

# Greifswalder Universitätsreden

Neue Folge — Nr. 8

## Die Stoffproduktion der Pflanzen und die Möglichkeiten ihrer Steigerung

Rede bei der Übernahme des Rektorats  
am 12. Februar 1957

*gehalten von*

Prof. Dr. phil. habil. Heinrich Borriß

*Professor mit Lehrstuhl für Botanik  
Direktor des Botanischen Instituts und des Botanischen Gartens  
der Ernst Moritz Arndt-Universität Greifswald*



Mit 7 Abbildungen und einem Anhang

B  
9304  
a

## Die Stoffproduktion der Pflanzen und die Möglichkeiten ihrer Steigerung

Hochansehnliche Festversammlung!

Vor etwa 120 Jahren lenkte zum ersten Mal ein Botaniker die Geschicke der Greifswalder *alma mater*. Über seine Tätigkeit als Rektor ist uns kaum etwas überliefert, aber ein 1836 entstandenes Gemälde des akademischen Malers TITEL — es befindet sich wie seine übrigen Professoren-Porträts auch heute noch im Konzilsaal — zeigt Christian Friedrich HORNSCHUCH<sup>1)</sup> im Rektor-Pallium. Fast 70 Jahre vergingen, ehe dem nächsten Vertreter der „*scientia amabilis*“ der goldgestickte Purpurmantel umgelegt wurde, den schon HORNSCHUCH getragen hatte. Geheimrat Franz SCHÜTT<sup>2)</sup>, Ordinarius für Botanik und Direktor des Botanischen Gartens und Museums bekleidete 1904 dieses hohe Amt. Das Universitätsarchiv vermeldet nichts über eine feierliche Investitur Professor HORNSCHUCHs. Wir wissen auch nicht, welches Thema HORNSCHUCH für die traditionelle *oratio* wählte. Die Antrittsrede Geheimrat SCHÜTTs liegt jedoch gedruckt vor, ihr Titel lautet: „Kosmologie als Ziel der Meeresforschung.“<sup>3)</sup> In ihr hat der bekannte Algologe versucht, die allgemeine Bedeutung seines Forschungsgebietes zu umreißen und zu zeigen, daß die von ihm betriebene Planktonkunde als Teildisziplin der Meeresforschung — richtig aufgefaßt — bis in kosmologische Bereiche vordringt und daß die Gesetze des Kosmos nur durch beharrliches Zusammentragen von Bausteinen aus den verschiedensten Einzelwissenschaften erkannt werden können.

Auch heute sollen keine Spezialprobleme eines bestimmten Forschungsgebietes behandelt, keine Ergebnisse experimenteller Untersuchungen aus dem meiner Leitung anvertrauten Institut vorge tragen oder doch in den Vordergrund gestellt werden. Ein solcher Bericht würde der Zusammensetzung dieser Versammlung nicht entsprechen und könnte im besten Fall ein beschränktes Interesse erwecken, zumal die Möglichkeit fehlt, das Gesagte durch optische Hilfsmittel zu veranschaulichen.

Einer guten Tradition und dem Beispiel meiner Fachkollegen im Amt folgend, möchte ich vielmehr versuchen, Ihre Aufmerksamkeit auf ein Problem von grundsätzlicher Wichtigkeit zu lenken, indem ich eine Frage behandle, deren Bedeutung über den Bereich der Botanik und der Biologie weit hinaus reicht, bei der es um nichts Geringeres geht als um die Existenzmöglichkeiten für die kommenden Menschheitsgeschlechter. Ich meine die wissenschaftliche Untersuchung der Stoffproduktion der grünen, autotrophen Pflanze, von der auch heute an der Schwelle des Atomzeitalters die Existenz des Menschen trotz aller Fortschritte von Wissenschaft und Technik noch ebenso abhängig ist wie sie es zur Steinzeit war. Wir können an dieser Stelle wenig mehr tun als einige Seiten dieses Problems, die in enger Beziehung zu meinem Fach, der Pflanzenphysiologie stehen, zu beleuchten.

Die erstaunlichen synthetischen Fähigkeiten der Pflanzenzelle sind für jeden, der versucht hat, in die Geheimnisse dieser winzigen und doch so unerhört leistungsfähigen biochemischen Laboratorien einzudringen, eine erregende Quelle der Verwunderung und des Staunens. Trotz vieler wichtiger Ergebnisse, die Biochemie und Physiologie durch Anwendung modernster Methoden, durch die Benutzung der „markierten Atome“ radioaktiver Isotope, die Einführung der Chromatographie und Elektrophorese — um nur die wichtigsten zu nennen — in den letzten 15 Jahren gewonnen haben, sind wir von einem befriedigenden Verständnis dieser Stoffwechselprozesse noch weit entfernt. Die optimistische Auffassung, den Schleier, der uns das Gesamtphänomen „Leben“ verhüllt, zu einem wesentlichen Teil gelüftet zu haben, wird sicherlich bei den heutigen Physiologen und Biochemikern weniger verbreitet sein als bei den Zeitgenossen HAECKELs, als man, durch Sachkenntnis weniger getrübt, die Lösung der Lebensrätsel in greifbare Nähe gerückt sah. Dem modernen Forscher ist die außerordentliche Kompliziertheit scheinbar einfacher biologischer Systeme sehr eindringlich vor Augen geführt worden.

Elektronenmikroskop und feinste chemische Methodik, die eine Erfassung und Identifizierung von Stoffen in der Größenordnung von Bruchteilen eines Millionstel Gramm gestattet, haben uns diese Mannigfaltigkeit im Strukturellen und Stofflichen in Bereichen gezeigt, die noch weit unterhalb der Größenordnung von Pflanzenzellen liegen<sup>4</sup>). Die erstaunlichen Fortschritte der Enzymchemie haben es ermöglicht, viele Stoffwechselvorgänge und Reaktionsabläufe bis ins Einzelne aufzuklären. Das große Geheimnis des lebenden Protoplasmas, die K o o r d i n i e r u n g dieser zahllosen Prozeßfolgen zu einer harmonischen Einheit, die schließlich zur Synthese spezifischer Eiweiße und anderer Makromoleküle als den Grundlagen von Wachstum und Entwicklung nach den von Erbgut und Umwelt festgelegten Normen führt, dieses Zustandekommen und Erhaltenbleiben einer Ganzheit in der Dynamik der Lebensvorgänge müssen wir auch heute noch als das große Rätsel bezeichnen, das es zu lösen gilt. In ihm kommt das Wesen des lebenden Organismus zum Ausdruck, auf ihm beruht die Eigenständigkeit des Biologischen, die es über den anorganischen Bereich als neue Entwicklungsstufe der Materie erhebt.

Hier soll uns jedoch nicht die Frage beschäftigen, worauf die ange-deutete, für das Lebensgeschehen grundlegende Harmonie der Reaktionsabläufe in der Zelle beruht, sondern vielmehr das A u s m a ß der S y n t h e s e l e i s t u n g e n , zu denen die Pflanzenzellen befähigt sind. Wir wollen prüfen, welche Möglichkeiten bestehen, diese Leistungen auf der Grundlage von pflanzenphysiologisch-biochemischen Forschungen zu steigern.

Die Produktion organischer Substanz ist primär eine Angelegenheit der grünen, autotrophen Pflanze. Tier und Mensch stehen heute ebenso wie in vergangenen geologischen Epochen — stoffwechselphysiologisch betrachtet — in einem ebenso strengen Abhängigkeitsverhältnis zu dieser grünen Welt wie etwa ein obligater Parasit zu seinem Wirtsorganismus. Da die tierische ebenso wie die menschliche Zelle nur über weit begrenztere Synthesefähigkeiten verfügt, sind diese heterotrophen Wesen darauf angewiesen, sich — direkt oder indirekt — von totem oder lebendem Pflanzenmaterial zu ernähren. Jede primitive einzellige Grünalge ist in der Lage, aus einfachsten anorganischen Grundstoffen nicht nur Zucker, Fett und Eiweiß, sondern auch Vitamine und andere hochkomplizierte Verbindungen aufzubauen. Dem weit verwickelter konstruierten Organismus der Wirbeltiere mit Einschluß des Menschen fehlen diese Fähigkeiten jedoch gänzlich oder sie sind nur in einem sehr be-

schränkten Umfang erhalten geblieben, so daß er gezwungen ist, ständig organische Nahrung höchst komplizierter Zusammensetzung zu sich zu nehmen. Solange diese Nahrungsmittel reichlich oder wenigstens ausreichend produziert werden und den Konsumenten zur Verfügung stehen, bringt ein solches Abhängigkeitsverhältnis des „*homo sapiens*“ von den Pflanzen keine besonderen Nachteile mit sich. Leider haben sich bereits im Verlauf der vergangenen Jahrhunderte vielfach und vielerorts Situationen ergeben, in denen sich die Proportionen zwischen Bedarf und Erzeugung sehr zu Ungunsten der Stoffproduktion verschoben haben. Hungersnöte infolge von Mißwuchs oder Krieg waren in früheren Epochen gang und gäbe. Dabei handelte es sich, im Weltmaßstab betrachtet, aber immer um örtlich begrenzte Katastrophen.

In neuester Zeit beginnt jedoch das Problem einer ausreichenden Ernährung der Menschheit zu einem prinzipiellen zu werden. Bekanntlich wurde diese Frage bereits vor etwa 160 Jahren von dem englischen Nationalökonom Robert MALTHUS<sup>5)</sup> diskutiert. Die von ihm in diesem Zusammenhang vertretene Auffassung ist unter der Bezeichnung *Malthusianismus* berühmt und berüchtigt geworden. Nach MALTHUS soll die Zahl der Menschen schneller zunehmen als die Produktion von Nahrungsmitteln und anderen Bedarfsgütern, so daß sich bald ein wachsendes Mißverhältnis zwischen Bevölkerungszahl und materieller Basis zur Befriedigung ihrer elementaren Bedürfnisse entwickeln muß, das regelmäßig eintretende Katastrophen zur Folge hat, wenn es nicht gelingt, die Bevölkerungszunahme durch entsprechende Maßnahmen, etwa durch Geburtenregulierung, abzustoppen. Es ist von verschiedenen Seiten nachgewiesen worden, daß die Voraussetzungen nicht zutreffen, von denen MALTHUS bei der Begründung seiner Lehre ausging. Der bedeutende deutsche Agrarwissenschaftler Theodor ROEMER hat 1949 anläßlich der Verleihung des Justus von LIEBIG-Preises ausgeführt, daß zwischen 1880 und 1940 in Mitteleuropa die pflanzliche Produktion als die entscheidende Basis der menschlichen Ernährung weit stärker angewachsen ist als die Bevölkerungszahl<sup>6)</sup>. Auch die andere Komponente des MALTHUSschen Rechenexempels ist offenbar fehlerhaft. Die Zunahme der Bevölkerung erfolgt nur lokal und unter ganz bestimmten Bedingungen, die vom „Zivilisationsniveau“ abhängig sind, in geometrischer Progression. Es läßt sich für die verschiedensten Völker und Kulturkreise zeigen, daß sich schließlich Gleichgewichte einstellen, in denen die Bevölkerungszahl stationär wird oder sogar absinkt. Daß Kriege — auch bei

Millionenverlusten, wie sie die beiden Weltkriege zur Folge hatten — für die Bevölkerungsentwicklung im globalen Maßstab belanglos sind, zeigt die Statistik eindeutig. Da man hoffen darf, daß die heutige Menschheit das Risiko eines Atomkrieges zu gut kennt, als daß sie es einigen wahnwitzigen Politikern und Generälen gestatten würde, eine solche Ungeheuerlichkeit in Gang zu setzen, bleibt das für MALTHUS wesentliche Regulativ des Krieges ohne Einfluß auf die Bevölkerungsentwicklung der Erde.

Die zunächst langsame, seit etwa 100 Jahren aber immer raschere Zunahme der Menschenzahl ist jedoch eine Tatsache, die auch bei einer Ablehnung malthusianistischer Konsequenzen von so fundamentaler Bedeutung für die gegenwärtige Epoche der Menschheitsgeschichte ist wie kaum eine andere.

Man schätzt, daß die Gesamtbevölkerung der Erde vor 300 Jahren, also etwa zur Zeit des westfälischen Friedens, etwas mehr als 500 Millionen betrug. In den darauf folgenden 100 Jahren stieg sie um weitere 50 Prozent auf 730 Millionen. Zwischen 1750 und 1850 blieb die Geschwindigkeit des Zuwachses mit 60 Prozent etwa die gleiche, so daß 1850 die Milliardengrenze bereits um 150 Millionen überschritten war. Während verständlicherweise die älteren Angaben infolge des Fehlens genauer Statistiken in den meisten außer-europäischen Ländern nur als rohe Schätzungen anzusehen sind, befinden wir uns mit unseren Angaben für das letzte Jahrhundert auf einigermaßen sicherem Boden. 1950 hatte die Erdbbevölkerung bereits die stattliche Zahl von 2400 Millionen Menschen erreicht und die Zunahme pro Jahrhundert war auf über 100 Prozent gestiegen<sup>7)</sup>. Wollten wir weiter extrapolieren, so kämen wir bald in wahrhaft astronomische Größenordnungen, aber derartige Berechnungen besitzen einen zu großen Unsicherheitsfaktor, als daß sie uns von wirklichem Nutzen sein könnten, da die Bevölkerungsbewegung offenbar als höchst labiler und empfindlicher Indikator auf die verschiedenartigsten Einflüsse anspricht. Für die nächsten Jahrzehnte läßt sich jedoch wohl noch mit einiger Sicherheit voraussagen, daß die jährliche Zunahme weiterhin bei etwa 1 Prozent liegen wird, so daß eine Verdoppelung der Erdbbevölkerung in ungefähr 60 Jahren zu erwarten ist. Dies würde bedeuten, daß im Jahre 2000 etwa 4,5 Milliarden Menschen die Erde besiedeln, also bereits die vierfache Anzahl der Erdbewohner von 1850. Es kann kein Zweifel darüber herrschen, daß eine solche Zunahme der Erdbbevölkerung auch bei zuversichtlicher Haltung gegenüber den großen, noch nicht ausgeschöpften Reserven an Produktionskapazität zu ernststen Über-

legungen Veranlassung geben muß. Bedeutet dieses Wachstum doch, daß schon heute die Menschenzahl auf der Erde jährlich um 30 Millionen, d. h. um mehr als die Bevölkerung Polens, im Jahre 2000 aber um beinahe 45 Millionen, also um mehr als die heutige Bevölkerung Frankreichs, ansteigt.

Wenn man auch nachweisen konnte, daß zwischen 1880 und 1920 die jährlichen Ertragssteigerungen wichtiger landwirtschaftlicher Kulturpflanzen in Mitteleuropa bei 2 Prozent, von 1920 bis 1940 sogar bei 3 Prozent gelegen haben<sup>8)</sup>, während die Bevölkerungszunahme in diesen Gebieten weniger als 1 Prozent betrug, so ist doch die Gesamtsituation hinsichtlich der Versorgung der gesamten Menschheit schon heute alles andere als befriedigend. Es wird angegeben, daß mehr als die Hälfte aller Menschen physiologischen Hunger leidet, d. h. daß ihnen die erforderliche Durchschnittskalorienzahl nicht zur Verfügung steht<sup>9)</sup>. Aus gelegentlichen Meldungen der Tagespresse, die von verbranntem Getreide, ins Meer geschüttetem Kaffee und einer Beschränkung der Weizenanbauflächen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika berichtet, wird deutlich, daß dieser Hunger von mehr als einer Milliarde Menschen nicht als Bestätigung der Malthusschen Lehre aufzufassen ist. Die Befriedigung der Bedürfnisse ist gegenwärtig noch kein Problem der Produktion, sondern der Politik, das durch eine vernünftige, friedliche Zusammenarbeit der reichen Staaten mit denen gelöst werden könnte, die weniger gut mit Ackerland und Bodenschätzen versorgt sind.

Wieviel hier bereits durch die Aufhebung des kolonialen oder halb-kolonialen Abhängigkeitsverhältnisses und durch den Übergang zu einem sozialistischen Wirtschaftssystem gebessert werden kann, zeigen wohl am deutlichsten die Beispiele Indiens und Volkschinas. Seit der Erlangung der Selbständigkeit hat sich in Indien der Lebensstandard dieses 400-Millionen-Volkes merklich gehoben, wenn wohl auch gerade in Indien mit seinem jährlichen Geburtenüberschuß von 5 Millionen die Lage noch bei weitem nicht als befriedigend bezeichnet werden kann<sup>10)</sup>. Alle Reisenden, die Volkschina in den letzten Jahren besucht haben, berichten übereinstimmend von einer erstaunlichen Verbesserung der Lebensverhältnisse in diesem Riesenreich, das beinahe ein Viertel der Erdbevölkerung umfaßt. Die Folgen feudalistischer Mißwirtschaft und die Spuren langanhaltender Bürgerkriege, unter denen Land und Volk gelitten hatten, verschwinden zusehends.

Bei aller Bedeutung, welche der politisch-gesellschaftlichen Struktur für die Versorgung der Völker zukommt, kann es nicht genügen, auf

der Erde Kriege, wirtschaftlich-soziale Mißstände und koloniale Unterdrückung zu beseitigen, um das Problem der ausreichenden Ernährung einer weiter anwachsenden Bevölkerung zu lösen.

Um dies zu beweisen, brauchen wir nur die Mittel zu untersuchen, mit denen in der Vergangenheit die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion erreicht wurde. Es war neben der Vergrößerung der landwirtschaftlich genutzten Fläche der Fortschritt unserer wissenschaftlichen Erkenntnisse über den pflanzlichen Organismus, seine Ansprüche und seine Leistungen, die wir der Botanik in ihrem weitesten Umfang verdanken. Natürlich haben die einzelnen Zweige der Botanik in ganz verschiedenem Maße zu der Ertragssteigerung beigetragen, die für das letzte Jahrhundert in Europa mit etwa 100 Prozent beziffert wird, seit 1900 aber ein noch schnelleres Tempo eingeschlagen hat.

So befriedigen z. B. Untersuchungen über gewisse pflanzliche Bewegungserscheinungen oder die stammesgeschichtliche Entwicklung bestimmter Pflanzengruppen vor allem den uns Menschen eigenen Drang nach Erkenntnis und bleiben damit im theoretischen Bereich. Forschungen über die Ernährung der Pflanzen, über das Zusammenleben der Schmetterlingsblütler mit bestimmten Bakterien oder über den Einfluß gewisser Erbfaktoren auf den Ertrag bilden dagegen die unmittelbare Basis für wichtige Zweige der Agrarwissenschaft und sind grundlegend an der Entwicklung der rationellen Landwirtschaft beteiligt.

An dieser Stelle darf die große Bedeutung der zunehmenden Mechanisierung der Landwirtschaft nicht unerwähnt bleiben. Durch eine Mechanisierung des Acker- und Pflanzenbaus wird zwar keine eigentliche Ertragssteigerung erreicht, da eine Durchführung der entsprechenden Arbeiten mit Hilfe von Mensch und Tier in den meisten Fällen das gleiche Resultat erbringen würde. Es zeigt sich jedoch, daß — mindestens in den hochindustrialisierten Ländern — die Zunahme des Bevölkerungspotentials ausschließlich der Industrie zugute kommt, ja daß infolge der Abwanderung in die Städte auf dem Lande Arbeitskräftemangel herrscht, der nur durch einen immer wachsenden Einsatz von Maschinen auszugleichen ist.

Die eindrucksvolle Zunahme der Ernteerträge beruht also nicht nur auf der Vergrößerung der Anbaufläche, sondern besonders auf der Steigerung der Flächen-Erträge, die vor allem der konsequenten Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse zu verdanken ist. Welche Forschungsergebnisse sind aber für diese Steigerung der Hektarerträge entscheidend gewesen?

An erster Stelle müssen auch heute noch die schon klassischen Erkenntnisse um das Wesen der pflanzlichen Ernährung genannt werden. Die organische Substanz unserer Kulturpflanzen besteht zwar etwa zur Hälfte aus Kohlenstoff, der dem Kohlendioxyd der Atmosphäre entstammt, die übrigen organogenen Elemente entnimmt die Pflanze jedoch — mit Ausnahme des Sauerstoffs — ebenso wie mehrere lebenswichtige Metalle in Form entsprechender Verbindungen dem Boden<sup>11)</sup>. Die für die Höhe des Ernteertrages höchst bedeutungsvolle Kohlenstoffversorgung der Pflanze läßt sich nur unter Schwierigkeiten und bisher fast nur im Labormaßstab steuern<sup>12)</sup>. Soweit die Ernährung aus dem Boden erfolgt, ist sie der Lenkung durch den Menschen in weit höherem Maße und viel bequemer zugänglich. Justus von LIEBIG hat die rationelle Landwirtschaft ja gerade durch seine Lehre von der Mineraldüngung begründet, indem er darauf hinwies, daß dem Boden die Nährstoffe wieder in vollem Umfange zugeführt werden müssen, die ihm durch die alljährlichen Ernten entzogen werden<sup>13)</sup>. Man hat Grund zu der Annahme, daß etwa die Hälfte der gesamten Ertragssteigerung, die seitdem in Mitteleuropa erreicht wurde, allein der Anwendung dieser Mineraldüngung zu verdanken ist.

Selbst heute findet man indessen nicht nur bei Anthroposophen STEINERscher Prägung, die eine „biologisch-dynamische“ Düngerlehre auf spekulativer Grundlage vertreten, sondern selbst bei ernstzunehmenden Menschen eine Abneigung gegen die Mineraldüngung bzw. die auf so gedüngten Feldern erwachsenen Produkte. Dabei mag schon ein rein psychologischer Faktor mitsprechen. In recht unglücklicher Weise wurden die Mineraldünger lange als „Kunst-Dünger“ den „natürlichen“ Düngerarten, d. h. den organischen Überresten des tierischen Ernährungsprozesses gegenübergestellt, trotzdem Generationen von Pflanzenphysiologen unwiderleglich bewiesen haben, daß die natürliche Nahrung der Pflanzen gerade aus den Salzen besteht, die ihren Wurzeln in reiner Form mit den mineralischen Handelsdüngern zugeführt werden und daß die Bestandteile des Stalldüngers erst nach ihrer Mineralisierung durch das Heer der Bodenmikroben der Pflanze zu Nutze kommen<sup>14)</sup>. Die Reste der Humustheorie, die von Naturphilosophen zu Beginn des 19. Jahrhunderts entgegen den damals bereits vorliegenden überzeugenden Befunden von INGENHOUSZ, SENEBIER und de SAUSURE<sup>15)</sup> begründet worden war und leider viele Jahre auch die Köpfe führender Praktiker verwirrte, sollten heute als endgültig überwundene Irrlehren keinen Schaden mehr stiften dürfen. Sie

nützen allenfalls sogenannten „Reformhäusern“, die zu überhöhten Preisen unter wohlklingenden Schutzmarken mit Produkten handeln, welche von Pflanzen gewonnen wurden, die garantiert „natürlich“, d. h. „biologisch-dynamisch“ ernährt, oft aber unterernährt worden sind.

Wir können hier nur einige Ergebnisse wissenschaftlicher Forschungsarbeit herausgreifen, die von besonderer Bedeutung für die Steigerung der pflanzlichen Produktion geworden sind, und müssen vieles beiseite lassen, was nicht weniger interessant und erwähnenswert wäre. So wollen wir es uns versagen, auf die bedeutsame Weiterentwicklung näher einzugehen, welche die Lehre von der Mineralernährung im 20. Jahrhundert durch die Entdeckung der Spuren- oder Mikro-Elemente genommen hat. Nachdem man lange davon überzeugt gewesen war, daß die Pflanze außer Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff nur noch 4 Metalle und 3 Nichtmetalle in Form von salzartigen Verbindungen für Wachstum und Entwicklung benötigt, stellte sich heraus, daß eine ganze Anzahl weiterer Elemente, allerdings in geringster Menge, unbedingt lebensnotwendig ist. Eine ungenügende Versorgung mit diesen Stoffen, unter denen Bor, Kupfer, Cobalt, Zink, Mangan und Molybdän die wichtigsten sind, führt zu schweren Mangelkrankheiten und charakteristischen Ausfallserscheinungen. Wir wissen heute, daß die meisten dieser Metalle Bestandteile von Fermenten sind oder in Ionenform Fermente aktivieren. Da der Mechanismus des Stoffwechsels bei allen Lebewesen im Grundsätzlichen übereinstimmt, ist es nicht verwunderlich, daß auch Tiere entsprechende Ausfallserscheinungen zeigen, wenn sie mit Pflanzen gefüttert werden, die diese Spurenelemente in unzureichender Menge enthalten. Die Pflanzen selbst zeigen nicht allein Krankheitssymptome, sondern liefern auch nur dürftige Erträge, wenn ihnen ein Spurenelement fehlt. Durch Zufuhr dieser Stoffe in relativ geringen Mengen, die sogar durch die Blätter aufgenommen werden, können die Krankheiten geheilt und normale Ernten erzielt werden<sup>16)</sup>.

Unter allen Nährelementen hat neben dem Kohlenstoff ohne Zweifel der Stickstoff die größte Bedeutung. Der wichtigste Bestandteil des lebenden Protoplasmas, das Zelleiweiß, enthält ihn zu etwa 16 Prozent. In sehr vielen Fällen begrenzt der Gehalt des Bodens an verwertbaren Stickstoff-Verbindungen Wachstum und Ertragsbildung der Kulturpflanzen. In der modernen Landwirtschaft spielen daher Stickstoffdünger eine hervorragende Rolle. Es bedeutete einen gewaltigen Fortschritt, als es gelang, sich von den geringen natür-

lichen Vorkommen mineralischer Stickstoffverbindungen zu emanzipieren und industriell Stickstoff-Dünger herzustellen. Damit wurde das gewaltige Reservoir der Luft auf dem Umwege über ein Industrieprodukt der grünen Pflanze nutzbar gemacht, der bemerkenswerter Weise dieser Ozean von Stickstoff unzugänglich ist, während sie das nur in Spuren in der Luft vorhandene Kohlendioxyd auszunutzen versteht. Millionen von Tonnen Ammon- und Nitrat-Stickstoff werden auf diese Weise der Landwirtschaft in den hochentwickelten Industrieländern zur Verfügung gestellt, aber auch diese gewaltigen Massen, zu denen die heute noch weit bedeutenderen Mengen aus den wirtschaftseigenen organischen Düngemitteln kommen, reichen nicht aus, um den Stickstoff-Bedarf zu decken und Höchsterträge zu ermöglichen<sup>17)</sup>. Kurz nach dem zweiten Weltkrieg, als die europäische Landwirtschaft sich langsam von den Folgen der Katastrophe zu erholen begann, schrieb der schon einmal zitierte Theodor ROEMER: „Der Hunger Europas wird am wirksamsten und raschesten durch Bereitstellung von mindestens 30 kg Stickstoff je Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche bekämpft“<sup>18)</sup>. Auch heute noch sind die europäischen Böden in ihrer Gesamtheit bei weitem nicht befriedigend oder gar optimal mit Stickstoff versorgt.

Es war daher eine wissenschaftliche Großtat, als in den neunziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts HELLRIEGEL und WILFARTH in der Landwirtschaftlichen Versuchsstation zu Bernburg in ihrer durch seltene Klarheit und Gründlichkeit ausgezeichneten Arbeit den Schlußstrich unter die jahrzehntelangen Bemühungen zahlreicher Wissenschaftler zogen<sup>19)</sup>. Es gelang ihnen, einwandfrei nachzuweisen, daß die Hülsenfrüchtler oder Schmetterlingsblütler im Gegensatz zu anderen Gewächsen in der Lage sind, ohne Zufuhr mineralischen Stickstoffs auf Kosten des Luftstickstoffs zu wachsen und zu gedeihen. Die Leguminosen besitzen diese Fähigkeit jedoch nur dann, wenn gewisse Bodenbakterien ihre Wurzeln befallen und hier zur Entstehung von Gewebewucherungen führen, die als Wurzelknöllchen bereits lange bekannt waren (vergl. Abb. 1). Bald konnte der holländische Mikrobiologe BEIJERINCK diese Knöllchenbakterien isolieren und in Reinkultur züchten (vergl. Abb. 2). Die Fähigkeit zur Stickstoffbildung tritt jedoch erst bei dem eigenartigen symbiontischen Zusammenleben dieser so verschiedenen Partner in Erscheinung. Andere Bakterien, ja sogar gewisse niedere Algen sind dagegen auch im freilebenden Zustand befähigt, den Luftstickstoff in organische Bindung überzuführen (vgl. Abb. 3). Mit Hilfe der ihnen eigentümlichen Fermentsysteme vermögen sie

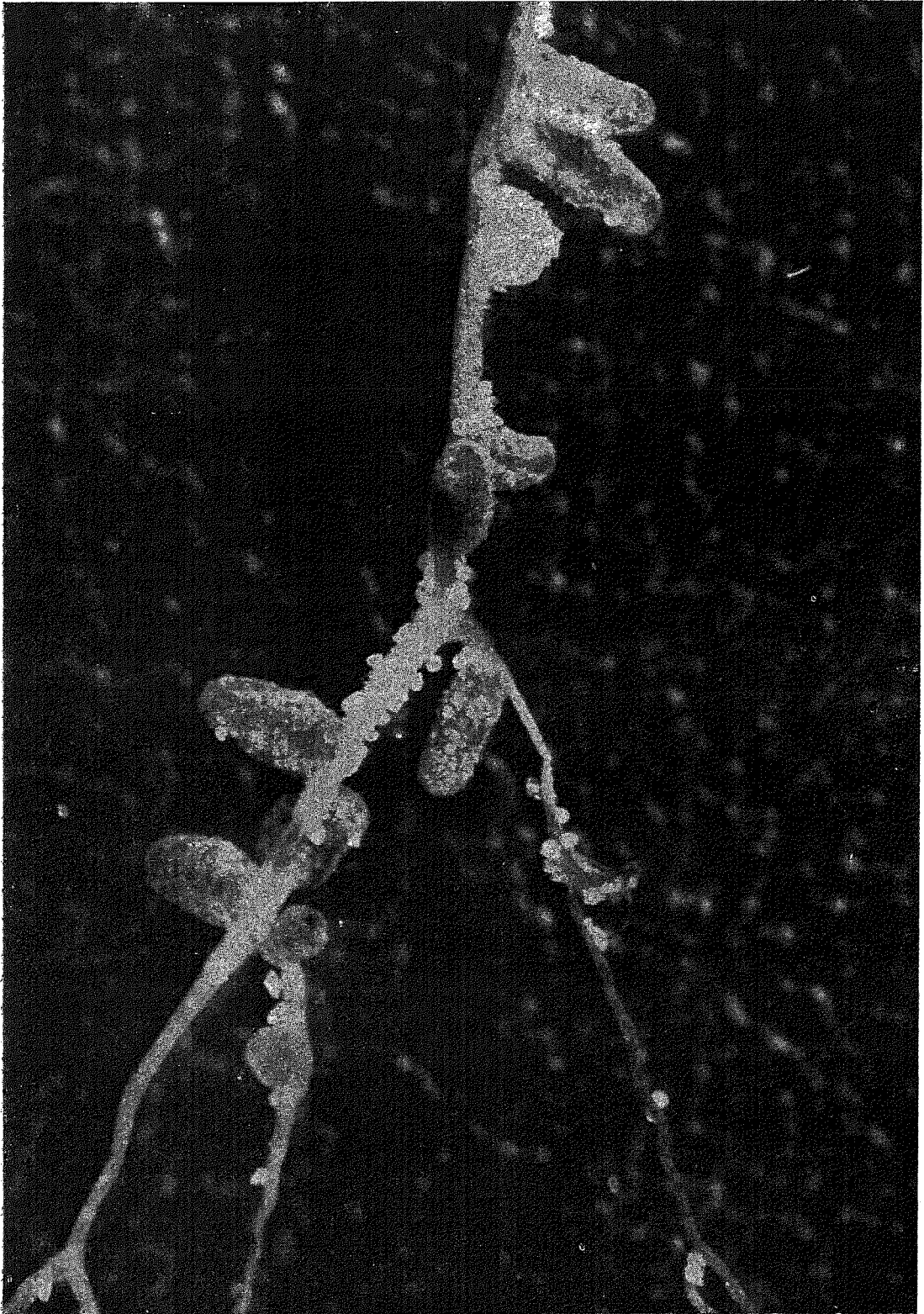


Abb. 1

Knöllchenbildung am Wurzelsystem einer in sterilem Quarzsand kultivierten Wicke (*Vicia sativa*) nach Beimpfung mit Knöllchenbakterien (*Rhizobium leguminosarum*). Schwach vergrößert.  
(phot. Kersten)

unter viel geringerem Energieaufwand bei normalen Temperatur- und Druckverhältnissen bereits seit Jahrmillionen die Reaktionen zu vollziehen, die unsere Chemiker und Technologen erst seit wenigen Jahrzehnten beherrschen. Man kann ohne Übertreibung sagen, daß die Stickstoff-Bindung durch die freilebenden und vor allem durch die symbiontischen Mikroorganismen die gleiche fundamentale Bedeutung für die Entwicklung des Lebens auf der Erde besitzt wie die Reduktion der Kohlensäure und der Aufbau organischer

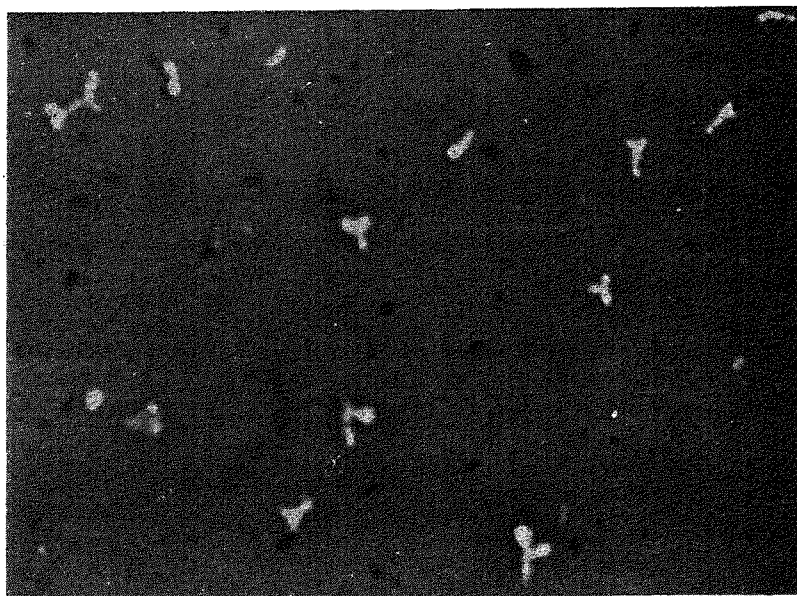


Abb. 2

Bakteroidformen von *Rhizobium leguminosarum* aus den Wurzelknöllchen der Erbse. (Negativ-Färbung, etwa 1200fache Vergrößerung.)

Kohlenstoffverbindungen durch die grüne Pflanze im Zuge der Photosynthese.

Die biologische Stickstoff-Bindung, vor allem die symbiontische Fixierung des Stickstoffs durch die Leguminosen, ist auch für die Steigerung der Ernteerträge außerordentlich wichtig. Vergleicht man die Stickstoffmengen, die den Ackerflächen jährlich in Form von Handelsdüngern zugeführt werden, mit denen, die sie durch diese mikrobiellen Prozesse erhalten, so stellt man mit Erstaunen fest, daß die winzigen Bakterien infolge ihres Massenvorkommens auch heute noch weit leistungsfähiger sind als alle unsere Industrie-

giganten vom Typ der Leuna-Werke. Es ist demnach durch verstärkten Anbau von Leguminosen möglich, den Stickstoff-Bedarf anderer Kulturen weitgehend zu decken und die zusätzlich benötigten Mengen an mineralischem Stickstoff erheblich zu senken<sup>20</sup>). Die Stickstoff-Bindung durch die freilebenden Mikroorganismen des Bodens ist leider bei weitem nicht ergiebig genug, um den Bedarf der Kulturpflanzen zu befriedigen. Man muß daher den Versuchen, durch sogenannte „Bakterisation“ des Saatgutes mit solchen stick-

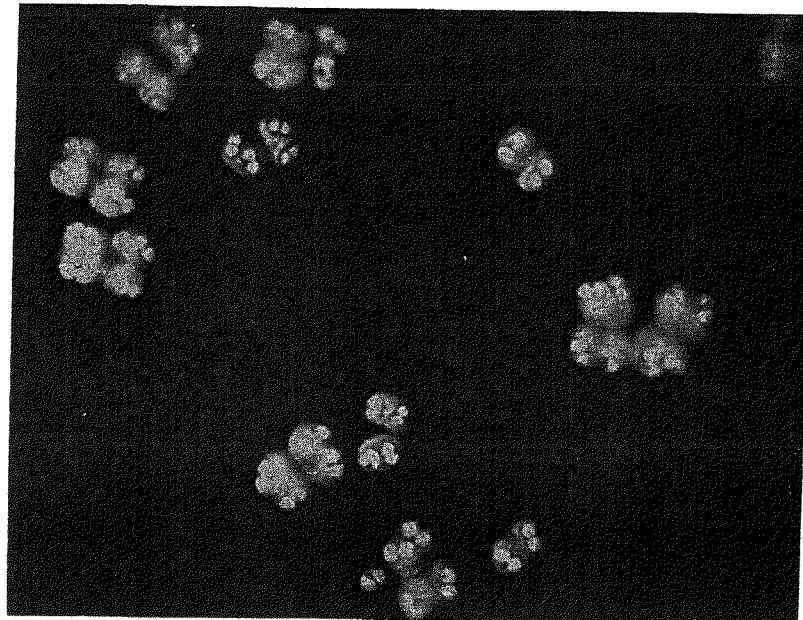


Abb. 3

Im Boden lebende stickstoffbindende Bakterien (*Azotobacter chroococcum*). Charakteristische Semelformen mit dicken Schleimhüllen. (Negativ-Färbung, etwa 800fache Vergrößerung.)

stoffbindenden Bakterien oder Anwendung von „Bakteriendüngern“ die Leistungsfähigkeit des Bodens zu steigern, mit einiger Skepsis gegenüber stehen, wenn auch heute wieder wie schon vor einiger Zeit große Hoffnungen auf dieses Verfahren gesetzt werden<sup>21</sup>.) Impfung mit Knöllchenbakterien führt dagegen bei Leguminosen in bestimmten Fällen zu beachtlichen Erfolgen.

Während die Steigerung der Leistungsfähigkeit des pflanzlichen Organismus und die Erhöhung der Ernteerträge durch richtige und

ausreichende Zufuhr der lebensnotwendigen Elemente in Form geeigneter Verbindungen ein durch unzählige exakte Labor- und Feldversuche gesichertes Faktum darstellt, sind andere Verfahren zur Ertragssteigerung trotz aller Anstrengungen problematisch geblieben. Diese Verfahren haben jedoch aus verschiedenen Gründen immer wieder Wissenschaftler und interessierte Praktiker angelockt und es wäre sicher sehr reizvoll, die Ergebnisse ihrer Bemühungen zu sammeln und eine Geschichte der Stimulationsforschung zu schreiben, denn um die Stimulation, die Anregung der Lebensprozesse als Mittel zur Ertragssteigerung, geht es bei diesen Versuchen, in deren Verlauf beinahe alle überhaupt denkbaren Möglichkeiten geprüft worden sind. Wir müssen uns hier wieder auf einige Beispiele beschränken.

Als die Elektrizität ihren Siegeszug begann, versuchte man durch elektrisch geladene, über die Felder gespannte Drähte Entwicklung und Stoffproduktion der Kulturpflanzen zu fördern und berichtete in wissenschaftlichen Abhandlungen über angebliche Erfolge<sup>22)</sup>. Als die katalytische Wirkung von Schwermetallen bekannt wurde, behandelte man das Saatgut vor der Aussaat mit Schwermetallsalzlösungen und glaubte, mit so präparierten Samen höhere Erträge erzielen zu können. Diese von dem bulgarischen Wissenschaftler POPOFF nach dem ersten Weltkrieg ins Leben gerufene Forschungsrichtung verfügte sogar jahrelang über eine eigene internationale Zeitschrift, die unter dem Titel „Stimulationsforschung“ in Deutschland erschien<sup>23)</sup>.

Die Entdeckung der Radioaktivität gab Veranlassung zur Verwendung radioaktiver Elemente als Stimulationsmittel<sup>24)</sup> und gerade hier in Greifswald wurde das Verfahren der Saatguthormonisierung entwickelt, auf das die Begründer AMLONG und NAUNDORF die größten Hoffnungen setzten<sup>25)</sup>. Es beruht auf der Behandlung der Samen mit verdünnten Lösungen pflanzlicher Wuchshormone oder Auxine. Diese 1928 von WENT in Utrecht entdeckten Wirkstoffe regulieren das Wachstum, außerdem auch andere physiologische Prozesse der Pflanzen, und eine Zufuhr von Wuchsstoff in erstaunlich geringer Menge vermag unter bestimmten Verhältnissen die Wachstumsgeschwindigkeit erheblich zu steigern, während bei Wuchsstoffmangel das Wachstum erlischt. Es lag daher nahe, den jungen Keimling künstlich mit einem Auxinzuschuß zu versehen, der ihm während seiner Entwicklung zur blühenden Pflanze einen Vorsprung vor nicht-hormonisierten Exemplaren verschaffen sollte.

Auch hier erfüllten sich indessen die Hoffnungen nicht<sup>26)</sup>. Eine kurzdauernde Stimulation durch Intensivierung der Lebensprozesse ist zwar auf vielerlei Art zu erreichen, früher oder später stellen sich jedoch die alten Gleichgewichte ein; sie werden einerseits durch die genotypische Konstitution, andererseits durch die Konstellation der wesentlichen, ertragsbestimmenden Umweltfaktoren beherrscht. Befindet sich einer dieser Faktoren im relativen Minimum, so entscheidet er — unabhängig von allen Stimulationsverfahren — über die Stoffproduktion und bestimmt die Höhe der Hektarerträge. Die Beispiele für die Versuche, neue Wirkstoffe zur Erzeugung von Mehrererträgen auszunutzen, könnten fast beliebig vermehrt werden. Ob es sich um die Gruppe der Vitamine, der tierischen Sexualhormone oder der neuerdings so bedeutungsvoll gewordenen Antibiotika handelt, im Bereich der Stimulationsforschung wird alles auf seine Wirkung geprüft und es gibt auch immer optimistische Berichte über Erfolge, die leider später einer exakten Nachprüfung nicht standhalten und die ihr wahrscheinlich aus den angedeuteten Gründen auch nicht standhalten können.

Diese vorsichtige Zurückhaltung ist im Prinzip auch gegenüber einem Verfahren angebracht, von dem heute allerdings schon wieder weniger gesprochen wird, das jedoch noch vor kurzer Zeit sogar die Spalten der Tagespresse füllte. Wohl jeder der Anwesenden wird daher schon einmal etwas von „J a r o w i s a t i o n“ gehört oder gelesen haben, selbst wenn ihm die Botanik oder Landwirtschaft fern liegt. Bei der Jarowisation oder Vernalisation wird durch Behandlung von Saatgetreide in angequollenem Zustand mit niedrigen, jedoch oberhalb des Nullpunktes liegenden Temperaturen eine oft frappante Umstimmung und Beschleunigung des Entwicklungsablaufes erreicht. So kann etwa jarowisiertes Wintergetreide auch bei Frühjahrsaussaat zum Blühen und Fruchten gebracht werden, während unbehandeltes Saatgut Pflanzen ergibt, die bis zum Herbst über das Stadium vegetativer Grasbüschel nicht hinaus kommen (vergl. Abb. 4). Diesen Pflanzen fehlt die natürliche Jarowisation, die bei normaler Herbstsaat eintritt.

Man glaubte beobachtet zu haben, daß durch eine Jarowisation nicht nur eine Entwicklungsbeschleunigung, sondern auch eine Ertragssteigerung erreichbar sei. In der schon zitierten Tagespresse erschienen laufend Notizen über phantastische Hektarerträge und Angaben über Ertragssteigerungen von 30 bis 50 Prozent, die durch Aussaat jarowisierten Getreides erzielt worden sein sollten, waren keine Seltenheit.

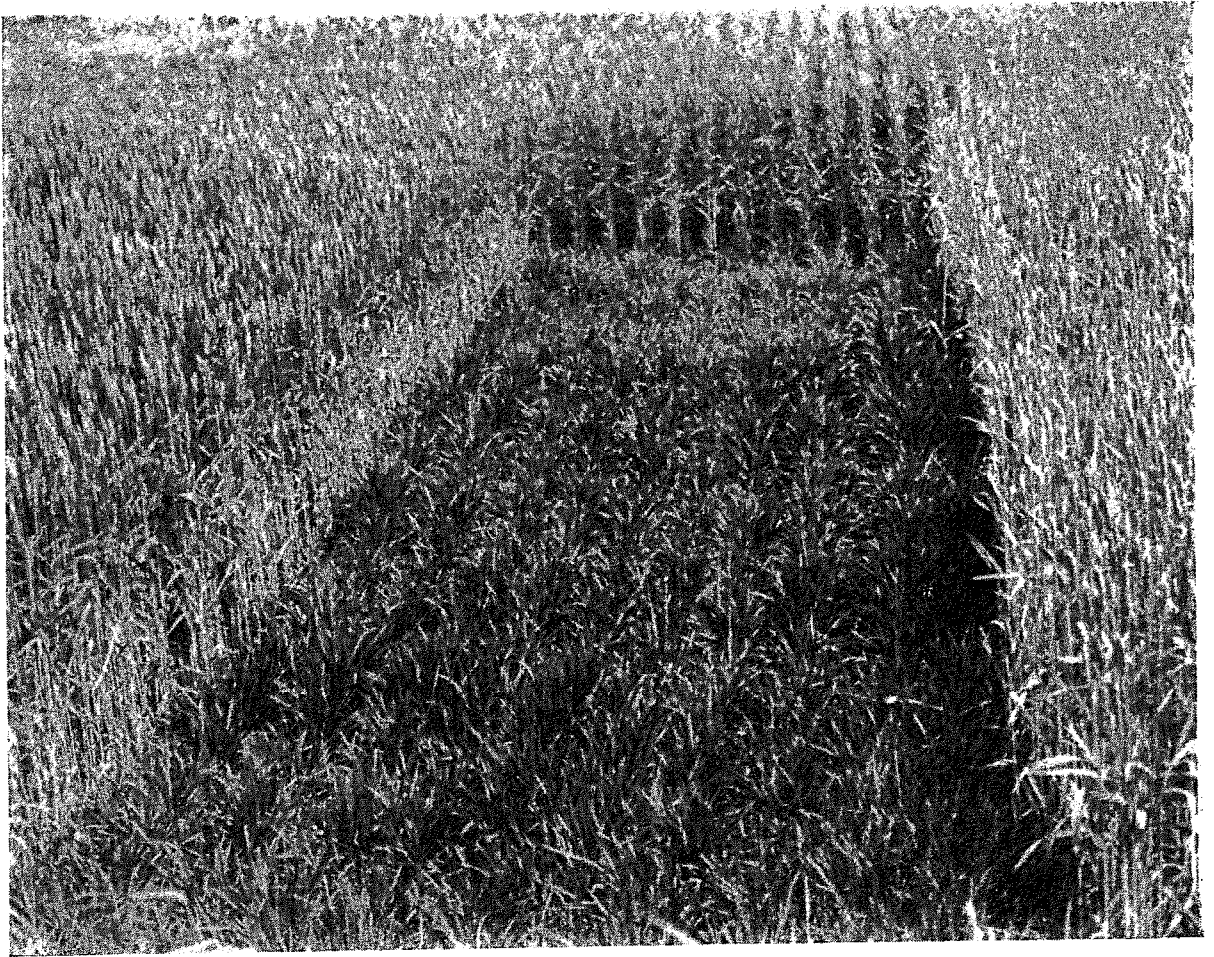


Abb. 4

Versuchsfeld mit jarowisiertem Winterweizen (Sorte: „Carsten V“), der bei Frühljahrsaussaat Ähren gebildet hat. In der Mitte: Parzelle mit Kontrollpflanzen aus unjarowisiertem Saatgut, die vegetativ geblieben sind.

Wir haben in Greifswald neben einer Untersuchung der physiologischen Grundlagen der Jarowisation jahrelang auch sehr umfangreiche Feldversuche durchgeführt, bei denen die Möglichkeit einer Ertragssteigerung mit exakter Methodik geprüft wurde. Leider entsprachen die Ergebnisse nicht den erwähnten Meldungen. Es ließen sich zwar bei gewissen Getreidearten, vor allem bei Gerste, statistisch gesicherte Mehrerträge durch Jarowisation des Saatgutes erzielen; sie betrugen jedoch im Durchschnitt nur wenige Prozent<sup>27)</sup>. Um das Verfahren in die breite Praxis einzuführen, wären weiter-

hin gewisse methodische Probleme zu lösen, damit die relativ geringen Ertragssteigerungen nicht durch gelegentliche Fehlschläge kompensiert werden.

Die Jarowisation wurde hier nur als ein Beispiel für zahlreiche Vorschläge genannt, bei denen das Saatgut nicht chemisch mit Wirkstoffen, sondern physikalisch, etwa durch kurzdauerndes Erhitzen, wechselndes Anfeuchten und Austrocknen, Ultraschallbehandlung oder andere Maßnahmen umgestimmt oder stimuliert werden soll. Man muß allen derartigen Verfahren und den Angaben über erzielte Mehrerträge zwar sehr kritisch, aber nicht grundsätzlich ablehnend gegenüber stehen, da sich bei solchen Arbeiten aus Nebenbeobachtungen oft Ansatzpunkte für wirkliche Erfolge ergeben.

So hat z. B. auch die Wuchsstoff-Forschung in anderer Richtung, als es AMLONG und NAUNDORF erwarteten, zu praktischen Anwendungen geführt, die für die moderne Landwirtschaft so bedeutungsvoll geworden sind, daß man vielleicht nicht ganz zu Unrecht von einer „chemischen Revolution der Landwirtschaft“ gesprochen hat. Durch Wuchshormone und andere Wirkstoffe, die auch synthetisch leicht zugänglich sind, wird man in zunehmendem Maße in die Lage versetzt, Wachstums- und Entwicklungsprozesse zu regulieren. Am wichtigsten ist zur Zeit die Möglichkeit, mit Hilfe der sogenannten „selektiven Herbizide“ Unkräuter in Kulturpflanzenbeständen zu vernichten, ohne die Kulturpflanzen selbst zu schädigen. Durch die Ausschaltung der Unkrautkonkurrenz erreicht man — auf indirektem Wege — erhebliche Ertragssteigerungen, die sich z. B. allein in den großen nordamerikanischen Weizenanbaugebieten auf viele Hunderttausende von Tonnen belaufen sollen<sup>28)</sup>. Bei gewissen Pflanzen kann man schon heute Blüten und Früchten durch geringe Hormongaben willkürlich auslösen und die Anwendung einer kürzlich entdeckten, als Gibberellinsäure bezeichneten Substanz scheint noch einschneidendere entwicklungsphysiologische Wirkungen auszuüben<sup>29)</sup>.

Letzten Endes aber ist die Synthese organischer Substanz in der Pflanzenzelle als Grundlage der menschlichen Ernährung ein energetisches Problem. Auch wenn alle Wachstumsfaktoren im Boden in genügender Menge vorhanden sind, Wasser und Wärme zur Verfügung stehen, ist der Aufbau der Kohlenstoffketten, d. h. der Grundgerüste aller Nahrungsstoffe, nur mit Hilfe des Sonnenlichtes möglich, das von den grünen Pflanzen unter Mitwirkung der Blattfarbstoffe zur Reduktion des Kohlendioxyds benutzt wird. Andere Reaktionswege, bei denen einige Bakterienarten für diese

Reduktion chemische Energie verwenden, die durch Oxydation gewisser anorganischer Verbindungen gewonnen wird, fallen jedenfalls in der gegenwärtigen geologischen Epoche bilanzmäßig nicht ins Gewicht und brauchen daher hier keine Berücksichtigung zu finden<sup>30)</sup>.

Der als Kohlensäureassimilation oder genauer als *Photosynthese* bezeichnete Stoffwechselprozeß hat wegen seiner hervorragenden Bedeutung seit der Entdeckung durch den holländischen Arzt Jan INGENHOUSZ im Jahre 1779 immer wieder die Aufmerksamkeit der besten Pflanzenphysiologen und Biochemiker ihrer Zeit auf sich gelenkt, aber bis vor kurzem scheiterten alle Versuche, in den Mechanismus der Photosynthese Einblick zu gewinnen, während andere, kaum weniger verwickelte Stoffwechselvorgänge ihre Geheimnisse längst preisgegeben hatten. Erst modernste physikalisch-chemische Methodik unter Anwendung von radioaktiven Isotopen, verbunden mit der vergleichenden Untersuchung verschiedener Organismen hat im Verlauf der letzten 15 Jahre zu wesentlichen Einsichten geführt<sup>31)</sup>. Die Zeit reicht nicht mehr aus, um hier auf Einzelheiten einzugehen. Ich muß mich darauf beschränken, gewisse Konsequenzen anzudeuten, die mancherorts aus diesen Ergebnissen gezogen werden: Man glaubt, der Mensch werde in chemischen Laboratorien und Fabriken die Photosynthese der Pflanzen nachahmen können, wenn es gelungen sein wird, deren Mechanismus über das heute bereits Bekannte hinaus gänzlich aufzuklären. Damit würde er in der Lage sein, unabhängig von der lebenden Pflanze aus Kohlendioxyd und Wasser unter Ausnutzung der Sonnenstrahlung zunächst Kohlenhydrate, d. h. Zuckerstoffe herzustellen, gewisse Zwischenprodukte unter Einbau von Stickstoff weiter in Aminosäuren umzuwandeln und aus diesen schließlich Eiweiß zu synthetisieren, wobei Fette und andere Verbindungen nebenher erzeugt werden könnten.

Kein Zweifel, daß so etwas einmal möglich sein könnte, ja sicherlich möglich sein wird. Die Frage bleibt indessen offen, ob damit bereits die Emanzipation von der grünen Pflanze erreicht und die Menschheit autotroph geworden ist. Die grundsätzliche Möglichkeit für eine Nachahmung der Photosynthese *in vitro* bedeutet noch nicht, daß sie in dem notwendigen Umfang auch *industriell* durchführbar ist, noch weniger ist damit erwiesen, daß sie rationeller wäre als die Photosynthese der Pflanzen. Deren photochemische Laboratorien bedecken weite Gebiete der Erde und diese Entwicklung enormer Oberflächen ist eine der wichtigsten Voraussetzungen

für ihre Leistungsfähigkeit, die sie — in ihrer Gesamtheit gesehen — zu einem kosmischen Vorgang gigantischen Ausmaßes stempelt, gegen den die gewaltigen Leistungen der heutigen Industrie sich beinahe kläglich ausnehmen. Einer fast unvorstellbar großen Luftmenge, die je Kubikmeter nur etwa  $\frac{1}{6}$  g Kohlenstoff enthält, entzieht die Vegetation der Erde jährlich 200 Milliarden Tonnen Kohlenstoff und synthetisiert daraus etwa 500 Milliarden Tonnen organische Substanz<sup>32)</sup>. Jedes Kohlenstoffatom, das in der Erdatmosphäre und in den Weltmeeren enthalten ist, wird im Mittel einmal in 250 Jahren in den Photosyntheseprozess einbezogen, so daß der gesamte Vorrat in einem einzigen geologischen Augenblick erschöpft wäre, wenn nicht durch gegenläufige Prozesse, an denen das Heer der Mikroben entscheidend beteiligt ist, ständig für Ersatz gesorgt würde. Auf die Kulturpflanzen — ausschließlich der Nutzhölzer — entfallen bei dieser Fundamentalsynthese „nur“ 4 Milliarden Tonnen Kohlenstoff oder 10 Milliarden Tonnen organischer Substanz, aber auch das ist bereits eine Produktionsziffer, die jede Industrieerzeugung in den Schatten stellt. Ihr Ersatz durch Nahrungsmittelfabriken mit Einrichtungen zur künstlichen Photosynthese wird weiterhin dadurch erschwert, daß der Mensch als auxo-heterotrophes Wesen nicht nur die Grundnährstoffe, sondern auch eine große Anzahl von organischen Wirkstoffen oder Vitaminen benötigt, deren komplizierter Aufbau zwar von der Pflanzenzelle anscheinend spielend gemeistert wird, deren Synthese aber der chemischen Industrie oft große Schwierigkeiten bereitet und sicher noch lange bereiten wird.

Die Herstellung vollwertiger Nahrungsmittel in der Retorte dürfte damit — trotz der prinzipiellen Möglichkeit dieses Weges — noch für lange Zeit eine Utopie bleiben, selbst wenn man in der Lage sein sollte, in nicht allzu ferner Zukunft neben der Sonnenenergie auch nukleare Energiequellen für derartige Synthesen einzusetzen. Die ausreichende Ernährung der Menschheit des 21. Jahrhunderts, in dem sicherlich statt der heutigen  $2\frac{1}{2}$  zwischen 5 und 10 Milliarden Menschen die Erde bevölkern werden, wird daher zweifellos mit Hilfe von Pflanzen gesichert werden müssen, deren Leistungsfähigkeit auf Grund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse bis an die Grenze des Erreichbaren gesteigert ist. Wir wollen hier nicht auf die Ertragsreserven eingehen, die in der Züchtung neuer und besserer Sorten unserer heutigen Kulturpflanzen liegen, da die Erörterung dieser Frage eine gesonderte Behandlung verdiente. Die moderne Pflanzenzüchtung hat seit der Entdeckung — genauer gesagt, der Wiederentdeckung — der grundlegenden Vererbungsgesetze

zu Beginn dieses Jahrhunderts großartige Triumphe gefeiert und die Leistungsfähigkeit der Landwirtschaft in den vergangenen 50 Jahren beträchtlich erhöht<sup>33</sup>).

Auch die besten Sorten unserer Kulturpflanzen vermögen jedoch nur einen winzigen Bruchteil des einfallenden Sonnenlichtes für den Vorgang der Photosynthese auszunutzen und als chemische Energie in den Assimilationsprodukten: Zucker, Stärke, Fett und Eiweiß zu speichern. Er kann in günstigsten Fällen 1 bis maximal 2 Prozent der Strahlungsenergie betragen, liegt aber im allgemeinen noch weit darunter. In Laboratoriumsversuchen dagegen ist man bereits vor längerer Zeit auf über 20 Prozent, also auf den mehr als zehnfachen Betrag gekommen. Man könnte daher meinen, daß eine Übertragung dieser Ergebnisse in die Praxis die richtige Methode wäre, um alle Nahrungssorgen mit einem Schlage zu beheben und eine Erdbevölkerung von der 10-fachen Größe der heutigen zu versorgen. Leider ist bis dahin noch ein weiter Weg zurückzulegen, der jedoch bereits von zahlreichen Wissenschaftlern in vielen Ländern beschritten wird. Zunächst ist wichtig zu wissen, daß es sich bei den Versuchsobjekten, mit denen diese Höchstleistungen erzielt wurden, nicht um unsere landwirtschaftlichen Kulturpflanzen handelte, sondern um mikroskopisch kleine, einzellige grüne Algen, wie sie oft zu Milliarden und Billionen in Wasseransammlungen auftreten und dann durch ihre Massenentwicklung makroskopisch sichtbare Grünfärbungen der Gewässer, sogenannte „Wasserblüten“ hervorrufen. Diese *Chlorella*- oder *Scenedesmus*-Arten (vergl. Abb. 5 und 6) lassen sich leicht in geeigneten Nährlösungen, die nur einige einfache anorganische Salze enthalten, in flachen, gut belichteten und belüfteten Behältern oder Röhren kultivieren (vergl. Abb. 7) und zeigen unter günstigsten Verhältnissen eine Stoffproduktion, die alles in den Schatten stellt, was wir bisher an Flächenerträgen von Kulturpflanzen kennen. Es gibt in einigen Ländern bereits Versuchsanlagen, sogenannte „pilot plants“, in denen Algen in halotechnischem Maßstab kultiviert werden und in denen man die Schwierigkeiten studieren kann, die immer dann auftreten, wenn man von einer Labor- zur Großproduktion übergeht<sup>34</sup>). Mit Vergnügen hört man, daß der bedeutende japanische Pflanzenphysiologe TAMIYA, der sich ebenfalls mit der Kultur von Algen beschäftigt, seinen Gästen bereits Algenbeefsteaks und sogar Algentea vorsetzt, wobei leider nicht berichtet wird, welchen Anklang diese Leckerbissen bei den Gästen finden. Natürlich handelt es sich bei solchen Proben um ein wichtiges und ernstes Problem: Die bloße Massen-

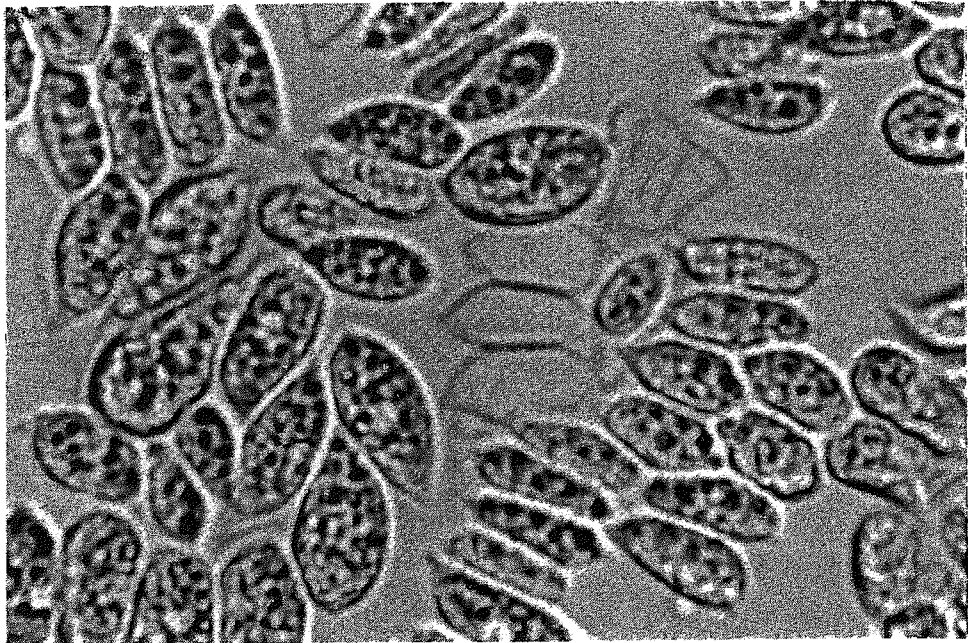


Abb. 5

Zellverbände der Grünalge *Scenedesmus quadricauda* bei etwa 800facher Vergrößerung. Neben den charakteristischen Vierer-Kolonien sind Einzelzellen sichtbar.

produktion organischer Substanzen genügt keineswegs: Das Produkt muß die erforderlichen geschmacklichen Qualitäten und die entsprechende Zusammensetzung haben, um als Nahrungs- oder Futtermittel geeignet zu sein. Das letztere läßt sich durch chemische Analysen und vor allem im Tierversuch feststellen. Sehr positive Ergebnisse liegen z. B. aus Westdeutschland vor, wo Algenmaterial aus der Kohlenstoffbiologischen Forschungsstelle in Essen-Bredeney von FINK besonders auf die biologische Wertigkeit des Algeneiweißes geprüft wurde. Im allgemeinen ist pflanzliches Eiweiß gegenüber tierischem Eiweiß minderwertig, was darauf beruht, daß in ihm einige Eiweißbausteine oder „essentielle“ Aminosäuren, die der menschliche und tierische Organismus nicht selbst zu synthetisieren vermag, sondern mit der Nahrung aufnehmen muß, fehlen oder in unzureichender Menge vorhanden sind. FINK konnte feststellen, daß gerade das Algeneiweiß ein biologisch besonders hochwertiges Eiweiß darstellt, das z. B. eine vorbeugende Wirkung gegen Lebernekrosen zeigt<sup>35</sup>). Allerdings scheinen auch die Kulturbedingungen einen erheblichen Einfluß auf seine Zusammensetzung auszuüben, und die Fragen des Nahrungs- bzw. Futterwertes der Algen dürften im einzelnen noch nicht genügend geklärt sein. Auf alle

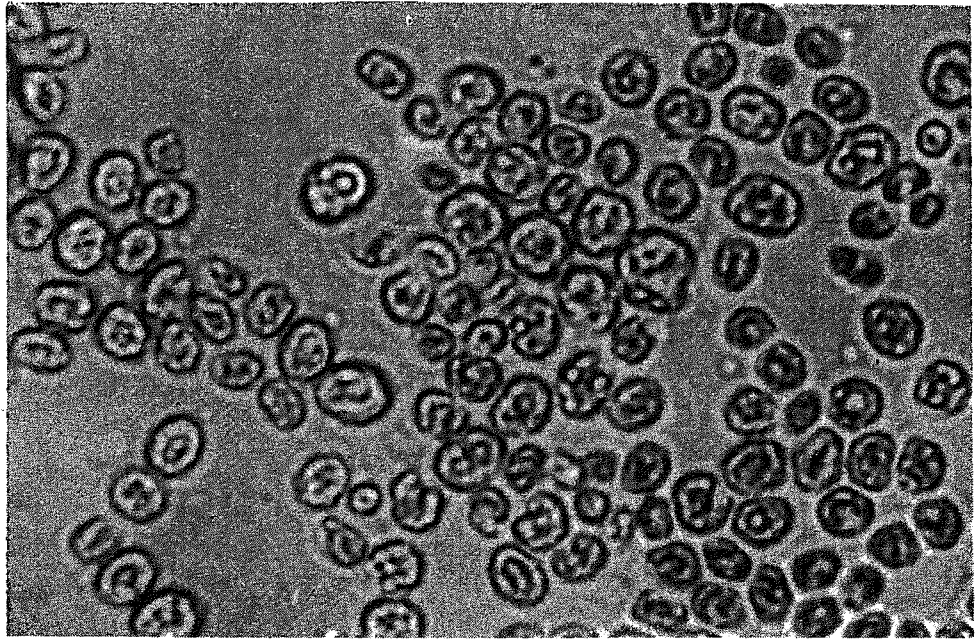


Abb. 6

Zellen der Grünalge *Chlorella pyrenoidosa* bei etwa 800facher Vergrößerung.

Fälle steht fest, daß die Algen lebensnotwendige Wirkstoffe, vor allem Vitamine, in erheblichen Konzentrationen erzeugen und enthalten, so daß sie auch in dieser Hinsicht anderen pflanzlichen Produkten gleichwertig, wenn nicht gar vorzuziehen sind.

Während zunächst die Energieausbeute bei der Algen-Photosynthese der von Blütenpflanzen erreichbaren Ausnutzung grundsätzlich überlegen zu sein schien, zeigte sich in neueren, vor allem von dem holländischen Physiologen WASSINK und seinen Mitarbeitern durchgeführten Experimenten, daß unter entsprechenden Bedingungen im Laboratorium auch von unseren Kulturpflanzen eine ebenso hohe Leistung erreicht wird<sup>36</sup>). Man könnte meinen, daß damit die Algen ihrer energetischen Sonderstellung beraubt seien und das Interesse der Photosynthese-Forscher sich wieder den landwirtschaftlichen Nutzpflanzen zuwenden würde. Eine nähere Überlegung zeigt jedoch, daß es weniger auf die Höhe der Ausbeute unter Laboratoriumsverhältnissen als vielmehr auf die Möglichkeit ankommt, auch unter natürlichen Gegebenheiten einen hohen photosynthetischen Nutzeffekt zu erreichen. In dieser Hinsicht sind aber die einzelligen Algen trotz oder vielmehr gerade wegen ihrer Primitivität nicht zu übertreffen. Die Blütenpflanzen haben sich im Laufe ihrer Jahrmillionen langen stammesgeschicht-

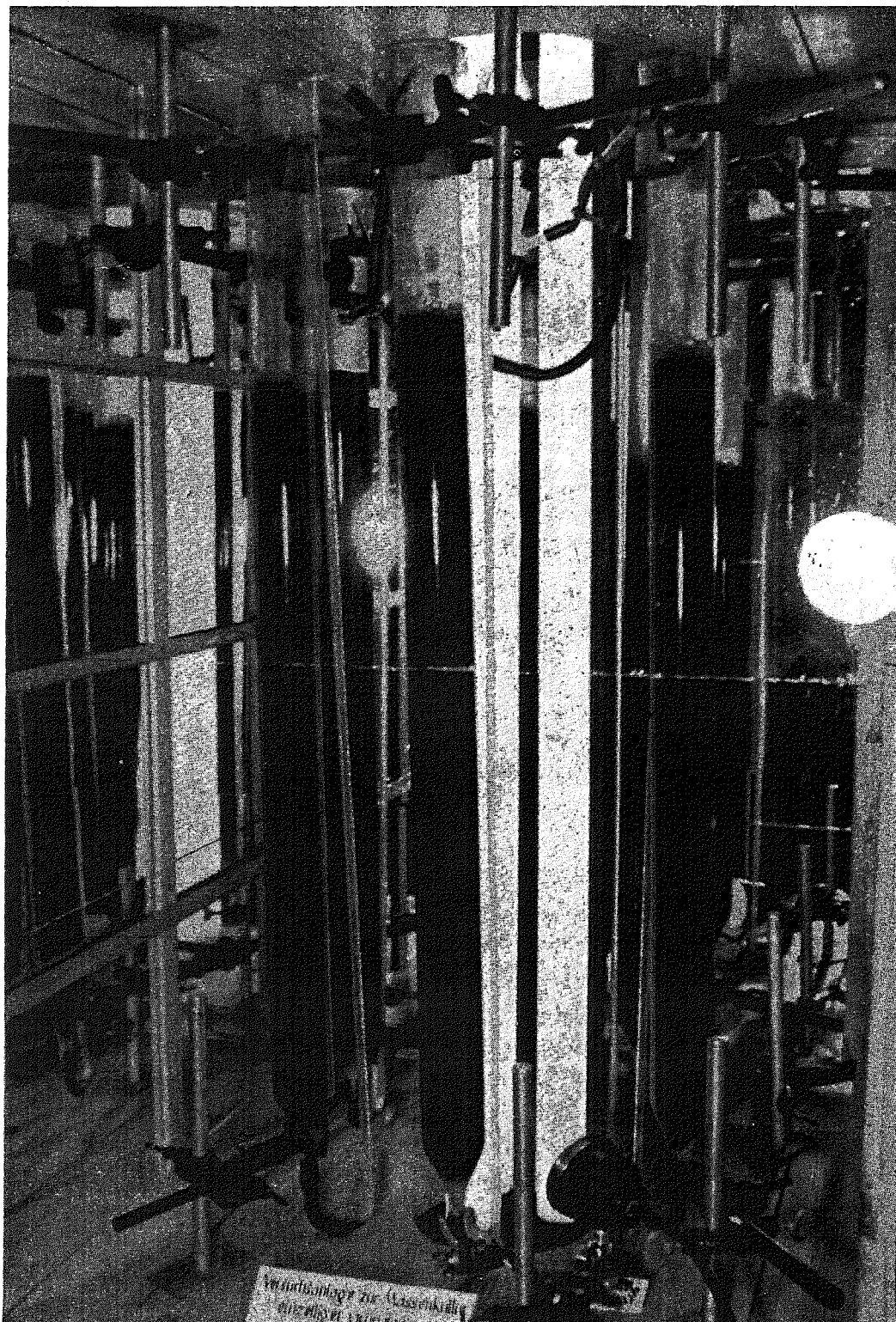


Abb. 7

Lichtthermostat zur laboratoriumsmäßigen Massenkultur von Grünalgen. 3 Leuchtstoffröhren sind von 6 Kulturzylindern umgeben, die je 1 Liter Algensuspension enthalten.

lichen Entwicklung in hervorragender Weise an die meisten Lebensräume angepaßt und diese in einer fast unübersehbaren Formenfülle besiedelt. Hierzu mußten sie bestimmte Spezialeinrichtungen entwickeln, zu deren Aufbau organische Substanz erforderlich ist, die der Vergrößerung des Assimilationsapparates entzogen werden muß. Die Algen aber bestehen beinahe nur aus einem solchen photosynthetischen Apparat und es ist bekannt, daß die Assimilationsleistung des Gesamtorganismus weniger von der Assimilationsintensität pro Flächen- oder Gewichtseinheit als vielmehr von der Verwertung der Assimilate abhängt. Veilchen und Sonnenblume unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Assimilationsintensität recht wenig, in ihrer Stoffproduktion aber um mehrere Zehnerpotenzen. Auf der verschiedenen Verwertung der Assimilate beruht die Überlegenheit der primitiven Lebensformen unter bestimmten, für sie optimalen Bedingungen. Wichtig ist ferner, daß fast der gesamte Algenkörper von Tier und Mensch als Nahrung verwendbar ist, während bei Kulturpflanzen stets ein erheblicher Prozentsatz wertlosen oder doch minderwertigen Abfall darstellt. Schließlich ist für die praktische Ausnutzung der theoretisch nachgewiesenen hohen Leistung von besonderer Bedeutung, daß es denkbar, wenn auch schwierig erscheint, in großen Freilandanlagen aus geeigneten Kunststoffen, gegebenenfalls unter Verwendung von Atomenergie, Algenfarmen von riesigem Ausmaß zu errichten, auf denen maximale Produktionsleistungen erreicht werden können, während die Schaffung optimaler Wachstumsbedingungen für unsere heutigen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen wegen des erforderlichen, unvergleichlich viel höheren Aufwandes als Utopie bezeichnet werden muß. Man hat berechnet, daß solche Anlagen für die Massenkultur von Algen, die eine Fläche von der Größe des Landes Bayern bedecken, bereits ausreichen würden, um die gesamte, für die Ernährung der Erdbbevölkerung erforderliche Eiweißmenge zu erzeugen.

Unsere wichtigsten irdischen Energiequellen: Kohle und Erdöl als Produkte der Pflanzenwelt vergangener Epochen gehen in einem bedrohlichen Tempo ihrer Erschöpfung entgegen. Die Stoffproduktion der rezenten Pflanzenwelt, insbesondere das Holz als vielseitig verwandter Roh- und Brennstoff, reicht nicht aus, um den steigenden Bedarf zu decken. Unvernünftiger Raubbau hat hier vielerorts irreparablen Schaden angerichtet. Die Wissenschaftler aller Kulturländer suchen fieberhaft nach neuen Möglichkeiten, um der wachsenden Erdbbevölkerung ausreichende Mengen von Nahrungsmitteln, Rohstoffen und Energie zur Verfügung zu stellen. Die Entdeckung

der Kernenergie und der Möglichkeiten, sie nicht für die Vernichtung, sondern Erhaltung des Menschengeschlechtes auszunutzen, kam im rechten Augenblick. Die Atomkraftwerke der Zukunft werden in der Lage sein, Holz, Kohle und Erdöl als Energiequellen zu ersetzen und ihre rationellere Verwendung als Grundstoffe der chemischen Industrie zu sichern. Auch mit der Ausnutzung der Sonnenenergie beginnt man sich immer intensiver zu beschäftigen, wie das 1955 in Phoenix im Staate Arizona abgehaltene Welt-Symposium für angewandte Sonnenenergie eindrucksvoll zeigte, zu dem 800 Wissenschaftler zusammengekommen waren<sup>37)</sup>. Die Teilnehmer stimmten darin überein, daß heute und wahrscheinlich auch in der Zukunft, soweit sie sich in ihrer wissenschaftlich-technischen Entwicklung bisher überblicken läßt, die Umwandlung der solaren Strahlung in chemische Energie durch die Photosynthese der grünen Pflanze den wichtigsten Weg bildet und bilden wird, auf dem die Sonnenenergie vom Menschen ausgenutzt werden kann.

Daß aber gerade auf diesem Weg nicht nur die alten traditionellen Verfahren angewandt zu werden brauchen, sondern daß sich hier vor kurzem noch nicht geahnte Möglichkeiten eröffnen, die zu einer Revolutionierung der Landwirtschaft führen müssen, wenn man sie konsequent ausnutzt, haben die Forschungen der letzten Jahrzehnte über Photosynthese und Stoffproduktion einzelliger Grünalgen gezeigt, die der Nobelpreisträger Otto WARBURG im Jahre 1919 in seinen zunächst rein theoretischen Zielen dienenden Arbeiten als besonders geeignete Versuchsobjekte in die Photosyntheseforschung einführte.

In ihrem modernen, glänzend geschriebenen Lehrbuch der Pflanzenphysiologie haben die Verfasser, James BONNER und Arthur GALSTON zum Ausdruck gebracht, daß es auch diesem Zweig der Botanik zunächst um das Erkennen der allgemeinen Gesetze geht, die den Lebenserscheinungen der Pflanzen zugrunde liegen und daß nur das reine, vorurteilslose Forschen nach den Ursachen zu neuen, entscheidenden Erkenntnissen führt<sup>38)</sup>. Nach ihrer Meinung findet die Arbeit des Forschers jedoch ihre letzte Rechtfertigung in der praktischen Anwendung dieser Erkenntnisse zur Steigerung der pflanzlichen Produktion im Dienste der menschlichen Wohlfahrt. Die Jünger der Pflanzenphysiologie haben nach BONNER und GALSTON die Genugtuung, daß die Ergebnisse ihrer Wissenschaft die Basis der bedeutendsten Produktivkräfte der Welt bilden, die in Landwirtschaft, Forstwesen und Gartenbau vereinigt sind. Wenn sie schließ-

lich den Satz prägen, daß „die Fähigkeit der Erde, ihre ständig zunehmende Bevölkerung zu erhalten, von der zukünftigen Entwicklung der Pflanzenphysiologie und der Anwendung ihrer Erkenntnisse abhängt“, dann möchte ich als Vertreter dieses Gebietes an unserer Universität etwas bescheidener aber ebenso nachdrücklich folgendermaßen formulieren:

„Die moderne Pflanzenphysiologie, eine Wissenschaft, in der gerade von deutschen Forschern — von Männern wie Julius SACHS, Wilhelm PFEFFER, Georg KLEBS und vielen anderen — Grundlegendes geleistet wurde, wird in entscheidendem Maße an der Lösung der Aufgaben mitwirken, welche Ernährung und Versorgung einer ständig wachsenden Erdbevölkerung der gesamten Naturwissenschaft stellen.“

## Anmerkungen

Mancher Leser mag den Wunsch haben, sich mit den Problemen, die im Text nur angedeutet werden konnten, eingehender zu beschäftigen. Für ihn sind die folgenden Anmerkungen bestimmt. Sie enthalten neben biographischen Daten Ergänzungen und Erläuterungen, die sich vor allem an den interessierten Nicht-Biologen mit einiger naturwissenschaftlicher Allgemeinbildung wenden. In den meisten Anmerkungen finden sich Literaturzitate. Bei ihrer Auswahl wurden in erster Linie zusammenfassende Aufsätze (und gelegentlich Bücher) berücksichtigt, die in den behandelten Gegenstand einführen. In einigen Fällen sind auch die grundlegenden Originalarbeiten genannt.

<sup>1</sup>). Christian Friedrich HORNSCHUCH, geb. am 21. 8. 1793 zu Rodach bei Coburg, wurde 1818 als „Demonstrator botanices“ an die Universität Greifswald berufen, 1820 zum a. o. Professor und 1826 zum o. Professor der Naturgeschichte und Botanik ernannt. In dieser Eigenschaft leitete er den Botanischen Garten und das Zoologische Museum von 1820 bis zu seinem Tode (24. 12. 1850). Er hat sich besonders auf dem Gebiet der Bryologie (Mooskunde) einen Namen gemacht. Nähere Angaben finden sich bei M. DITTRICH: Chr. Fr. HORNSCHUCH (1793—1850) als Botaniker. Festschr. z. 500-Jahrfeier der E. M. Arndt-Universität Greifswald, Bd. II, 1956, S. 540 und bei H. BORRISS: Die Entwicklung der Botanik und der Botanischen Einrichtungen an der Universität Greifswald. Ebenda, S. 515, sowie in der „Schriftensammlung des Familienarchivs Hornschuch“. Heft 22/43: Chr. F. HORNSCHUCH. Selbstzeugnisse und Briefe an die gelehrte Mitwelt. Schorndorf/Württ. (ohne Jahr).

<sup>2</sup>). Franz SCHÜTT, geb. am 13. 5. 1859 in Woldegk (Mecklb.) wurde am 1. 5. 1895 von Kiel nach Greifswald berufen und zum Direktor des Botanischen Gartens und Museums ernannt. SCHÜTT hatte sich durch seine Untersuchungen über Diatomeen und insbesondere durch seine Arbeiten über Peridineen wissenschaftliches Ansehen erworben. Aus seiner Feder stammt eine grundlegende monographische Darstellung dieser Gruppe in ENGLER u. PRANTL's „Natürlichen Pflanzenfamilien“. Unter seiner Leitung entstanden zwischen 1913 und 1921 zahlreiche Dissertationen, die sich mit der Algenflora der Greifswalder Gewässer beschäftigten. Prof. SCHÜTT leitete Garten und Museum bis zu seinem Tode (9. 8. 1921). Weitere biographische Angaben finden sich bei H. BORRISS, loc. cit. Anm. <sup>1</sup>).

<sup>3</sup>). Franz SCHÜTT: Kosmologie als Ziel der Meeresforschung. Rede beim Antritt des Rektorats der Universität zu Greifswald am 16. Mai 1904 (Sonderabdruck aus der „Naturwissenschaftlichen Wochenschrift“, Neue Folge, Bd. 3, Nr. 45. Jena 1904).

<sup>4</sup>). Die Bücher von E. RIES u. M. GERSCH: Biologie der Zelle. Leipzig 1953, und J. HAAS: Physiologie der Zelle. Berlin-Nikolassee 1955 orientieren allgemein über den mikroskopischen und submikroskopischen Feinbau der Zelle. Eine spezielle Darstellung enthalten die Werke von FREY-WYSSLING, dem wir wesentliche Beiträge zu unseren Kenntnissen über die Ultrastrukturen des Cytoplasmas und der Zellorganellen verdanken. (A. FREY-WYSSLING: Submikroskopische Morphologie des Protoplasmas und seiner Derivate. Berlin 1938. Ders.: Submicroscopic morphology of protoplasm and its derivatives. New York, Amsterdam 1948. Ders.: Die submikroskopische Struktur des Cytoplasmas. In: Protoplasmologia, Handb. der Protoplasmaforschung, Bd. II, A 2, Wien 1955). Seit 1957 erscheint unter dem Titel „Journal of ultrastructure research“ eine internationale Zeitschrift, die ausschließlich Fragen der Feinstruktur des Lebendigen gewidmet ist.

Für die Aufklärung der stofflichen Zusammensetzung und der biochemischen Umsetzungen in den Zellen hat sich die Methode der Verteilungschromatographie als besonders wertvoll erwiesen, in deren Prinzipien und Anwendungen z. B. die Werke von F. CRAMER: Papierchromatographie. 4. Aufl. Weinheim/Bergstr. 1958 und F. TURBA: Chromatographische Methoden in der Protein-Chemie. Berlin/Göttingen/Heidelberg 1954, einführen.

<sup>5</sup>) Robert Thomas MALTHUS, der von 1766 bis 1834 lebte, veröffentlichte sein Werk „An Essay on the principle of population“ im Jahre 1798. Die hierin vertretenen Auffassungen, die zur Theorie des „Malthusianismus“ entwickelt wurden, sind wiederholt kritisiert und, wie bereits im Text angedeutet, widerlegt worden. Es sei hier vor allem auf das kürzlich in deutscher Übersetzung erschienene Buch von R. L. MEEK: MARX und ENGELS über MALTHUS. Berlin 1956, dem weiteres Material entnommen werden kann, hingewiesen.

<sup>6</sup>). Theodor ROEMER: Wird die Lehre von R. MALTHUS in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts doch noch Wirklichkeit? Gedenkschrift z. Doppel-Verleihung des Justus v. LIEBIG-Preises 1949/1950. Landw. Fak. d. Univ. Kiel.

<sup>7</sup>). Nach den im „Population Bulletin“ der UNO enthaltenen Angaben für die Jahre 1946 bis 1948 sind von FISCHER (Agrarwissen-

schaft 54, 1952) die in der folgenden Tabelle wiedergegebenen Zahlen berechnet worden, die zeigen, daß der von ihm auf 1,3 % geschätzte Jahreszuwachs nur einen Durchschnittswert darstellt, die Bevölkerungszunahme in den einzelnen Erdteilen aber recht unterschiedlich ist.

Errechneter Zuwachs (nach FISCHER)

| Erdteil     | Bevölkerung (Mill.) |      | Prozentualer Zuwachs |          |
|-------------|---------------------|------|----------------------|----------|
|             | 1950                | 1980 | 1950—80              | jährlich |
| Westeuropa  | 307                 | 393  | 28                   | 0,8      |
| Osteuropa   | 287                 | 387  | 35                   | 1,0      |
| Afrika      | 199                 | 311  | 56                   | 1,5      |
| Asien       | 1272                | 1830 | 56                   | 1,2      |
| Nordamerika | 166                 | 260  | 44                   | 1,5      |
| Südamerika  | 162                 | 321  | 98                   | 2,3      |
| Ozeanien    | 13                  | 21   | 61                   | 1,6      |
| Gesamt      | 2406                | 3523 | 46                   | 1,3      |

<sup>8)</sup> Vergl. E. WOERMANN, Archiv d. Deutschen Landw. Gesellsch. Bd. 9, 1952; S. 91. Nach E. HOFMANN u. E. BITTERMANN: Die Leistungssteigerung der deutschen Landwirtschaft seit 1800. Umschau, Bd. 51, 1951, stieg die landwirtschaftliche Produktion Deutschlands seit 1800 auf 350 %, während die Bevölkerung nur auf 280 % anwuchs. Weitere Angaben finden sich bei O. HEINISCH: Die Entwicklung der Pflanzenzüchtung in Beziehung zur Bevölkerungszunahme. Wissenschaftl. Annalen, Bd. 3, 1954, S. 342.

<sup>9)</sup> In ihrem Aufsatz: Zunahme der Weltbevölkerung und Ernährung, der 1954 in der „Naturwissenschaftlichen Rundschau“, Bd. 7, S. 235 erschien, machen die Verfasser, R. HARDER u. H. v. WITSCH, über die der Erdbevölkerung zur Verfügung stehenden Kalorienmengen folgende Angaben: Nimmt man 2600 Kalorien als Minimalwert an, der im Durchschnitt zur ausreichenden Ernährung eines Menschen erforderlich ist, so erweisen sich nicht weniger als 59 % der Erdbevölkerung als unzureichend ernährt. 13 % der Menschen erreichen den angegebenen Minimalwert und nur 28 % sind kalorienmäßig gut versorgt. Vor dem zweiten Weltkrieg lagen die entsprechenden Werte bei 38 %, 31 % und 31 %, d. h. also, daß seit 1939 eine deutliche Verschlechterung der Lage eingetreten ist, wenn

auch die angegebenen Werte wahrscheinlich mit einem erheblichen Unsicherheitsfaktor behaftet sein dürften. Ein ähnlich düsteres Bild entwirft H. R. TOLLEY in seinem Beitrag „Population and food supply“. (Enthalten in dem von E. E. DETURK herausgegebenen Sammelband: Freedom from want, a survey of the possibilities of meeting the worlds food needs. Chronica botanica, Bd. 11, 1948, S. 207).

<sup>10)</sup>. Vergl. z. B. R. HARDER u. H. v. WITSCH, loc. cit Anm. <sup>9)</sup> und M. BENTHAL: Die indische Bevölkerungszahl und ihre Probleme. Urania, Bd. 20, 1957, S. 465.

<sup>11)</sup>. Die vegetativen Teile höherer Pflanzen bestehen zu etwa 70 bis 85 % aus Wasser. Der Rest (die „Trockensubstanz“) enthält vor allem Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff sowie zahlreiche „Aschensubstanzen“. Der Aschegehalt der Pflanzensubstanz wird ermittelt, indem man eine bestimmte Menge des getrockneten Pflanzenmaterials verbrennt und den Rückstand („Rohasche“) wägt. Man erhält Werte, die im allg. zwischen 5 % und 10 % liegen, aber je nach Pflanzenart und -Organ die angegebenen Grenzen nach oben oder unten erheblich überschreiten können. Ebenso wie der Aschegehalt kann auch die Zusammensetzung der Asche recht unterschiedlich sein. Man findet in jedem Fall zahlreiche, für die Entwicklung der Pflanze lebenswichtige Metalle und mehrere Nichtmetalle, die in Ionenform aus dem Boden aufgenommen werden, außerdem eine Reihe anderer Elemente, die nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen entbehrlich sind, aber infolge des „Exklusionsunvermögens“ der Pflanzenwurzel auf Grund physikochemischer Gesetzmäßigkeiten von den Zellen absorbiert werden müssen. Nähere Angaben sind in dem Buch von W. BAUMEISTER: Mineralstoffe und Pflanzenwachstum, Jena 1952, enthalten.

<sup>12)</sup>. Vergl. dazu E. H. REINAU: Kohlensäure und Pflanzen. Ein Beitrag zur Kohlenstoffdüngung der Pflanzen und ein Versuch zu einer geophysikalischen Pflanzengeographie. Halle 1920. Ders.: Kohlensäuredünger. In: Handb. d. Pflanzenernährung und Düngerlehre, hrgb. von F. HONCAMP, Berlin 1931, W. A. TSCHESNOKOW u. A. M. STEPANOWA: Pflanzendüngung mit Kohlensäuregas. (russ.), Leningrad 1955 und W. A. TSCHESNOKOW: Über den Einfluß der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf Photosynthese und Ernteertrag (russ.). Trudi Inst. Phys. Rast. Bd. 10, 1955, S. 80.

<sup>13)</sup>. Vergl. J. v. LIEBIG: Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. Braunschweig 1840, und J. v. LIEBIG: Chemische Briefe. Leipzig und Heidelberg 1844. Beide Bücher haben

zahlreiche Auflagen erlebt, und ihr Einfluß war entscheidend für die Durchsetzung der richtigen Ansichten über die Mineralernährung der Pflanzen gegenüber den spekulativen Auffassungen der Humustheorie (vergl. Anm. <sup>15</sup>). Bereits vor LIEBIG hatte C. SPRENGEL in seinem 1839 erschienenen Werk: „Die Lehre vom Dünger“ den Standpunkt vertreten, daß die Mineralstoffe für die Entwicklung der Pflanzen unentbehrlich seien.

<sup>14</sup>). Die von der Göttinger Akademie der Wissenschaften 1838 gestellte Preisfrage: „Ob die sogenannten unorganischen Elemente, welche in der Asche der Pflanze gefunden werden, auch dann in den Pflanzen sich finden, wenn sie denselben von außen nicht geboten werden“ regte WIEGMANN und POLSTORFF zu ihren klassischen Untersuchungen („Über die anorganischen Bestandteile der Pflanze“, Braunschweig 1842) an, in deren Verlauf sie durch Kultur von Pflanzen auf Platinschnitzeln, die mit Lösungen der zu prüfenden Substanzen befeuchtet worden waren, eindeutig nachweisen konnten, daß die in der Pflanzenasche gefundenen Stoffe von den Wurzeln aus dem Boden aufgenommen werden und daß sie (oder wenigstens manche von ihnen) unentbehrliche Nährstoffe darstellen. Ihre Befunde wurden später durch die ausgedehnten Untersuchungen von SALM-HORSTMAR („Versuche und Resultate über die Nahrung der Pflanzen“, Braunschweig 1856) bestätigt und ergänzt. SALM-HORSTMAR verwandte als Substrate gepulverten Bergkristall oder Zuckerkohle, die mit Lösungsgemischen verschiedener Salze getränkt wurden und gelangte zu der Auffassung, daß seine Versuchspflanzen (Hafer) die Elemente K, Ca, Mg, Fe, Mn, Si, P, S und wahrscheinlich auch Cl für Wachstum und Entwicklung benötigten.

Für die Lehre von der Mineralsalzernährung und die Feststellung der Lebenswichtigkeit einzelner Elemente für die Pflanze wurde dann die Methode der Wasserkultur von entscheidender Bedeutung. Als erste kultivierten J. SACHS (Bericht über die physiologische Tätigkeit der Versuchsstation Tharandt, Landwirtsch. Versuchsstationen, Bd. 2, 1860, S. 2) sowie W. KNOP: (Über die Ernährung der Pflanzen durch wässrige Lösungen unter Ausschluß des Bodens. Ebenda, Bd. 2, 1860, S. 65) Pflanzen in wässrigen Lösungen von Salzgemischen. Sie stellten dabei fest, daß auch typische Landpflanzen, wie z. B. Buchweizen oder Getreide in geeignet zusammengesetzten „Nährlösungen“ üppig wachsen und sich normal entwickeln können. Die von KNOP empirisch ermittelte Nährlösung (W. KNOP: Be-

reitung einer concentrirten Nährlösung für Pflanzen. Landwirtsch. Versuchsstat., Bd. 30, 1884, S. 292), die auch heute noch häufig Verwendung findet, hat folgende Zusammensetzung:

|                                   |        |                                        |           |
|-----------------------------------|--------|----------------------------------------|-----------|
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | 1,0 g  | MgSO <sub>4</sub> · 7 H <sub>2</sub> O | 0,25 g    |
| KNO <sub>3</sub>                  | 0,25 g | KCl                                    | 0,12 g    |
| KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>   | 0,25 g | FeCl <sub>3</sub> · 6 H <sub>2</sub> O | 1 Tropfen |
|                                   |        | (5 <sup>0</sup> /oige Lösung)          |           |
|                                   |        | H <sub>2</sub> O                       | 1000 ml   |

Zahlreiche weitere Rezepte finden sich z. B. bei W. BAUMEISTER, loc. cit. Anm. <sup>11</sup>).

Die von SACHS, KNOP und vielen anderen Forschern durchgeführten Wasserkulturversuche zeigten, daß die Pflanzen folgende 7 Elemente unbedingt benötigen: K, Ca, Mg, Fe, N, P, S. Sie werden in Ionenform aus dem Boden aufgenommen. Weiterhin sind C, O und H erforderlich. Über die außerdem nicht zu entbehrenden Spurenelemente vergl. Anm. <sup>16</sup>).

<sup>15</sup>). Jan INGENHOUSZ wurde am 8. 12. 1730 in Breda (Nord-Brabant) geboren. Er studierte an den Universitäten zu Löwen und Leyden Medizin und befaßte sich als praktischer Arzt mit der Pockenimpfung, widmete sich aber vor allem pflanzenphysiologischen Untersuchungen und veröffentlichte 1779 sein klassisches Werk: „Experiments upon vegetables“, in dem er seine grundlegenden Erkenntnisse über Gaswechsel und Ernährung der grünen Pflanze mitteilte. INGENHOUSZ, der als der eigentliche Entdecker der Photosynthese angesehen werden kann, starb am 7. September 1799 in Bowood Park bei London. Zur weiteren Information sei auf die Schrift von H. S. REED: „Jan INGENHOUSZ, plant physiologist. With a history of the discovery of photosynthesis“, Chronica Botanica, Bd. 11, Nr. 5/6, 1949, verwiesen, die auch einen Nachdruck seines Hauptwerkes enthält.

Jean SENEBIER wurde am 6. Mai 1742 in Genf geboren, wo er zunächst als Prediger, später als städtischer Oberbibliothekar tätig war. Die Ergebnisse seiner pflanzenphysiologischen Untersuchungen veröffentlichte er in seiner „Physiologie végétale“ (1800) und dem „Rapport de l'air atmosphérique avec les êtres organisés“. Er erweiterte die Erkenntnisse INGENHOUSZ's über die Kohlensäureassimilation und vertrat die Ansicht, daß die Aschenbestandteile der Pflanzensubstanz aus dem Boden aufgenommen werden und im pflanzlichen Stoffwechsel eine Rolle spielen. SENEBIER starb am 22. Juli 1809 in seiner Vaterstadt Genf.

Nicolaus Theodor de SAUSSURE erblickte das Licht der Welt am 14. Oktober 1767 ebenfalls in Genf. Im Gegensatz zu den vorgenannten Gelehrten studierte er — selbst Sohn eines bekannten Naturforschers — Naturwissenschaften. In seinem 1804 erschienenen Hauptwerk „Recherches chimiques sur la végétation“, das bereits im folgenden Jahr ins Deutsche übersetzt wurde und in „Ostwalds Klassikern der exakten Naturwissenschaften“ eine Neuauflage erlebte, teilte de SAUSSURE die Ergebnisse seiner quantitativen Untersuchungen des pflanzlichen Stoffwechsels mit.

Neben der klaren Vorstellung vom Wesen der Photosynthese, die von ihm als Vorgang erkannt wurde, bei dem aus Kohlendioxyd und Wasser unter Abgabe von Sauerstoff organische Substanz synthetisiert wird, enthalten seine chemischen Untersuchungen über die Vegetation grundlegende Gedanken über Aufnahme und Bedeutung der Mineralstoffe. Nach de SAUSSURE werden die in der Pflanzensubstanz vorkommenden anorganischen Stoffe von den Wurzeln aus dem Boden aufgenommen und sind für die normale Entwicklung der Pflanzen notwendig. Der große Schweizer Forscher starb am 18. April 1845 in Genf.

Es gehört zu den Kuriositäten der Wissenschaftsgeschichte und zeigt den großen Einfluß, der durch spekulative philosophische — in diesem Falle vitalistische — Vorstellungen auch im Bereich der Naturwissenschaften ausgeübt werden kann, daß trotz der Leistungen der drei erwähnten Männer noch etwa 35 Jahre nach dem Erscheinen des Werkes von de SAUSSURE als sogenannte „Humustheorie“ völlig abwegige Vorstellungen über die Ernährung der Pflanzen vertreten werden konnten, die sich vor allem in der praktischen Landwirtschaft großen Ansehens erfreuten.

Diese vitalistische Lehre wurde insbesondere von dem Physiker I. H. HASSENFRATZ, den Naturphilosophen TREVIRANUS und KIESER, aber auch von Albrecht THAER und Johann BURGER, zwei Medizinern, die sich um die praktische Landwirtschaft in Deutschland und Österreich große Verdienste erworben haben, vertreten. Sie behauptete, daß der Humus die eigentliche Nahrung der Pflanzen darstelle, aus der diese Organismen auch ihren Kohlenstoffbedarf deckten. Die Mineralstoffe des Bodens sollten dagegen für die Pflanzen bedeutungslos sein, da „die in den Getreidearten enthaltenen erdigen und metallischen Bestandteile nicht als solche, wie man sie darin findet, eintreten, sondern durch die Lebenskraft und durch die Wirkung der Organe der Vegetation darin erzeugt sind.“

Der vorstehende Satz ist einer Abhandlung von Ch. K. SCHRADER u. J. S. NEUMANN entnommen, die diese zur Lösung einer 1800

von der Berliner Akademie der Wissenschaften gestellten Preisaufgabe eingereicht hatten. Die Akademie erkannte der Arbeit den Preis zu, obwohl ihre Ergebnisse, auf einer fehlerhaften Versuchsanstellung beruhend, den bereits vorliegenden Erkenntnissen eines INGENHOUSZ und SENEBIER widersprachen. Auch bedeutende zeitgenössische Chemiker wie BERZELIUS, GAY-LUSSAC und E. MITSCHERLICH vertraten Ansichten, die sich mit denen der Humustheorie mehr oder weniger deckten. Nachdem die richtigen Vorstellungen Carl SPRENGELs in den Kreisen der Praxis wenig Beachtung gefunden hatten, gelang es erst J. v. LIEBIG, die Humustheorie endgültig zu überwinden und durch seine Lehre von der Mineraldüngung die rationelle Landwirtschaft zu begründen (vergl. Anm. <sup>13</sup>).

<sup>16</sup>). Mangel an Bor äußert sich in besonders charakteristischen Krankheitserscheinungen, die bei Zucker- und Futterrüben als „Herz- und Trockenfäule“ bezeichnet werden. Allgemein zeigen sich die Schäden vor allem in den embryonalen Geweben der Vegetationspunkte und Kambien. Bei Kernobst (Äpfeln) treten im Fruchtfleisch verkorkte Zellkomplexe auf, die einen Durchmesser von 1 cm erreichen können. Die Angehörigen bestimmter Pflanzenfamilien, z. B. der Nachtschattengewächse, Kreuzblütler, Hülsenfrüchtler und Gänsefußgewächse sind besonders borbedürftig. Bormangel ruft bei ihnen scharfe Wachstumsdepressionen hervor und setzt die Samenproduktion herab. Bemerkenswert ist, daß die Keimung der Pollenkörner vieler Pflanzen durch Borsäure noch in hohen Verdünnungen stark gefördert oder überhaupt erst ermöglicht wird.

Kupfer findet sich regelmäßig in Pflanzenaschen, allerdings nur in geringen Mengen (0,05—0,1 %). Seine physiologische Bedeutung liegt wahrscheinlich vor allem in seiner Beteiligung am Aufbau der Wirkgruppen bestimmter Fermente (Polyphenoloxydase, Ascorbinsäureoxydase). Die Heidemoorkrankheit oder Weißseuche tritt bei Getreide auf, das auf kupferarmen Heideböden angebaut wird („Urbarmachungskrankheit“) und äußert sich zunächst in der Entwicklung weißer, später vertrocknender Blattspitzen, dann in mangelhafter Rispenbildung und Taubbleiben der Ährchen. Auf solchen kupferarmen Böden erkrankt auch das Weidevieh an Lecksucht, da der tierische Organismus für den Aufbau seiner Fermentgarntur ebenfalls Kupfer benötigt. Durch Düngung der Böden mit Kupfersalzen oder Besprühen der Pflanzen mit schwachen Lösungen von Kupfersulfat kann die Heidemoorkrankheit geheilt und der Ernteertrag beträchtlich gesteigert werden.

Als letztes Beispiel für die Bedeutung der Spuren- oder Mikroelemente sei schließlich das Mangan erwähnt, das ebenfalls regel-

mäßig in der Pflanzenasche, häufig sogar in beachtlichen Mengen, vorkommt. Bei Manganmangel treten chlorotische Erscheinungen auf, d. h. die Bildung des Blattgrüns (Chlorophylls) wird gestört. Schließlich können die vergilbten Blattbezirke verdorren und absterben („Dörrfleckenkrankheit“ des besonders empfindlichen Hafers bei Kultur auf Moorböden). Auch diese Mangelkrankheit läßt sich durch Düngung des Bodens mit Mangansulfat bei gleichzeitiger Veränderung der Bodenreaktion oder durch Spritzen der Pflanzen mit verdünnten Mangansalz-Lösungen beheben.

<sup>17)</sup> Der interessierte Leser sei auf das Werk von D. N. PRJANISCHNIKOW: „Der Stickstoff im Leben der Pflanzen und im Ackerbau der UdSSR“ verwiesen, das 1952 in deutscher Übersetzung im Akademie-Verlag, Berlin erschienen ist. In ihm beschreibt der bedeutende sowjetische Pflanzenphysiologe und Agrikulturchemiker nicht nur die biochemischen Vorgänge in der Pflanze, die von der Aufnahme der Stickstoffverbindungen bis zur Synthese hochmolekularer Substanzen führen, sondern zieht aus diesen pflanzenphysiologischen Erkenntnissen auch höchst bedeutungsvolle Schlüsse für die landwirtschaftliche Praxis.

<sup>18)</sup> Vergl. Th. ROEMER u. F. SCHEFFER: Grundriß des Ackerbaues. Berlin 1950, S. 165.

<sup>19)</sup> Hermann HELLRIEGEL (1831—1895), der in Tharandt Landwirtschaft studiert hatte, war zunächst Leiter der Versuchsstation in Dahme (Mark). Nach der Begründung der Versuchsstation in Bernburg (Anhalt) übernahm er deren Leitung und führte dort gemeinsam mit Hermann WILFAHRT (1853—1904) seine klassischen „Untersuchungen über die Stickstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen“ (Beilage zur Zeitschrift d. Vereins für die Rübenzuckerindustrie d. dtsh. Reiches, 1888) durch, deren erste Ergebnisse von ihm bereits 1886 veröffentlicht worden waren (Über die Beziehungen der Bakterien zu der Stickstoffernährung der Leguminosen, Zeitschr. d. Vereins für die Rübenzuckerindustrie d. dtsh. Reiches, 1886, S. 863).

<sup>20)</sup> Nach PRJANISCHNIKOW (loc. cit. Anm. <sup>17)</sup>, S. 147) wurden im Vorkriegsdeutschland den Feldern nur 22,5 %, in Dänemark nur 10 % der gesamten Stickstoffmenge, die dem Boden jährlich durch die Ernten entzogen wird, in Form von „technischem“, das heißt von der chemischen Industrie erzeugtem Stickstoff wieder zugeführt. Der Rest von 78 % bzw. 90 % entfiel vor allem auf „biologischen“ Stickstoff, der im Stalldünger enthalten ist, außerdem aber durch die Knöllchenbakterien der Leguminosen und die freilebenden Stick-

stoffbinder fixiert wird. Die Menge der abiogenen Stickstoffverbindungen, die dem Boden durch das Regenwasser zugeführt werden, ist im Vergleich zur Quantität des biologischen Stickstoffs gering.

Einer Zusammenstellung von LIPMAN und CONYBEARE (1936), die von dem finnischen Nobelpreisträger VIRTANEN (Atmosphärischer Stickstoff als Aufrechterhalter des Lebens auf der Erde. Angew. Chemie, Bd. 65, 1953, S. 1) diskutiert wird, ist zu entnehmen, daß in den USA die Stickstoffbilanz durchaus negativ ist, was im Laufe der Zeit zu einer bedrohlichen Senkung der Bodenfruchtbarkeit führen muß. Während der Stickstoffgewinn durch symbiontische N-Bindung auf 5,46 Mill., durch nichtsymbiontische N-Bindung auf 4,37 Mill. t Stickstoff jährlich geschätzt wird, betragen die N-Zufuhren durch Stalldünger nur 2,57 Mill. t, durch Mineraldünger gar nur 0,48 Mill. t. Die Gesamtbilanz ergibt einen jährlichen N-Verlust von nicht weniger als 7,21 Mill. t. Auch bei Berücksichtigung der erheblichen Unsicherheiten, denen derartige Schätzungen notwendig unterliegen, ist bemerkenswert, daß in den USA 1936 kaum 3 % des zugeführten Stickstoffs auf industrielle Düngemittel, 60 % (fast 10 Mill. t) dagegen auf mikrobiell gebundenen Stickstoff entfielen.

VIRTANEN hat auf seinem Versuchsgut Joensuu nachweisen können, daß es möglich ist, auch bei intensiver Bewirtschaftung, bei welcher der Schwerpunkt auf der animalischen Produktion liegt, ausschließlich mit wirtschaftseigenem Stickstoffdünger auszukommen, wenn eine geeignete Fruchtfolge mit starkem Leguminosenanbau eingehalten und die Futterpflanzenmasse bereits auf frühen Wachsstumsstadien mit hohem Eiweißgehalt konserviert wird.

<sup>21)</sup>. Mit der Untersuchung der Möglichkeit, die Bodenfruchtbarkeit und die Ernteerträge durch sog. „Bakteriendünger“ zu erhöhen, haben sich insbesondere sowjetische Mikrobiologen und Agrarwissenschaftler intensiv beschäftigt. Von den zahlreichen einschlägigen Veröffentlichungen können an dieser Stelle nur einige wenige genannt werden. Eine populärwissenschaftliche Einführung in den umfangreichen Fragenkomplex der Beziehungen zwischen Boden, Mikroorganismen und höheren Pflanzen gibt das Büchlein von E. N. MISCHUSTIN: „Mikroorganismen und Bodenfruchtbarkeit“ (russ.) Moskau 1956, das auch ein Kapitel über Bakteriendünger enthält und bald in deutscher Übersetzung vorliegen soll. L. I. RUBENTSCHIK verfaßte ein Übersichtsreferat mit dem Titel „Bakteriendünger“ (russ.), das 1956 in der Zeitschrift Mikrobiologija, Bd. 25, S. 231, erschien und zahlreiche Literaturangaben — meistens sowjetischer Autoren — enthält. In ihm werden nacheinander die in der

SU hergestellten Präparate „Azotobakterin“, „Phosphobakterin“, „AMB“, „Nitragin“ und die Wirkung einer Bodenbehandlung mit Silikatbakterien besprochen.

Nitragin ist ein Rhizobien-haltiges Präparat, dessen Anwendung bei Leguminosen zu verstärkter Knöllchenbildung und häufig sehr beachtlicher Ertragssteigerung führt (vergl. z. B. K. I. RUDAKOW: „Das Nitragin“ (russ.). Mikrobiologija, Bd. 20, 1951, dtische Übersetzung in „Blick in die sowj. Landwirtsch., Heft 3, 1952, S. 32). Durch Azotobakterin, das freilebende aerobe Stickstoffbinder enthält, sollen die Pflanzen nicht nur mit Stickstoff, sondern auch mit Wirkstoffen, die das Wachstum fördern, versorgt werden (vergl. N. A. KRASSILNIKOW: Die Rolle der Mikroorganismen bei der Ernährung der Pflanzen (russ.) Uspechi sowr. biol., Bd. 33, 1952. Dtsche. Übers. in: Blick in die sowj. Landw., Heft 3, 1952, S. 1).

Beim Phosphobakterin handelt es sich um einen neueren Bakterien-dünger, bei dessen Anwendung die in ihm enthaltenen Mikroben (*Bac. megaterium* var. *phosphaticus*) die im Boden vorhandenen schwerlöslichen Phosphorverbindungen mobilisieren und den Pflanzen zugänglich machen sollen, wobei sekundär auch die N-Bindung durch freilebende Stickstoffbinder verstärkt werden kann. „AMB“ ist ein Kombinationspräparat, das insbesondere in den nördlichen Gebieten bei sauren Böden, die reich an organischen Substanzen sind (Moorböden) und Bleicherden Anwendung findet, um die Humusstoffe rascher zu mineralisieren und damit den Pflanzen zugänglich zu machen. Durch Beimpfung mit Silikatbakterien sollen die Kaliumvorräte von Feldspäten und anderen Mineralien mobilisiert werden.

Im Februar 1956 fand in Kiew eine Konferenz über Fragen der Bakteriendüngung statt, bei der die theoretischen Grundlagen, die Anwendung und die Herstellung von Bakteriendüngern eingehend diskutiert wurden. Ein kurzer Tagungsbericht wurde in der Zeitschrift „Mikrobiologija“, Bd. 25, 1956, S. 517, veröffentlicht (Dtsch. Übers. in: Sowjetwissenschaft, Naturwiss. Beiträge, 1957, S. 415). Ein Sammelband, in dem die auf der Konferenz gehaltenen Vorträge abgedruckt sind, erschien 1958 in Kiew unter dem Titel: Herstellung und Anwendung von Bakteriendüngern (russ.). An neueren deutschen Arbeiten seien erwähnt: O. A. SCHMIDT: Zur Frage der Impfung mit *Azotobacter* I. u. II. Ztschr. f. Pflanzenern., Düng. u. Bodenk., Bd. 40, 1948, S. 40 u. Bd. 42, 1948, S. 148, W. LESCH: Versuche über den Einfluß der Samenimpfung mit *Azotobacter* auf das Pflanzenwachstum. Ztschr. f. Pflanzenern., Düng. u. Bodenk., Bd. 47, 1950, S. 231. Schließlich sei auf die kurze Mitteilung von A. J. VIR-

TANEN (gemeinsam mit H. LINKOLA): Über die Wirkung der *Azotobacter*-Impfung auf das Wachstum von Erbse und Weizen in sterilen Sandkulturen ohne N-Nahrung. Naturwiss. Bd. 41, 1954, S. 70, hingewiesen.

22). Schon im Jahre 1783 erschien eine Schrift von BERTHOLON unter dem Titel: *De l'électricité des végétaux*, in der die Konstruktion eines Apparates beschrieben wird, der die atmosphärische Elektrizität sammeln und auf die Pflanzen leiten sollte, um dadurch deren Wachstum zu fördern. 1902 berichtete LEMSTRÖM in seinem Buch „Elektrokultur“ über positive Ergebnisse einer entsprechenden Behandlung seiner Versuchspflanzen und BRESLAUER bestätigte 1908 seine Angaben (M. BRESLAUER: Über die Beeinflussung des Pflanzenwachstums durch Elektrizität. Mitt. d. Dtsch. landw. Gesellschaft, Bd. 25, S. 441). Noch 1925 glaubte FRITZSCHE, eine fördernde Wirkung der mit Hilfe seines „Elektrokultivators“ gesammelten atmosphärischen Elektrizität auf Pflanzenentwicklung und Ertrag festgestellt zu haben (C. FRITZSCHE: Versuche mit dem Elektrokultivator. Dtsch. landw. Presse, Bd. 52, S. 489). Überflüssig zu betonen, daß die Hoffnungen all dieser Autoren sich nicht erfüllten und die „Elektrokultur“ in der landwirtschaftlichen Praxis keine Rolle spielt.

23). Methodi POPOFF, der Getreidekörner und Samen anderer Kulturpflanzen in Einsalzlösungen und Lösungen von Salzgemischen (z. B.  $\text{MnSO}_4 + \text{MgSO}_4 + \text{KBr}$ ) einquoll, um das so „stimulierte“ Saatgut dann in Gefäß- und Feldversuchen auf die induzierten Veränderungen des Ertrages zu prüfen, hat seine zahlreichen Arbeiten zu meist in der Zeitschrift „Zellstimulationsforschung“, die indessen ihr Erscheinen bald wieder einstellte, veröffentlicht. In Deutschland arbeiteten vor allem W. GLEISBERG und G. BREDEMANN mit dem Verfahren POPOFFs. Zur näheren Information sei auf den Vortrag von G. GASSNER: Der gegenwärtige Stand der Stimulationsfrage. Ber. Dtsch. Bot. Ges., Bd. 44, 1926 und den zusammenfassenden Bericht von W. GLEISBERG: Die Reiz- und Stimulationsdünger, in: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngerlehre, Hrgb. v. F. HONCAMP, Bd. 2, Berlin 1931, S. 621, verwiesen. In Bulgarien beschäftigt man sich in dem „Methodi POPOFF-Institut für Biologie“ auch heute noch intensiv mit Untersuchungen über Saatgutstimulierung und ihre physiologischen Grundlagen (vergl. z. B. J. D. POPOFF: Die Stimulation vom biochemischen Standpunkt. Biol. Zentralbl., Bd. 77, 1958, S. 104).

<sup>24</sup>). Nachdem bereits J. STOKLASA in der Radioaktivität des natürlichen Kaliums die Ursache für dessen Unentbehrlichkeit im pflanzlichen Stoffwechsel gesehen hatte (Über die Radioaktivität des Kaliums und ihre Bedeutung in der chlorophyllosen und chlorophyllhaltigen Zelle I-III. Biochem. Ztschr., Bd. 108, 1920. Dynamik und Energetik der Kohlensäureassimilation. Die Ernährung der Pflanze, Bd. 25, 1929, S. 97) und über Stimulationswirkungen durch Bestrahlung mit Radiumpräparaten berichtet worden war (loc. cit. 1929), sind insbesondere nach der Entdeckung der künstlichen Radioaktivität, die leicht zugängliche Quellen energiereicher Strahlungen erschloß, zahlreiche Veröffentlichungen über Wachstums- und Ertragsförderung erschienen, die nach Bestrahlung von Samen oder vegetativen Pflanzenteilen beobachtet wurden. Die folgenden Zitate beschränken sich auf einige Beispiele: N. W. TIMOFEEW-RESSOWSKI u. N. A. POPJADKOWA: Über die Radiostimulation der Pflanzen (russ.). Botanitsch. Shurnal, Bd. 41, 1956, S. 1620. A. M. KUSIN: Über die Ausnutzung ionisierender Strahlen in der Landwirtschaft (russ.). Aus: Die Anwendung der Isotope in Technik, Biologie und Landwirtschaft (russ.). Moskau 1955, S. 287. Dtsch. Übers. in: Sowjetwiss., Naturwiss. Beiträge, 1957, Heft 4, S. 364. P. A. WLASSJUK: Wirkung von Kernstrahlen auf Pflanzen. Tagung d. Akad. d. Wiss. d. UdSSR über die friedl. Ausnutzung der Atomenergie 1955. Abt. Biologie, Bd. V, Dtsch. Übers. Akademie-Verlag, Berlin 1957, S. 104. N. SHESHEL: Einfluß natürlicher radioaktiver Stoffe auf den Ertrag landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Ebenda, S. 115.

<sup>25</sup>). Nachdem so namhafte Forscher, die auf dem Gebiet der Wuchsstoffphysiologie bahnbrechend gewirkt hatten, wie CHOLODNY und THIMANN, über Ergebnisse berichtet hatten, die für die Möglichkeit einer Ertragssteigerung durch Behandlung des Saatgutes mit Auxinen sprachen und diese Substanzen auch synthetisch leicht hergestellt werden konnten, hat sich vor allem H. U. AMLONG, der am Greifswalder Botanischen Institut zunächst als Assistent, später als Dozent wirkte, gemeinsam mit seinem jüngeren Kollegen G. NAUNDORF anfangs in Gefäß-, später auch in ausgedehnten Feldversuchen mit dem Verfahren der „Saatguthormonisierung“ beschäftigt. AMLONG und NAUNDORF berichteten zunächst in mehreren Veröffentlichungen über sehr positive Befunde bei Zuckerrüben und anderen Pflanzenarten (Literaturzusammenstellung in dem Nachruf auf H. U. AMLONG von H. BORRISS, Ber. Dtsch. Bot. Ges., Bd. 68a, 1956, S. 200). AMLONG mußte indessen bei der Fortführung der Untersuchungen später selbst erkennen, daß sich die Anfangserfolge

nicht reproduzieren ließen und sorgfältige Nachprüfungen die hochgespannten Erwartungen nicht erfüllten.

<sup>26</sup>). Wenn man auch heute, etwa 10 Jahre nach dem schließlichen Fehlschlag der Hormonisierungsversuche von AMLONG und NAUNDORF, gelegentlich noch Berichte über Erfolge lesen kann (vergl. z. B. A. S. CHACRAVARTI, D. P. SIVASTAVA u. K. L. KHANNA: Anwendung synthetischer Wuchsstoffe zur Ertragssteigerung bei Kulturpflanzen. Die Umschau, Bd. 57, 1957, S. 73), so überwiegen doch die kritischen Stimmen, und Nachprüfungen von verschiedenen Seiten konnten weder die behaupteten Ertragssteigerungen noch die angegebenen Förderungen der Samenkeimung bestätigen (vergl. etwa H. DRAWERT: Beiträge zur Stimulation des Pflanzenwachstums. II. Mitteilung: Der Einfluß von Heteroauxin auf die Samenkeimung. Planta, Bd. 37, 1949, S. 1, und H. SÖDING u. M. WAGNER: Mehrjährige Versuche über die Beeinflussung der Keimung und Entwicklung von *Poa annua* durch Behandlung der Früchte mit Wirkstoffen. Planta 45, 1955, S. 557). In einer anderen Arbeit (Siebenjährige Versuche zur Ertragssteigerung von Möhren durch Samenbehandlung, Planta, Bd. 37, 1949, S. 498) berichten H. SÖDING, H. BÖMEKE u. H. FUNKE außer über negative auch über positive Befunde, die aber niemals bei Feld-, sondern nur bei Gefäßversuchen erhalten werden konnten, bei denen die Pflanzen schattig kultiviert wurden, also für die Praxis ebenfalls ohne Bedeutung sind. In seiner sehr gründlichen Arbeit „A study in connection with the problem of hormonization of seeds“ (Acta Bot. Neerl., Bd. 3, 1954, S. 1) kommt W. KRUYT nach umfangreichen Literaturstudien (247 Titel!) zu dem Schluß, daß bisher die Anwendung von synthetischen Wuchsstoffen noch nicht zu den gewünschten Resultaten geführt hat und — wie wir hinzufügen möchten — in Hinblick auf eine Ertragssteigerung durch Saatguthormonisierung auch nicht führen kann!

<sup>27</sup>). Wie im Text erwähnt, wurden die besten Erfolge bei der Jarowisation von Sommergerste erhalten. In der folgenden Tabelle sind die Ertragsleistungen zusammengestellt, die bei einer Jarowisationsdauer von 13 Tagen von den Gerstensorten „Isaria“ und „Haisa“ in den Jahren 1951, 1952 und 1953 auf dem Greifswalder Versuchsfeld erreicht wurden. Zum Vergleich sind auch die Erträge von unbehandeltem Kontrollsaatgut (Jarowisationsdauer: 0 Tage) angegeben. Bei Sommerweizen (Sorten „Koga“ und „Peko“) wurden bei einer Jarowisationsdauer von 13 Tagen meistens geringe Ertragsdepressio-

| Sorte     | Jarowisations-<br>dauer<br>in Tagen | 1951          |                         | 1952          |                         | 1953          |                         |
|-----------|-------------------------------------|---------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
|           |                                     | Korn<br>dz/ha | Mehr-<br>ertrag<br>in % | Korn<br>dz/ha | Mehr-<br>ertrag<br>in % | Korn<br>dz/ha | Mehr-<br>ertrag<br>in % |
| A. Isaria | 0 (Kontrolle)                       | 29,2          | —                       | 27,6          | —                       | 35,5          | —                       |
|           | 13                                  | 34,4          | + 17,9 %                | 29,5          | + 7,0 %                 | 36,1          | + 1,6 %                 |
| B. Haisa  | 0 (Kontrolle)                       | 30,0          | —                       | 30,3          | —                       | 35,6          | —                       |
|           | 13                                  | 33,2          | + 10,8 %                | 32,9          | + 8,6 %                 | 37,5          | + 5,4 %                 |

nen beobachtet. Hier schien eine noch kürzere Einwirkungszeit (8 Tage) günstiger zu sein. Auch eine Kombination von Jarowisation und Saatguthormonisierung führte nicht zu statistisch gesicherten Ertragssteigerungen.

Bei der Frühjahrssaat von jarowisiertem Wintergetreide sind nur bei Gerste und bei gewissen Weizensorten Erträge zu erwarten, die denen der normalen Herbstsaat einigermaßen entsprechen. Auch bei diesen Getreidearten erhält man jedoch solche Ergebnisse nur in Jahren mit günstigem Witterungsverlauf, in anderen Jahren können empfindliche Ertragsdepressionen eintreten. Jarowisierter Winterroggen erreichte z. B. niemals mehr als 50 Prozent des Kornertrages von gleichzeitig ausgesätem Sommerroggen. Weiteres umfangreiches Zahlenmaterial enthält der (unveröffentlichte) Abschlußbericht zum Forschungsauftrag „Die Wirkung der Jarowisation auf den Ertrag von Getreide, Öl- und Futterpflanzen“, der in den Jahren 1951 bis 1954 in Greifswald bearbeitet wurde. In der Broschüre von H. KURTH: Die Jarowisation landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Wittenberg 1955, finden sich genaue Anweisungen für die technische Durchführung der Jarowisation von Getreide und anderen Nutzpflanzen.

Auch abgesehen von den Möglichkeiten einer praktischen Anwendung mit dem Ziele der Ertragssteigerung hat das Phänomen der „Umstimmung“ einer Pflanze von vegetativer zu generativer Entwicklung durch Behandlung der gequollenen Samen oder der embryonalen Gewebe in den Wachstumszentren durch niedrige Temperaturen zahlreiche Forscher interessiert. Über die Ergebnisse ihrer bisherigen Bemühungen, die Ursachen dieser Erscheinung aufzudecken, unterrichteten die Sammelreferate von G. MELCHERS u. A. LANG:

Die Physiologie der Blütenbildung. Biol. Zentralbl., Bd. 67, 1948, S. 105 und H. BORRISS: Die physiologischen Grundlagen der Jarowisation. Deutsche Landwirtsch. Sondernummer „Jarowisation“ 1952.

<sup>28)</sup> Von A. C. LEOPOLD (Auxins and plant growth. Berkeley u. Los Angeles 1955) wird angegeben, daß allein in den USA jährlich etwa 30 Mill. kg des synthetischen Wuchsstoffes „2,4-D“ (= 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure) produziert werden, die auf 50 Mill. acres (1 acre = 0,4 ha) als Herbicid Anwendung finden. In den drei kanadischen Provinzen Manitoba, Alberta und Saskatchewan wurden 1949 3 Mill. ha mit 2,4-D behandelt. Durch die Vernichtung der Unkräuter sollen dabei Getreidemehrerträge in der Größenordnung von einer Million to erzielt worden sein. Auch wenn diese Zahl zu hoch liegen sollte, ist doch die außerordentliche Bedeutung dieser Wirkstoffe als selektive Unkrautvernichtungsmittel nicht zu übersehen und mit Recht wurde von führenden Wuchsstoff-Forschern in diesem Zusammenhang von einer „chemischen Revolution der Agrikultur“ gesprochen (Vergl. H. BORRISS: Ergebnisse und Probleme der Wuchsstoffforschung. Biologie in der Schule, Bd. 5, 1956, S. 540).

<sup>29)</sup> Schon seit längerer Zeit ist bekannt, daß eine in Japan auftretende Erkrankung der Reispflanzen, die man als „Bakanae“ bezeichnet, durch den Pilz *Gibberella fujikuroi* hervorgerufen wird. Das bemerkenswerte Frühsymptom der Krankheit, die schließlich zum Absterben der Pflanzen führen kann, besteht in einer auffälligen Wachstumsförderung. Nachdem E. KUROSAWA nachgewiesen hatte, daß auch Kulturfiltrate des Pilzes die gleiche Wirkung hervorzurufen vermögen, gelang es vor einigen Jahren, aus diesen Filtraten 3 Wirkstoffe zu gewinnen, die als Gibberellinsäure, Gibberellin A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> bezeichnet wurden. Mit der am leichtesten zugänglichen Gibberellinsäure sind inzwischen viele Untersuchungen durchgeführt worden, bei denen man erstaunliche Ergebnisse erhielt (vergl. P. C. MARTH u. Mitarb.: „Amazing gibberellic acid“, Agric. Research, Bd. 5, 1956, S. 12).

Schon in minimalen Mengen (1/100 bis 1/10 Millionstel Gramm pro Pflanze!) bewirkt diese sehr kompliziert gebaute tetrazyklische Dioxylaktonsäure bei vielen Pflanzenarten eine auffällige Förderung des Sproß-, bisweilen auch des Blattwachstums. Besonders empfindlich reagieren Zwergformen, die man durch Gibberellinsäurebehandlung zu Normalwuchs veranlassen kann. Schwer keimende Samen können durch diesen Wirkstoff zur Entwicklung gebracht werden; zweijährige Pflanzen blühen bereits im ersten Jahr. Gerade die starke

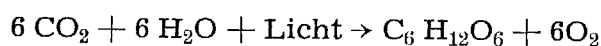
Reaktion der Zwergformen, bei denen die anormale Wuchsform auf der Veränderung eines einzigen Erbfaktors beruht, hat zu der Vermutung geführt, daß die Zwergpflanzen infolge dieser genetischen Veränderung die Fähigkeit verloren hätten, einen für die Normalentwicklung erforderlichen Wirkstoff zu produzieren und daß es sich dabei um Gibberellinsäure oder eine ähnliche Verbindung handeln könnte. Nachdem kürzlich genuine Gibberelline in höheren Pflanzen einwandfrei nachgewiesen werden konnten (J. MAC MILLAN u. P. J. SUTER: The Occurrence of Gibberellin A<sub>1</sub> in higher plants. Naturwiss. 45, 1958, S. 46, u. M. RADLEY: Occurrence of substances similar to Gibberellic-acid in higher plants. Nature, Bd. 178, 1950, S. 1070), gewinnt diese Vermutung erheblich an Wahrscheinlichkeit. Demnach wäre Gibberellinsäure ein Pflanzenhormon von ähnlicher Bedeutung wie das Auxin und die normale pflanzliche Entwicklung ließe sich weitgehend aus dem Synergismus dieser beiden Wirkstoffe bzw. Wirkstoffgruppen verstehen. Die Erwartung, mit der Gibberellinsäure auch ein Stimulans zur Erhöhung der Ernteerträge gefunden zu haben, scheint sich jedoch ebensowenig zu erfüllen wie bei den Auxinen. Eine zeitweise Erhöhung der Trockenmasse wird später durch entsprechend geringeres Wachstum kompensiert, so daß im Endeffekt der Ertrag der Kontrollpflanzen nicht überschritten wird. Zur näheren Information über dieses zur Zeit besonders aktuelle Gebiet der Pflanzenphysiologie sei auf die zusammenfassenden Aufsätze von P. W. BRIAN u. J. F. GROVE: Gibberellinsäure. Endeavour, Bd. 16, 1957, S. 160; B. B. STOWE u. T. YANAKI: The history and physiological action of the gibberellins. Ann. Rev. Plant Physiology, Bd. 8, 1957, S. 181 und S. H. WITTWER u. M. J. BUKOVAC: The effects of gibberellin on economic crops. Economic Botany, Bd. 12, 1958, S. 213 verwiesen. Die Möglichkeiten einer Ertragssteigerung sind neuerdings besonders von J. JUNG u. C. PFAFF: Über Gibberellinsäure. Ztschr. f. Pflanzenern., Düngung u. Bodenkunde, Bd. 81, 1958, S. 133, diskutiert worden.

<sup>30)</sup> Als Beispiele für die mannigfachen Möglichkeiten der mikrobiellen Chemosynthesen seien hier die Reaktionswege angedeutet, die von den nitrifizierenden Bakterien und von den Schwefelbakterien beschritten werden. Nachdem bereits festgestellt worden war, daß die Oxydation des Ammoniaks im Erdboden ein biologischer Prozeß ist, gelang dem russischen Mikrobiologen WINOGRADSKY 1890 die Isolation von zwei Bakterienformen, von denen die eine, *Nitrosomonas europaea*, Ammoniak in Nitrit umwandelt, die andere, *Nitrobacter winogradskyi*, das entstandene Nitrit zu Nitrat weiteroxydiert. Diese Nitrit- und Nitratbakterien gehören ebenso wie die

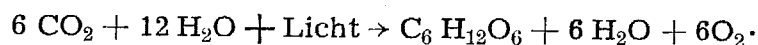
grünen Pflanzen zu den autotrophen Organismen, d. h. sie sind in der Lage, mit Hilfe der bei diesen Oxydationsprozessen gewonnenen Energie Kohlensäure zu reduzieren und organische Substanz aufzubauen. Unsere Kenntnisse über den feineren Ablauf dieser Vorgänge sind auch heute noch so unbefriedigend, daß es berechtigt erscheint, die Nitrifikanten als zwar höchst interessante und wichtige, aber gleichzeitig auch als noch ganz „unverstandene“ Organismen zu bezeichnen (K. V. THIMANN: The life of Bacteria. New York 1955).

Andere Mikroben, welche die für eine Synthese organischer Substanz benötigte Energie aus der Oxydation von Schwefelwasserstoff zu Schwefel bzw. von Schwefel zu Schwefelsäure gewinnen, bewohnen Gewässer, die reich an oxydablen Schwefelverbindungen sind. Auf Grund seiner Untersuchungen an fädigen „Schwefelbakterien“ (*Beggiatoa alba*) konzipierte WINOGRADSKY 1887 den Begriff der chemosynthetischen Autotrophie. Später wurden zahlreiche weitere, teils fädige (*Thiothrix*), teils einzellige (*Thiobacillus*) Schwefelbakterien entdeckt, von denen sich einige durch ungewöhnliche Leistungen auszeichnen. So gedeiht *Thiobacillus thiooxydans* z. B. noch in Lösungen, deren Wasserstoffionenkonzentration der einer 1/10 normalen Schwefelsäure entspricht. Andere Bakterien gewinnen ihre Energie durch die Oxydation von freiem Wasserstoff („Knallgasbakterien“, *Hydrogenomonas*, *Bacillus pycnoticus*). Auch die Eisen- und Manganbakterien gehören wahrscheinlich hierher, obwohl heute noch nicht feststeht, ob sie wirklich auf Kosten der Oxydation von zweiwertigem zu dreiwertigem Eisen bzw. Mangan zur Autotrophie befähigt sind.

<sup>31)</sup> Wie im Text ist es leider aus Raumgründen an dieser Stelle nicht möglich, auch nur die wesentlichsten Erkenntnisse der modernen Photosyntheseforschung zu schildern. Es sei daher hier nur erwähnt, daß die bekannte „Bruttogleichung der Photosynthese“:



eine zunächst unbedeutend erscheinende, aber wesentliche Modifikation erfahren hat. Man schreibt heute:



Die 6 Wassermoleküle, die auf der rechten Gleichungsseite erscheinen, sind nicht identisch mit 6 Wassermolekülen der linken Seite, sondern sind aus 12 Wasserstoffatomen dieser Wassermoleküle und 6 Sauerstoffatomen der Kohlendioxydmoleküle im Zuge des Reaktionsablaufes neu entstanden. Der freiwerdende Assimilationssauerstoff stammt allein aus dem Wasser, das als „Wasserstoffdonator“ zur

Reduktion des Kohlendioxyds dient. Diese Erkenntnis konnte dadurch gewonnen werden, daß man den assimilierenden Pflanzen mit „schwerem Sauerstoff“ ( $O^{18}$ ) markierte Wasser- bzw.  $CO_2$ -Moleküle bot.

Versuche, bei denen man nicht intakte Zellen, sondern isolierte Blattgrünkörperchen (Chloroplasten) belichtete, ergaben, daß die Primärreaktion der Photosynthese, bei der Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt wird, wesentlich in einer Spaltung (Photolyse) des Wassers besteht. Bei dieser Photolyse und den ihr folgenden Reaktionen werden energiereiche Phosphorsäureverbindungen (Adenosintriphosphorsäure = ATP) aufgebaut. Man spricht von „Photosynthetischer Phosphorylierung“ und unterscheidet damit diesen Vorgang von der „Atmungskettenphosphorylierung“, bei der im Zuge des oxydativen Abbaus organischer Substanz ebenfalls ATP synthetisiert wird. Der aus dem Wasser stammende Wasserstoff wird auf ein Coferment übertragen und bewirkt schließlich als TPNH (= Triphosphopyridinnukleotid-H) die Reduktion des Kohlendioxyds. Diese kann jedoch erst erfolgen, wenn das  $CO_2$  von einem Akzeptor gebunden worden ist. Als  $CO_2$ -Akzeptor wurde von M. CALVIN und seinen Mitarbeitern nach langjährigen Bemühungen schließlich ein Zuckerphosphat erkannt (Ribulose-1,5-diphosphat). Nach der Anlagerung von Kohlensäure („Carboxylierung“) wird der entstandene 6-Kohlenstoffkörper unter Mitwirkung eines spezifischen Enzyms (Carboxydismutase) in zwei Moleküle Phosphoglycerinsäure gespalten. Diese Verbindung ist als erstes stabiles Zwischenprodukt der Photosynthese anzusehen. Es wird nun mit Hilfe des photochemisch entstandenen Reduktionssystems TPNH unter Mitwirkung der im ATP gespeicherten Energie zu Triosen reduziert, die zum Teil das endgültige Assimilationsprodukt (Zucker, Stärke) bilden, zum Teil aber in einem zyklischen Prozeß („Calvin-Cyclus“) über mehrere Zwischenstufen (Zucker mit 4, 5 und 7 Kohlenstoffatomen) den  $CO_2$ -Akzeptor Ribulosediphosphat regenerieren.

Die Aufklärung des biochemischen Ablaufes der Photosynthese gelang durch die Verwendung von  $CO_2$ , das statt des normalen Kohlenstoffs  $C^{12}$  das schwerere Isotop  $C^{14}$  („Radiokohlenstoff“) enthielt, wodurch der Weg des Kohlenstoffs im Photosyntheseprozess markiert und mit Hilfe der Radiopapierchromatographie verfolgt werden konnte. Es sei erwähnt, daß nicht alle Forscher die skizzierten Auffassungen CALVINs teilen, die aber in ihren Hauptzügen experimentell gut begründet erscheinen. Weitere Einzelheiten können folgenden zusammenfassenden Darstellungen entnommen werden: A. PIRSON: Der heutige Stand der Photosyntheseforschung. Ber.

Dtsch. Bot. Ges., Bd. 63, 1950, S. 73. M. CALVIN: Der Photosynthese-Cyklus. Angew. Chemie, Bd. 68, 1956, S. 253. W. LAMPRECHT: Die Kohlensäure-Assimilation im Photosynthetischen Cyclus. Naturwiss. Rundschau, Bd. 9, 1956, S. 302. C. P. WITTINGHAM: Die Photosynthese. Endeavour, Bd. 14, 1955, S. 173. K. H. RICHTER: Photosynthese grüner Pflanzen (Neue Brehm-Bücherei) Wittenberg-Lutherstadt, 1958. R. HILL u. C. P. WITTINGHAM: Photosynthesis (Methuens Monographs on biochem. subjects) London 1955.

<sup>32)</sup> Die im Text angegebenen Werte beruhen auf den Berechnungen von H. SCHRÖDER: Die jährliche Gesamtproduktion der grünen Pflanzendecke der Erde. Naturwiss., Bd. 7, 1919, S. 8 und W. NODDACK: Der Kohlenstoff im Haushalt der Natur. Z. angew. Chemie, Bd. 50, 1937, S. 505, für die Leistungen der Landpflanzen, während für die Produktion der Ozeane die Schätzungen von G. A. RILEY: The carbon metabolism and photosynthetic efficiency of the earth as a whole. Amer. Scientist, Bd. 32, 1944, S. 129, zugrunde gelegt sind. Danach würden etwa 90 Prozent der Stoffproduktion auf die See- und Süßwasseralgen und nur 10 Prozent auf die Landpflanzen entfallen. Die mikroskopisch kleinen Organismen des Planktons, in erster Linie die Peridineen und Diatomeen, wären demnach diejenigen Pflanzen, welche den bedeutendsten Beitrag zur Photosynthese und damit zur Stoffproduktion leisten.

Nach den Untersuchungen von E. S. NIELSEN (On organic production in the oceans, J. conseil internat. explor. mer. Bd. 19, 1954, S. 309 und: Production of organic matter in the oceans. J. marine research. Bd. 14, 1955, S. 374), die mit modernster Methodik unter Verwendung von Radiokohlenstoff während der dänischen Galathea-Expedition durchgeführt wurden, müssen die bisherigen Schätzungen, soweit sie sich auf die Produktion der Ozeane beziehen, wahrscheinlich revidiert werden. Die photosynthetische Leistung der Meere dürfte danach in der gleichen Größenordnung liegen wie die der Kontinente. Die Probleme sind bei H. BROWN: „The carbon cycle in nature“ in: Fortschritte der Chemie organischer Naturstoffe, Bd. 14, 1957, S. 317, ausführlich diskutiert.

<sup>33)</sup> Folgende Aufsätze und Schriften seien zur orientierenden Einführung in Wesen und Bedeutung der modernen Pflanzenzüchtung empfohlen: HOFMANN, E. u. BITTERMANN, E.: Die Leistungssteigerung der deutschen Landwirtschaft seit 1800. Die Umschau, Bd. 51, 1951. H. KURTH: Vom Wildgewächs zur Kulturpflanzensorte. Wittenberg 1957. H. KUCKUCK: Von der Wildpflanze zur Kulturpflanze. Berlin 1934. A. MÜNTZING: Die ökonomische Bedeutung und theo-

retische Grundlage der schwedischen Pflanzenzüchtung. Der Züchter, Bd. 20, 1950, R. v. SENGBUSCH: Theorie und Praxis der Pflanzenzüchtung. Frankfurt a. M. 1939. M. SEIFFERT: Die Bedeutung der Züchtung für die Ertragssteigerung im Kartoffelbau in den letzten 5 Jahrzehnten — ein Beitrag zur Methodik der Ermittlung des züchterischen Fortschritts. Der Züchter. Bd. 27, 1957, S. 1.

<sup>34</sup>). In einem von J. S. BURLEW im Rahmen der „Carnegie Publications“ unter dem Titel: „Algal culture from laboratory to pilot plant“ (Washington 1953) herausgegebenen Sammelband berichten die auf dem Gebiet der Massenkultur von Algen führenden Forscher vieler Länder über die physiologischen Grundlagen und die technischen Voraussetzungen der Produktion organischer Substanz durch einzellige Algen. Kürzlich wurde von G. G. WINBERG unter dem Titel: Massenkulturen von einzelligen Algen als neue Nahrungs- und Rohstoffquellen (russ.). Uspechi sowr. biol. Bd. 43, 1957, S. 332, eine weitere Übersicht veröffentlicht. Außer Algen, die aus Kohlensäure im Licht Zucker synthetisieren, aber wie die höheren Pflanzen gebundenen Stickstoff zum Wachstum benötigen, existieren Formen, die in der Lage sind, den molekularen Stickstoff, der in der Atmosphäre in unbegrenzten Mengen zur Verfügung steht, ebenso zu verwerten, wie dies einige Bakterienarten können, die jedoch heterotroph sind. Diese Gruppe der sog. Blaualgen oder Cyanophyten eröffnet natürlich besonders aussichtsreiche Perspektiven. Es liegen bereits einige erfolgreiche Ansätze für die Massenkultur solcher Organismen vor. (Vergl. z. B. M. B. ALLEN u. D. J. ARNON: Studies on nitrogen fixing bluegreen algae. I. Growth and nitrogen fixation by *Anabaena cylindrica*. Plant Phys., Bd. 30, 1955, S. 366, und W. A. KRATZ u. J. MYERS: Nutrition and growth of several blue-green algae. Am. Journ. Bot. Bd. 42, 1954, S. 282.

<sup>35</sup>) Nachdem FINK zunächst auf Grund langfristiger Fütterungsversuche, bei denen wachsende Albinoratten *Scenedesmus obliquus*-Algen erhalten hatten, zu dem Resultat gelangt war, daß dieses Algeneiweiß „in seiner Qualität für die Ernährung dem tierischen Eiweiß bester Qualität mindestens gleichwertig ist“ (H. FINK u. E. HEROLD: Über die biologische Eiweißqualität einzelliger Algen, Naturwiss. Bd. 42, 1955, S. 516), stellte er bei der Untersuchung weiterer Chargen des Algenmaterials weniger günstige Wirkungen fest. (H. FINK u. E. HEROLD: Ein weiterer Beitrag zum biologischen Eiweißwert einzelliger Süßwasseralgen und von jungem Spinat. Naturwiss. Bd. 43, 1956, S. 498). Da der Wachstumstest bei der Prüfung der ersten 12 Chargen der gleiche gewesen war wie bei den

späteren Versuchen, kann die Differenz nach Ansicht der Verf. nur darauf beruhen, daß die Zusammensetzung des Algenmaterials variiert. Sie halten es jedoch für durchaus möglich, durch eine noch bessere Beherrschung der Kulturmethoden zu reproduzierbaren Ergebnissen und damit zu konstant hochwertigem Algenmaterial zu gelangen.

Für die bereits erwähnten Blaualgen (vergl. Anm. <sup>34</sup>) liegen Untersuchungen von J. KOLOUŠEK u. H. ZAZVORKA vor (Nutritive value of amino acids content in blue-green alga *Anabaena cylindrica*, Preslia, Bd. 28, 1957, S. 34). Die Verf. stellten fest, daß hinsichtlich der Aminosäurezusammensetzung ihrer Eiweißhydrolysate *A. cylindrica* den wertvollsten Futterpflanzen gleichkommt (Luzerne, Rotklee).

<sup>36</sup>). Der Hauptgrund für die geringe Energieausbeute (1—2,5 %), die von den landwirtschaftlichen Kulturpflanzen erreicht wird, ist nach WASSINK die relativ hohe Intensität der sommerlichen Strahlung. Bei geringerer Lichtintensität (Bestrahlung mit Leuchtstoffröhren im Laboratorium) wurde mit jungen Zuckerrübenpflanzen eine Ausbeute von 12—19 % erzielt, die damit der bei *Chlorella*-Massenkulturen erreichten von 12—20 % durchaus entsprach. Bei Algenkulturen besteht die Möglichkeit, auch höhere Lichtintensitäten rationeller auszunutzen, indem etwa durch intensives Rühren einer genügend dichten Suspension dafür gesorgt wird, daß die Einzelzelle jeweils nur kurze Zeit der vollen Strahlungsintensität ausgesetzt ist. Näheres bei E. C. WASSINK: De lichtfactor in de photosynthese en zijn relatie tot andere milieufactoren. Mededeel. Dir. Tuinbouw Netherlands, Bd. 11, 1948, S. 503, und E. C. WASSINK, B. KOK u. J. L. P. van OORSCHOT: The efficiency of lightenergy conversion in *Chlorella* cultures as compared with higher plants. In: J. S. Burlew loc. cit. Anm. <sup>34</sup>). Eingehende Betrachtungen über die Bedeutung der Photosynthese für die Ertragsbildung der Kulturpflanzen und die Abhängigkeit der Photosyntheseleistung von inneren und äußeren Faktoren finden sich bei A. A. NITSCHIPOROWITSCH: Die Photosynthese und die Theorie von der Erzielung hoher Ernteerträge (russ.), Moskau 1956.

<sup>37</sup>). Vergl. den ausführlichen Bericht von M. E. MEFFERT und A. STRATMANN: Das Welt-Symposion für angewandte Sonnenenergie in Phoenix und Tucson, Arizona 1955, Naturwiss. Rundschau, Bd. 9, 1956, S. 232. Ein ähnliches Symposion war im Jahre 1953 in Madison von der Universität Wisconsin veranstaltet worden. Die Sammlung

der Vorträge, die unter dem Titel: „Solar energy research“ von F. DANIELS und J. A. DUFFIE herausgegeben wurde (Madison 1955), erschien 1957 in Moskau in russischer Übersetzung. Mit dem gleichen Problemkreis beschäftigte sich auch die „Conference on the sun in the service of man“, die 1951 von der American Academy of arts and sciences veranstaltet wurde. Die Vortragstexte sind in den Proceedings der Akademie, Bd. 79, 1951, S. 185 abgedruckt. Alle genannten Publikationen enthalten Material, das sich auf die von uns erörterten Probleme bezieht.

<sup>38)</sup> J. BONNER u. A. W. GALSTON: Principles of plant physiology, San Francisco 1952, S. 5.

B 9304, a - 8

