher ist es, daß in Deutschland die Mikrobiologie und Biochemie des Bodens schwer darniederliegt.

Ziehen wir das Fazit, so dürfen wir die sichere Überzeugung hegen, durch Erforschung und rationelle Anwendung der biochemischen Grunderscheinungen zur Sicherung der Volksernährung von eigener Scholle unseren Teil beizutragen, der aber erst im Verein mit den Leistungen des Pflanzenzüchters zu einem Ganzen wird.

Lassen Sie mich noch einen Blick auf ein Gebiet werfen, in dem die Chemie erst neuerdings Einzug hält und das doch schon praktische Bedeutung gewinnt, ein Gebiet, das man nicht allzu kühn als die **Chemie der Formbildung** bezeichnen kann und das einen genialen Vorläufer in *Julius Sachs* hat, der an die Existenz von spezifischen blütenbildenden Stoffen glaubte. Von dieser Ansicht, die zu ihrer Zeit und auch später kein Verständnis fand, wissen wir jetzt, daß sie den Keim der Lehre von den Hormonen und Vitaminen in sich trug.

Am genauesten sind wir über Stoffe unterrichtet, die in aller kleinsten Mengen die Streckung junger Pflanzenzellen nach der Teilung auslösen, so zunächst über das in Pflanzen weitverbreitete Auxin, das *Kögl* in glänzenden Arbeiten als einen zweifach butylierten, zu Glutarsäure aufspaltbaren Ring mit einer carboxylierten und hydroxylierten weiteren Seitenkette charakterisierte. Von dem Reinpräparat genügt die Menge von $\frac{1}{50\,000\,000}$ mg, um bei Haferkeimlingen in meßbarer Weise das Zellstreckungswachstum auszulösen. Überraschend war es, daß *Kögl* einen Körper gleicher Wirkung, aber von ganz anderer Konstitution fand, die β -Indolyllessigsäure; nur wirkt diese als Heteroauxin bezeichnete Substanz 3,75mal schwächer.

Auf dieser Grundlage sind neuerdings von *Hitchcock*³¹⁾ noch andere Stoffe gefunden worden, die ähnlich, wenn auch erst in vielfach stärkeren Dosen, wirken, so die Naphthyllessigsäure, die Phenyllessigsäure u. a. Auffallend ist besonders, daß sowohl diese Stoffe als auch das Auxin die auf Zellteilung beruhende Wurzelbildung stark anregen. Ob hier eine spezifische Wirkung auf Grund des Vorhandenseins besonderer Rezeptoren vorliegt oder ob die Zellstreckung sekundär eine Organneubildung zur Folge hat, erscheint mir auf Grund eigener Erfahrungen noch nicht hinreichend klar. Tatsache ist jedenfalls, daß Heteroauxin und die funktionsverwandten Stoffe die Bewurzelung stark fördern, was zurzeit für die wichtige Stecklingsvermehrung von Reben- und Obstsorten in Deutschland genauer geprüft wird. *Hitchcock* berichtet außerdem, daß Tabak unter Einwirkung seiner Wuchsstoffe 3—5 Wochen früher als normal zur Blüte kam.

Bei dieser Unabhängigkeit der Wirkung von der allgemeinen chemischen Konstitution braucht es nicht wunderzunehmen, wenn auch dem weiblichen Sexualhormon, dem Progynon, nach *Schoeller* und *Goebel*³²⁾ eine solche Wirkung zukommt, zumal dieser Stoff auch in der Pflanze gebildet wird.

Jedoch handelt es sich hier wohl nicht wie beim Tierkörper um eine spezifische Förderung der Sexualorgane, sondern im Vordergrund steht die Steigerung des vegetativen Wachstums, die sekundär eine Beschleunigung und Verstärkung der Entwicklung der Sexualorgane zur Folge hat. Dies hat am klarsten mein Schüler *Orth* an Tausenden von

Kulturen der geschlechtlichen Generation des Schachtelhalms gezeigt, bei dem nach alter Erfahrung der Prozentsatz der weiblichen Individuen lediglich durch gute Ernährung erhöht wird; aus genetischen Gründen ist jedoch das Verhältnis zwischen männlich und weiblich günstigstenfalls gleich 1:1. Als wir nun die geschlechtliche Generation bei mäßiger Ernährung zur Entwicklung brachten, erhielten wir das Verhältnis von 30 weiblich zu 70 männlich, jedoch bei Progynonzusatz glatt das Verhältnis 1:1. Es ist also eine an sich nicht optimale Ernährung durch Progynonzugabe auf dem Wege einer allgemeinen Aktivitätssteigerung kompensiert worden. Beim Hanf, der getrenntgeschlechtlich und im Geschlechtscharakter labil ist, gelang es uns nicht, das normale Verhältnis der Geschlechter zu verschieben; wohl aber erhielten wir auch hier Förderung der vegetativen Entwicklung. Ebenfalls im Gefäßversuch mit natürlichem Boden erhielten *Scharer* und *Schropp*³³⁾ ganz wesentliche Ertragssteigerungen, so z. B. bei Ackerbohnen in Form eines Körnermehrertrags von 39% nach Progynonzusatz. Entgegengesetzte Angaben haben verschiedene Gründe. Zum Beispiel erklären sich negative Versuche von *Störmer* aus der Verwendung von Nitrophoska als Mineraldünger; denn *Schoeller* und *Goebel* fanden im Verfolg dieser Angabe, daß der nicht völlig wasserlösliche Nitrophoskadünger, mit Lösung von Progynon geschüttelt, dieses adsorbiert. Aber m. E. finden negative Befunde auch durch grundsätzliche Erscheinungen ihre Erklärung. Wir wissen, daß die große Mehrzahl der für den Tierkörper lebenswichtigen Vitamine pflanzlichen Ursprungs ist. Es ist nun unwahrscheinlich, daß diese Stoffe lediglich der Funktion des Tierkörpers dienen, sondern es ist sicher anzunehmen, daß jegliches Plasma Vitamine und natürlich auch Hormone braucht. — Eine Tragikomödie ist es, daß wir noch keine Ahnung von der Funktion der den Chlorophyllfarbstoff ständig begleitenden Carotinoide in der Pflanze besitzen, wohl aber die elementare Funktion eines Carotinspaltproduktes, des Vitamins A, im Tier- und Menschenkörper sehr lebhaft zu würdigen wissen. — Nun wird die Hormon- und Vitamingarnitur der Pflanze i. allg. harmonisch abgestimmt sein, jedoch so, daß gerade bei den auf abnorme Sonderleistung seit prähistorischen Zeiten hochgezüchteten Kulturpflanzen Störungen auftreten können. So wäre es verständlich, daß die eine Kulturpflanze auf Progynon reagiert, die andere nicht, wie z. B. der Hafer. Auf alle Fälle haben wir Grund, die Reaktion unserer Kulturpflanzen auf zugesetzte Hormone und Vitamine eingehend zu prüfen.

Einen Beweis für meine Annahmeerblicke ich in folgendem Fall: Der im Laboratorium viel kultivierte Schimmelpilz *Phycomyces* wächst trefflich auf künstlicher Nährlösung mit Malzextraktzusatz, zeigt aber nur kümmerliche Entwicklung in einer Nährlösung aus Maltose, Asparagin und den nötigen Mineralsalzen. Sowie aber dieser Nährlösung wenige tausendstel Milligramm des kristallisierten Vitamins B_1 zugesetzt werden, tritt nach *Schopfer*³⁴⁾ und *Burgeff*³⁵⁾ normales Wachstum ein. In diesem Fall ist also durch ein Spiel der Natur der Vitamin-Hormon-Garnitur dieses Pilzes das Vitamin B_1 verlorengegangen, das ihm natürlich in der freien Natur aus Tier- und Pflanzenresten zur Verfügung steht. Aus diesem Gesichtspunkt heraus werden wir auch ein Verständnis für den Parasitismus gewinnen: Es wurde kürzlich festgestellt, daß eine Art der pathogenen Pilzgattung *Fusarium*, die wie viele Krankheitserreger auf künstlichen Nährböden nicht gezogen werden kann, nach Zusatz eines anderen Hormons, das wir als Bios-Komplex bezeichnen, glatt zur Entwicklung kommt.

³¹⁾ A. E. Hitchcock, Contrib. Boyce-Thompson Inst. 7, 87, 447 [1935].

³²⁾ W. Schoeller u. H. Goebel, Biochem. Z. 240, 1 [1931], 251, 223 [1932], 272, 215 [1934].

³³⁾ K. Scharer u. W. Schropp, ebenda 281, 314 [1935].

³⁴⁾ W. H. Schopfer, Ber. dtsch. bot. Ges. 52, 308 [1934].

³⁵⁾ H. Burgeff, ebenda 52, 384 [1934].

Die Entdeckung dieses wichtigen Hormons geht auf *Pasteur* zurück; er erkannte, daß die Üppigkeit des Hefewachstums gesteigert wird, wenn die Impfmenge nicht zu klein gewählt wird. Damit war grundsätzlich ein Agens für Zellteilung festgestellt. Aber erst 1901 fand *Wildiers*, daß auch aus kleinen Hefeimpfmengen Kulturen erhalten werden, wenn ihnen in Form sterilisierten Hefextrakts ein kochfester organischer Stoff geboten wird, den er Bios nannte. Es ist leicht möglich, daß es sich hier um ein Agens handelt, das *Haberlandt* späterhin in der Kartoffelknolle nachwies und als Zellteilungshormon charakterisierte. Auf alle Fälle ist das Biosprinzip weit verbreitet und stellt nach *Kögl*³⁶⁾ einen Komplex dar. Der wirksamste Bestandteil, das Biotin, wurde von ihm aus Eidotter rein dargestellt und bewirkt in Mengen von etwa $\frac{1}{1000}$ mg zusammen mit Inosit eine beträchtliche Steigerung der Hefevermehrung. Es wird wohl nicht mehr lange dauern, bis auf diesem Wege eines der wesentlichsten Hormone, ein die Zellteilung primär auslösendes Agens, uns wenigstens so klar wie die Zellstreckungshormone vor Augen tritt.

Aber die Forschung ist noch kühner geworden und beginnt, sogar die artspezifische Formgebung als hormonal bedingt anzusprechen und dies in einer Weise, die Erbträger in den Chromosomen, die Gene, miteinfaßt. Im Mittelmeer leben zwei Algenarten der Gattung *Acetabularia* von 1 bzw. 5 cm Länge. Sie bestehen aus einer einzigen großen Zelle, deren Kern an der Basis liegt. Nun konnte *Hämmerling*³⁷⁾ den oberen zellkernfreien Teil der einen Art auf den zellkernhaltigen unteren Teil der anderen Art aufpfropfen; darauf entwickelte sich der obere Teil so weiter, wie es dem kernhaltigen unteren entsprach, d. h. der obere Teil nahm den systematischen Artcharakter des unteren in jeder Hinsicht an. Dies läßt darauf schließen, daß der Kern des unteren Teils mittels hormonaler Formgebung den oberen Teil umprägt, vermutlich so, daß entsprechende Hormone aus dem Kern des unteren Teils in den Pfortteil wandern. Damit ist nicht nur die hormonale Bedingtheit artspezifischer Merkmale erwiesen, sondern zugleich eine Beziehung zu den für die Artmerkmale verantwortlichen Erbträgern, den Genen, hergestellt, die in den Chromosomen des Zellkerns lokalisiert sind. Eine derartige Beziehung finden wir letzten Endes auch in einem instruktiven Beispiel aus der Tierwelt. Beim Rehbock hat Kastration die Ausbildung eines abnormen Geweihes (Perückengeweih) zur Folge, da die männlichen Sexualhormone für die Geweihbildung maßgebend sind; die Reihkuh ist geweihlos. Ein anderer Cervide, das Rentier, trägt dagegen in beiden Geschlechtern ein Geweih, und zwar bildet sich dieses beim Männchen und beim Weibchen auch nach völliger Kastration aus. Das hormonal bedingte Geschlechtsmerkmal der Rehe und auch der anderen Cerviden ist also beim Rentier Artmerkmal, und der Schluß liegt nahe, daß bei diesem die entsprechende Hormonbildung vom Erbträger, vom Gen, ausgeht, während sie bei den übrigen Cerviden nicht im Vererbungsapparat verankert ist.

Der zunächst rein abstrakte Begriff des Gens konkretisiert sich immer mehr in dem Sinn, daß wir die Gene als reale Teilstücke der Chromosomen anzusehen haben und daß sie Eiweißmakromoleküle darstellen. Von hier aus können wir eine Brücke schlagen zu einem der dunkelsten Gebiete der Biologie, zu jenen kleinsten „Gebilden“, die zum Teil die feinsten Filter passieren, zu den Bakteriophagen und zum Virusprinzip. Diese beiden dürfen wir ihrem Wesen nach als identisch betrachten. Die Bakteriophagen, jene merkwürdigen Vernichter der Bakterien, sind von einer Kleinheit, die an die Größenordnung

der Eiweißmakromoleküle heranreicht; dasselbe ist von den sog. ultrafiltrierbaren Viren anzunehmen, die in Mensch, Tier und Pflanze verheerende, ansteckende Krankheiten hervorrufen. Jahrzehnte altes Herbarmaterial viruskranker Pflanzen kann noch Infektion bewirken. Hierher gehört die Mosaikviruskrankheit der Kartoffel und des Tabaks, die sich in mosaikartig angeordneten Chlorophylldefekten der Blattspreite äußert. Es scheint, daß gerade dieser Fall uns eine ungeahnte Perspektive eröffnet und in das Grenzgebiet zwischen lebender und toter Materie führt. Denn *Stanley*³⁸⁾ hat vor kurzem wohl endgültig den schon oft geäußerten Verdacht bestätigt, daß das Virus kein Lebewesen ist und sich trotzdem vermehrt. Er erhielt aus mosaikkranken Tabakpflanzen Eiweißkristalle in der Menge von 10 g, von denen ein Kubikzentimeter einer wäßrigen Lösung von 1:1 Milliarde genügt, um am Tabak Viruskrankheit hervorzurufen und dies auch noch nach 10maligem Umkristallisieren. Mit diesem Körper konnte er ein tierisches Immunserum herstellen, das sowohl mit seinem Eiweißpräparat als auch mit dem Saft viruskranker Tabakpflanzen die Präzipitinreaktion ergab, nicht dagegen mit dem Saft gesunder Tabakpflanzen. Damit ist ein kristallisierbarer Körper mit dem Anschein der Vermehrungsfähigkeit festgestellt. *Stanley* betrachtet sein Virus als ein autokatalytisches Protein, das zur Vermehrung der lebenden Zelle bedarf. Wenn man sich überlegt, daß ebenso aussehende Chlorophylldefekte nicht infektiöser Art vorkommen, die sich in Abhängigkeit von den Erbträgern weiter vererben, so ist es nicht zu gewagt, eine Beziehung zwischen dem kristallisierbaren Virusprinzip und den Genen anzunehmen.

Damit werden uns Aussichten erschlossen, die weit über das Gebiet der Pflanzenphysiologie hinausreichen. Hier interessiert uns zunächst die Tatsache, daß wir auf diesem Wege ein Verständnis für das Wesen der ungemein wichtigen pflanzlichen Viruskrankheiten erhalten und vermutlich auch einen Einblick in die Immunitätsreaktionen in Tier und Pflanze gewinnen werden. Denn auch bei der Pflanze sind schon in mehreren Fällen spezifische Immunisierungen gegen Pilz- und Bakterienkrankheiten gelungen.

So leben wir in einer Zeit, in der die Chemie unaufhaltsam bis an die äußersten Grenzen der biologischen Forschung drängt. Und ich hoffe, Ihnen gezeigt zu haben, daß die Pflanzenphysiologie gehend und nehmend auf das innigste mit der Agrikulturchemie verflochten ist. Wir haben eine vorgezeichnete Bahn, die uns auch auf ihren scheinbar rein theoretischen Wegstücken immer wieder an Probleme heranbringt, die der Volkswirtschaft zugute kommen. „Mit der Kenntnis der Grundsätze und Gesetze der Wissenschaft sind die Anwendungen leicht, sie ergeben sich von selbst“, sagt *Liebig*. Erzwingen läßt sich in der Tat nichts; wohl aber hat die Botanik und vor allem die deutsche Botanik die Pflicht, ihre Arbeit im Verein mit der Chemie Problemen zu widmen, von deren Lösung eine Förderung wirtschaftlicher Belange zu erwarten steht. Daß dieser Gesichtspunkt früher mehr als billig außer acht gelassen wurde, ist Tatsache. Aber es mangelt nicht an klaren Anzeichen, daß der Geist *Adolf Hitlers* auch in diesem Gebiet aufrüttelnd gewirkt hat. So wollen wir, die wir so wenig wie ein *Justus v. Liebig* den Pflug mit unseren Händen führen, das Unsere tun, um der Raumnöte unseres Volkes durch geeignete Nutzung der heimischen Scholle Widerpart zu bieten. „Wer bewirkt, daß dort, wo bisher ein Halm wuchs, nunmehr deren zwei wachsen, der leistet mehr für sein Volk als ein Feldherr, der eine große Schlacht gewinnt“³⁹⁾. A. 101.

³⁸⁾ W. M. Stanley, Science, New York 81, 644 [1935].

³⁹⁾ Dieser sog. „2-Halm-Ausspruch“, der häufig *Friedrich dem Großen* zugeschrieben wird, stammt von *Jonathan Swift* (*Gullivers Reisen* 1727), wie *Speter*, Superphosphate 7, 99 [1934], nachgewiesen hat.

³⁶⁾ F. Kögl, Ber. dtsch. chem. Ges. 68 A, 16 [1935].

³⁷⁾ J. Hämmerling, Arch. Entwicklungsmech. 132, 424 [1934]; Naturwiss. 22, 829 [1934].