

Über den Einfluß der durch den Boden geleiteten elektrischen Energie auf Keimfähigkeit, Triebkraft und Jugendwachstum von *Pisum sativum*

Ein Beitrag zur Frage der Elektro-Kultur

VON ERNST TAMM, Berlin

Einleitung

Mit der Frage, ob es möglich ist, das Pflanzenwachstum durch Elektrizität günstig zu beeinflussen, begann man sich nach SOLLEY¹⁾ seit der Mitte des 18. Jahrhunderts zu beschäftigen. BERTHOLON (1783)²⁾ kann als Begründer dieser Bestrebungen angesehen werden. Nach kurzen Unterbrechungen der Versuchstätigkeit, die stets auf Grund der bei den Nachprüfungen der Versuche erzielten negativen Kontrollergebnisse eintraten, wurden immer wieder von neuem zum Teil sogar überraschend günstige Erfolge mit dieser neuartigen Förderungsmöglichkeit des Pflanzenwachstums der „Elektrokultur“ veröffentlicht. Sie ließen sich aber bei einer Kontrolle, wenn eine solche überhaupt möglich war, meistens nicht aufrechterhalten. Diese fast regelmäßig zu beobachtende Erscheinung der kurz aufeinanderfolgenden erst optimistischen und dann pessimistischen Anschauungen über die Möglichkeit einer Begünstigung des Wachstums durch Elektrizität kann man bei dem Studium der Geschichte der Elektrokultur bis auf den heutigen Tag verfolgen. Der Grund für die sich fast immer widersprechenden schwankenden Ergebnisse und der hieraus zu folgernden Unsicherheit in der Beurteilung der Möglichkeit einer Elektrokultur ist in erster Linie in einer völlig unzureichenden Versuchstechnik selbst zu suchen, deren Ergebnisse außerdem kaum kritisch betrachtet wurden. Hieraus muß leider auch die Tatsache gefolgert werden, daß unsere Kenntnisse der notwendigen elektrophysiologischen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Durchführung der Elektrokultur, sofern überhaupt eine solche möglich ist, noch heutigen Tages äußerst geringe sind.

Bei der überwiegenden Mehrzahl der bisher durchgeführten Untersuchungen wurde sehr häufig mit einer zu geringen Pflanzenzahl gearbeitet und hierbei der Individualität der Pflanze, dem

1) SOLLEY: The Journal of the horticultural Society of London. Vol. I. 1846

2) BERTHOLON: De l'électricité des vegetaux. Paris 1783.

Standort und besonders dem Zufall ein zu großer Spielraum überlassen. Kontrollparzellen waren nur in letzter Zeit von ganz wenigen Autoren vorgesehen worden. Versuche unter Beobachtung der seinerzeit als notwendig erkannten Voraussetzungen einer exakten vergleichenden Versuchsanstellung sind überhaupt nicht ausgeführt worden. Die technische Anlage der Versuche, sowohl der Freiland- wie auch der Gefäßversuche, war in ihrer Ausbildung noch sehr rückständig und unvollkommen. Angaben über die benutzte Stromstärke kann man nur in wenigen Fällen in der Literatur finden, so daß eine Nachprüfung dieser Versuche unter gleichen meßbaren elektrischen Bedingungen meistens nicht möglich ist; eine Nachprüfung unter gleichen elektrophysiologischen Verhältnissen ist zur Zeit überhaupt nicht durchführbar, und der Gedanke hierzu noch nicht ausgesprochen worden. Hierüber wird weiter unten bei der Beschreibung der einzelnen Versuche noch eingehend zu berichten sein. Angaben über die angewandte Stromdichte sind bei nur ganz geringen Ausnahmen überhaupt nicht mitgeteilt worden, so daß die große Zahl der in der Literatur niedergelegten Versuche nicht einmal zahlenmäßig vergleichbar und verwertbar ist.

Die elektrische Energie kann in verschiedener Weise auf die Pflanze zur Einwirkung gebracht werden, und man kann auf Grund der hierbei beobachteten charakteristischen auch betriebstechnisch wichtigen Unterschiede drei Gruppen bilden. Die älteste Methode der Elektrokultur beruht darauf, daß die elektrische Energie in ihren verschiedenen Stromarten den Erdboden zwischen zwei eingesenkten Elektroden durchströmt und daß man die ihrer Einwirkung ausgesetzten Pflanzen — in erster Linie die Wurzeln — zu intensiverem Stoffwechsel anregen will. Diese Versuche gelangten derart zur Ausführung, daß nebeneinanderliegende Beete von meist rechteckiger, langgestreckter Form abgesteckt und an ihren Schmalseiten Elektroden in den Erdboden bis auf 50 cm Tiefe eingegraben wurden. Die Elektroden standen mit den Polen einer Kraftquelle in Verbindung. Sämtliche Beete waren mit der gleichen Pflanzenart bestellt und wurden meistens die ganze Vegetationszeit hindurch behandelt. Seit fast gleicher Zeit sind nach einem zweiten Verfahren — durch Bestrahlung — in sehr viel größerem Ausmaße Versuche zur Begünstigung des Pflanzenwachstums angestellt worden. Die einzelnen Forscher ließen hierbei entweder die atmosphärische Elektrizität auf die Pflanzen einwirken oder ahmten dieselbe durch künstliche Bestrahlung nach. Hierzu wurden Drähte oder Drahtnetze über der zu behandelnden Pflanze in verschiedener

Höhe und verschiedenem Abstand zueinander ausgespannt, die mit abgeleiteter atmosphärischer Elektrizität (z. B. HÖSTERMANN) oder mit hochgespannten Gleich- und Wechselströmen (z. B. GERLACH-ERLWEIN) oder mit Influenzströmen (z. B. LEMSTRÖM) beschickt wurden. Von den Netzen und Drähten strahlt dann die Elektrizität in die Luft aus, ionisiert dieselbe und ein schwacher Strom geht durch die Pflanzen zur Erde. Durch die ausstrahlende Elektrizität soll die Verdunstung und somit der Stoffwechsel der Pflanzen gesteigert werden (GASSNER), weshalb auf die Luft- und Bodenfeuchtigkeit bei diesen Versuchen Bedacht zu nehmen ist und aus diesem Grunde die Behandlung zweckmäßig in den Morgen- und Abendstunden ausgeführt werden soll. Schließlich sind an dieser Stelle noch Versuche zu erwähnen, durch welche eine Behandlung des Saatgutes mit Elektrizität vor der Aussaat und hierdurch eine Förderung des Wachstums durch Stimulation erstrebt wurde. Dieses Verfahren beruht darin, daß man das Saatgut in einen Behälter, der mit einem Elektrolyt beschickt ist, schüttet und der Einwirkung eines durch den Elektrolyten fließenden elektrischen Stromes aussetzt (WOLFRYN-Prozeß). Eigene Versuche nach dieser Behandlungsart, die vom Verfasser ausgeführt worden sind, scheinen Erfolge zu versprechen, bedürfen aber noch der Nachprüfung. Man kann in diesem Falle nicht mehr von eigentlicher Elektrokultur sprechen. Vielmehr fallen diese Versuche in das zur Zeit so heiß umstrittene Gebiet der Stimulation, wobei jedoch der Ausdruck „Stimulation“ für unseren Zweck einer Änderung seiner bisherigen Begriffsbestimmung unterzogen werden muß. An anderer Stelle wird hierauf eingehend zurückzukommen sein.

Die elektrische Energie ist bei diesen praktischen Versuchen je nach der gewählten Einwirkungsmöglichkeit in ihren verschiedenen Stromarten zur Anwendung gebracht worden. Am ältesten sind Versuche, bei denen statische Elektrizität, erzeugt von Influenzmaschinen und galvanische Elektrizität, erzeugt von den in den Boden verlegten Kupfer- und Zinkplatten, oder durch galvanische Elemente, und auch Induktionsströme benutzt wurden. In jüngerer Zeit fanden hauptsächlich Verwendung: Nieder- und hochgespannte Gleichströme, desgleichen Wechselströme verschiedener Frequenz, dunkle Entladungen, Teslaströme, elektrische Wellen, erdmagnetische Ströme, Röntgenstrahlen und radioaktive Substanzen.

Überblickt man die große Zahl der bisher angestellten Versuche und die durch diese gewonnene Erkenntnis der elektrophysio-

logischen Voraussetzungen für eine eventuell mögliche erfolgreiche Durchführung der Elektrokultur, so muß man feststellen, „daß die verwendete Methodik und Kritik bei der Verwertung der Ergebnisse dieser Versuche in außerordentlich vielen Fällen so viel zu wünschen übrig läßt, daß gesicherte Ergebnisse nur wenige gewonnen sind“¹⁾.

Eine ausführliche Zusammenstellung der bemerkenswerteren Literatur über das Gesamtgebiet der Elektrokultur hat erst kürzlich SCHEMINSKY²⁾ gegeben, so daß an dieser Stelle auf eine nochmalige kurze generelle Besprechung derselben verzichtet werden kann und ein Hinweis genügen wird. Über die Arbeiten auf dem Gebiete der reinen Elektro-Physiologie der Pflanzen berichtete neuerdings ebenfalls umfassend STERN³⁾.

Die nachfolgenden eigenen Untersuchungen sollen sich nur mit den Problemen der zuerst angeführten ältesten Gruppe der Elektrokultur beschäftigen: der Förderung des Pflanzenwachstums mittels durch den Erdboden geleiteten elektrischen Stromes, im nachfolgenden kurz die Methode der „Bodendurchströmung“ genannt. Als Ziel dieser Untersuchungen sei kurz folgendes bezeichnet: die Frage der Stromdichte in ihrem Einfluß auf das Pflanzenwachstum bei Verwendung von Gleich- und Wechselströmen zu studieren, sowie unter Benutzung der hierbei erzielten Resultate zur Beantwortung der Frage beizutragen: ist überhaupt eine Förderung des Pflanzenwachstums bei Anwendung der Methode der Bodendurchströmung möglich?

A. Die bisherigen Untersuchungen mit der Methode der Bodendurchströmung

Über die vor dem Jahre 1888 ausgeführten Untersuchungen auf diesem Gebiete berichtet ausführlich WOLLNY⁴⁾. Danach wurden hauptsächlich drei Möglichkeiten der elektrischen Beeinflussung untersucht. Die einfachste Versuchsanordnung besteht darin, daß man an den beiden Enden eines Versuchsstückes eine Kupfer- und Zinkplatte in den Ackerboden einläßt, dieselben oberirdisch mit

¹⁾ STERN: Elektro-Physiologie der Pflanzen. Seite 146.

²⁾ SCHEMINSKY: Über den Einfluß dauernder elektrischer Durchströmung auf Lebewesen (Elektrokultur). Archiv für mikroskopische Anatomie und Entwicklungsmechanik. Band 98. 1923. Seite 315—378.

³⁾ STERN: A. a. O.

⁴⁾ WOLLNY: Elektrische Kulturversuche. Band 11 der Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik 1888 Seite 88—112, und: Über die Anwendung der Elektrizität bei der Pflanzenkultur. 1883. München.

einem isolierten Draht verbindet und zwischen beiden Platten die zu behandelnden Pflanzen wachsen läßt. Es gelangt hierbei ein konstant fließender Gleichstrom zur Anwendung. Die erzeugten Stromstärken sind natürlich äußerst gering und unterliegen dauernd größeren und kleineren Schwankungen, weil ihre Größe nach dem OHMSchen Gesetz von der Feuchtigkeit des Bodens abhängig ist. Genaue Versuchsdaten über die erzielten Stromstärken sind in den einzelnen Berichten nicht niedergelegt, so daß die sich widersprechenden Ergebnisse als wertlos für eine weitere Verwendung angesehen werden müssen.

Es genügt aber nicht nur die Kenntnis der im ganzen gemessenen Stromstärke — der relativen Stromstärke —, vielmehr muß auch die Elektrodenfläche bekannt sein, um die aufgewandte elektrische Energie für die Flächeneinheit — 1 qcm — berechnen und hiermit die absolute Stromstärke oder die angewandte Stromdichte (relative Stromstärke dividiert durch Elektrodenfläche) festlegen zu können. In den nachfolgenden Ausführungen wird stets die Bezeichnung „Stromdichte“ für die absolute Stromstärke pro qcm Anwendung finden. Ist bekannt, welche Stromstärke auf einen qcm der Elektrodenfläche entfällt oder anders ausgedrückt, welche Stromdichte Anwendung fand, so glaubte man bisher, jederzeit in der Lage zu sein, unter gleichen meßbaren elektrischen Bedingungen den Versuch an jeder beliebigen Kontrollstelle wiederholen zu können. Eine besondere Nomenklatur für eine gewisse Einheit der Stromdichte festzulegen und mit diesem willkürlich gewählten, nur Spezialisten sofort verständlichen Begriff lediglich zu operieren, erscheint mir nicht zweckmäßig, deswegen wird bei den nachfolgenden Untersuchungen die Stromdichte in Milli-ampere (MA) pro qcm angegeben werden. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß HERMANN und MATTHIAS¹⁾ vorgeschlagen haben, als Einheit der Stromdichte ein Ampere pro qmm zu wählen — eine Stromdichte, die praktisch niemals erreichbar ist — und diese absolute Stromstärke pro qmm mit Δ zu bezeichnen. SCHEMINSKY²⁾ befürwortet, den millionsten Teil von Δ gleich $1/1000$ MA pro qmm mit δ zu bezeichnen, und nach HERMANN mit 1 „POGGENDORF“, dem ein hervorragender Anteil an der Aufstellung des Begriffes der Stromdichte zukommt, zu benennen.

1) HERMANN und MATTHIAS: Der Galvanotropismus der Larven von *Rana temporaria* und der Fische. PFLUGERS Archiv. Band 57. 1894.

2) SCHEMINSKY: A. a. O. Seite 348.

Nach dieser kurzen Abschweifung, die nötig war im Interesse der definitiven Festlegung des Begriffes der Stromdichte, soll in der Schilderung der bisherigen Untersuchungen fortgefahren werden. Mit der erwähnten einfachsten Art der Bodendurchströmung haben sich beschäftigt: ROSS 1844¹⁾, SHEPPARD 1846²⁾, HELMERT 1859³⁾, FICHTNER und Söhne 1861⁴⁾, HOLDEFLEISS 1884⁵⁾, MÄRKER und BRAUNE 1885⁶⁾ und WOLLNY selbst 1885⁷⁾. Zum Ergebnis aller dieser Versuche, die ohne Ausnahme auf einfachste Weise in der beschriebenen Form und ohne elektrische Kontrolle angestellt sind, daher einwandfreie Resultate in irgendeiner Hinsicht auch nicht gezeitigt haben, äußert sich WOLLNY⁸⁾: „Daß die Elektrizität als galvanischer Strom von verschiedener Stärke durch die Ackererde geleitet im allgemeinen keinen oder einen schädigenden Einfluß auf das Produktionsvermögen der Pflanzen ausgeübt hat.“ Das Urteil WOLLNYS zeugt von scharfer Urteilsfähigkeit und großem Weitblick hinsichtlich der tatsächlichen Verhältnisse, erscheint aber in dieser Fassung immerhin hart, besonders wenn man bedenkt, daß die Ergebnisse der angeführten Versuche zu damaliger Zeit sehr auseinander gehen und Strommessungen nicht ausgeführt worden waren, so daß bei diesen Versuchen die elektrophysiologischen Bedingungen gänzlich verschiedene gewesen sein können.

Eine stärkere Kraftquelle zur Erzeugung des galvanischen Gleichstromes fand sich in der Benutzung von galvanischen Elementen, meistens Meidinger Elementen (EMK ca. 1,3 Volt). Obgleich auch bei diesen Versuchen Messungen der Stromstärke oder besser der Stromdichte nicht vorgenommen worden sind, so ist doch leicht einzusehen daß die angewandte Stromdichte eine größere gewesen sein muß, als bei den natürlichen Kupfer-Zink-Anordnungen, zumal eine beliebig große Zahl von Elementen hintereinander geschaltet werden konnte. Versuche dieser Art wurden ausgeführt von:

1) ROSS: Annales agronomiques. D. VI. Paris 1880. Seite 43.

2) SHEPPARD: Allgemeine Gartenzeitung von OTTO und DIETRICH 1847 Seite 46.

3) HELMERT: Zeitschrift für deutsche Landwirte. 1859. Seite 371.

4) FICHTNER und Söhne: Agronomische Zeitung. 1861. Seite 550.

5) HOLDEFLEISS: Elektrische Kulturversuche. Magdeburger Zeitung 1885 Nr. 207.

6) MÄRKER und BRAUNE: Elektrische Kulturversuche. Magdeburger Zeitung 1885 Nr. 539.

7) WOLLNY: A. a. O. Seite 94—103.

8) WOLLNY: A. a. O. Seite 103.

TSCHINKEL 1882¹⁾, HOLDEFLEISS 1884²⁾, MÄRCKER und BRAUNE 1885³⁾, BRONOLT 1884⁴⁾ und ebenfalls von WOLLNY 1885⁵⁾) Auch die Ergebnisse dieser Versuche, verglichen unter sich und verglichen mit den zuerst angeführten Versuchen stehen zueinander im Gegensatz, teilweise wurden günstige aber auch ebensoviel negative Resultate erzielt.

Schließlich berichtet WOLLNY⁶⁾) noch über Versuchsanordnungen, bei denen Induktionsströme zur Förderung des Wachstums in der besprochenen Anordnung zur Anwendung gelangten. WOLLNY selbst benutzte hierzu einen Induktions-Apparat, der von 3—6 Meidinger Elementen in Tätigkeit gesetzt wurde. Vorher waren Versuche dieser Art von BLONDEAU⁷⁾) schon angestellt worden. Auch diese stehen in ihren Resultaten zueinander im Gegensatz und lassen ein eindeutiges Urteil in irgendeiner Richtung nicht zu.

Von I. FICHTNER und Söhne⁸⁾) waren bereits 1861 Versuche über den zersetzenden Einfluß des elektrischen Stromes auf den Erdboden und die hierdurch erzielte Löslichmachung seiner Nährstoffe veröffentlicht worden, die WOLLNY ebenfalls einer Nachprüfung unterzog. Desgleichen hatte A. TSCHINKEL⁹⁾) auf eine derartige Möglichkeit schon hingewiesen. Um diese Frage einer etwaigen indirekten Wirkung der Elektrokultur, nämlich der chemischen Veränderung des Erdbodens, welche die Bildung von löslichen Pflanzennährstoffen zur Folge hat, zu klären, versuchte er, den Einfluß des elektrischen Stromes auf die Zersetzung der organischen und die Löslichmachung der mineralischen Bestandteile des Bodens zu erfassen und stellte fest, „daß die Zersetzung der organischen Substanzen weder durch einen Induktionsstrom noch durch einen galvanischen Strom von verschiedener Stärke beeinflusst wird“¹⁰⁾). Aus seinen Versuchen über die Löslichmachung der mineralischen Bestandteile leitet er eine Schlußfolgerung nicht ab.

1) TSCHINKEL: Wiener landwirtschaftliche Zeitung. 1882. Nr. 41. Seite 327.

2) HOLDEFLEISS: A. a. O.

3) MÄRCKER und BRAUNE: A. a. O.

4) BRONOLT: Über elektrische Pflanzenkulturversuche. Zeitschrift des landwirtschaftlichen Vereins in Bayern. 1884. Heft 1. Seite 16—18.

5) WOLLNY: A. a. O. Seite 94—103.

6) WOLLNY: A. a. O. Seite 94.

7) BLONDEAU: Comptes rendus D. 65. Seite 304 und 762.

8) FICHTNER und Söhne: A. a. O.

9) TSCHINKEL: A. a. O.

10) WOLLNY: A. a. O. Seite 110.

Aus den seinerzeit insgesamt vorliegenden und den selbst durchgeführten Versuchen mit der Methode der Bodendurchströmung folgert WOLLNY am Schluß seiner Arbeiten zusammenfassend, „daß durch die Erde geleitete Induktions- und galvanische Ströme selbst bei geringer Intensität eher einen nachteiligen als nützlichen Einfluß auf das Produktionsvermögen der Pflanzen ausüben und daß selbst im günstigsten Falle die sogenannte Elektrokultur kaum eine praktische Anwendung finden dürfte, weil der Abstand zwischen den Punkten einer schädlichen und einer etwaigen nützlichen Wirkung so klein zu sein scheint, daß eine Regulierung der Elektrizität in wünschenswerter Weise nicht durchführbar oder doch mit den größten Schwierigkeiten verknüpft ist“¹⁾.

Nimmt man zu diesen Versuchen, die WOLLNY und seine Vorgänger fast sämtlich nach dem gleichen Schema angestellt haben, abschließend kurz Stellung, so ist festzustellen, daß infolge einer unzureichenden Versuchsanstellung und besonders infolge der Unkenntnis der während der Behandlung abgelaufenen elektrischen Vorgänge und ihrer meßbaren Daten sowohl die positiv wie auch negativ ausgefallenen Ergebnisse jener Versuche brauchbaren Wert nicht besitzen. Es hat sich daher erübrigt, auf die einzelnen Versuche bei ihrer Erwähnung näher einzugehen. Doch stehen noch weitere Versuchsergebnisse, auch solche ausländischer Forscher, zur Verfügung.

So führte 1892 LEICESTER²⁾ Versuche über die Einwirkung elektrischer Ströme unter Anwendung der Methode der Bodendurchströmung auf das Wachstum von Samen und Pflanzen aus, indem er sich der bereits beschriebenen natürlichen Kupfer-Zink-Anordnungen als Energiequelle bediente. Er fand, daß in den behandelten Kästen die Pflanzen, namentlich Hanf, besser und schneller wuchsen als in den Kontrollkästen.

In gleicher Richtung arbeitete GIGLIOLI³⁾ in Portici während der Jahre 1894—1900 und glaubte ebenfalls einen günstigen Einfluß der elektrischen Bodendurchströmung auf die Wurzelentwicklung, auf die Tätigkeit der bodenzersetzenden Bakterien und den Zerfall der Bodenbestandteile feststellen zu können. Beide Autoren haben nähere Angaben über die Versuchsanstellung, so besonders über die elektrischen Versuchsbedingungen, nicht mitgeteilt.

¹⁾ WOLLNY: A. a. O. Seite 111—112.

²⁾ LEICESTER: Chemisches Zentralblatt. 1892. Band 1. Nr. 11. Seite 486.

³⁾ GIGLIOLI: Annali Della R. Scuola Sup. di Agricolt. in Portici. 1900.

Im Gegensatz zu diesen günstig ausgefallenen Versuchen konnte BRUTTINI¹⁾ 1889 bei Anwendung von Induktionsströmen wie vorher WOLLNY eine Förderung des Wachstums bei Mais und Bohnen nicht beobachten. Eine Einwirkung der elektrischen Energie zeigte sich bei schwachen Strömen nicht; stärkere dagegen verzögerten oder verhinderten die Keimung überhaupt. Nähere elektrische Daten sind auch hier nicht angegeben.

Kurze Zeit darauf hatte MC. LEOD²⁾ ebenfalls bei Anwendung von Induktionsströmen wieder eine Begünstigung des Pflanzenwachstums erreicht und führte diese auf die bereits des öfteren diskutierte elektrische Zersetzung der Bodenbestandteile zurück.

In den Jahren 1905 und 1908 veröffentlichte R. LÖWENHERZ³⁾ eingehende Versuche über Elektrokultur mit der Methode der Bodendurchströmung, die als erste Anspruch auf Wissenschaftlichkeit und größere Genauigkeit erheben können. Wenn auch seinen Versuchen manche versuchstechnische Mängel wie die Verwendung einer zu geringen Pflanzenzahl, keine ständige sich über die Gesamtzeit der Versuchszeit erstreckende Stromkontrolle und andere von unserem heutigen Standpunkt als unbedingt wichtig zu bezeichnende Nachteile anhaften, so ist es doch für diese Versuche zum erstenmal möglich, auf Grund schriftlicher Angaben, die angewandte Stromdichte berechnen und somit eine Kontrolle der Versuche und ihrer Resultate unter möglichster Beobachtung der gleichen elektrischen Versuchsbedingungen, soweit diese mitgeteilt sind, vornehmen zu können. Aus den Zusammenfassungen seiner beiden Mitteilungen ist nachfolgendes Wesentliche und Neue zu berichten:

LÖWENHERZ benutzte als Versuchspflanze Chevalier-Gerste, die in runden Blumentöpfen wuchs und führte die Elektrizität dem Boden durch Kohlenplatten zu. Als Stromart fand Gleichstrom Anwendung, der in seiner Richtung auf Grund der gewonnenen Erfahrungen regelmäßig umgepolt wurde. Jede Behandlung kam in vierfacher Wiederholung zur Durchführung. Eine Batterie von Chromsäure-Elementen diente als Kraftquelle, deren Spannung

¹⁾ BRUTTINI: Azione dell' elettricità sui vegetali. *Agricoltura italiana* XV Pisa. 1889. Seite 441—475.

²⁾ MC. LEOD: The effect of current electricity upon plant-growhd. *Tr. N Zeal. f.* 1892. XXV. Seite 479.

³⁾ R. LÖWENHERZ: Versuche über Elektrokultur. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten*. Band 15. 1905. Seite 137—151. 205—225 und Band 18. 1908. Seite 336—360.

durchschnittlich 15, später 20 Volt betrug und bei Zurückgehen derselben durch erneutes Auffüllen von Chromsäure wiederhergestellt wurde. Eine konstant fließende, in der Stromstärke gleichbleibende Energiequelle konnte bei dieser Anordnung natürlich nicht erzielt werden. Die durch die einzelnen Gefäße fließende Stromdichte hängt selbstverständlich sehr von der Feuchtigkeit des Leiters — des Bodens — ab. So steigt besonders nach dem Begießen der Töpfe die Stromdichte erheblich. Leider sind die hierdurch hervorgerufenen starken Schwankungen in der Stromdichte während der Versuchsdauer nicht ausgeschaltet worden.

LÖWENHERZ konnte im Laufe seiner Untersuchungen nachweisen, daß die Wirkung der Elektrizität bei Gerste auf die Körner je nach ihrer Lage zur Stromrichtung in hohem Maße verschieden ist. Liegen die Körner rechtwinklig zur Stromrichtung, so vermag die Elektrizität nur einen geringen schädigenden Einfluß auf die Keimfähigkeit auszuüben, während sie unter gleichen Versuchsbedingungen bei paralleler Lage der Körner stark schädigend wirkt. Diese Wirkung wird noch gesteigert, wenn die positive Elektrizität an der Spitze der Körner ein- und an der Basis austritt. Aus dieser Tatsache folgert LÖWENHERZ mit Recht, daß die Elektrizität in erster Linie nicht nur indirekt schädlich wirkt, wie es des öfteren von anderen Autoren behauptet worden ist, dadurch, daß sie durch die Erde fließt und infolgedessen deren Bestandteile elektrolytisch zersetzt und dann diese Zersetzungsprodukte auf die Pflanzen schädlich einwirken, sondern auch direkt, weil sie die zu behandelnden Körner und Pflanzen selbst durchströmt. Im Verlauf seiner Untersuchungen ist es LÖWENHERZ gelungen, diese schädigende Wirkung des Gleichstromes durch ein zweimaliges Umkehren der Stromrichtung in der Minute auszuschalten. Seine zweite Mitteilung aus dem Jahre 1908 beschäftigt sich daher eingehend mit dieser Frage. Nach den dortigen Versuchen ist es ihm sogar geglückt, eine Begünstigung des Wachstums bei Gerste zu erzielen, wobei er jedoch die Frage offen läßt, ob die elektrische Energie als solche oder die durch sie hervorgerufene Erwärmung der Töpfe die günstige Wirkung herbeigeführt hat. Die Stromdichte betrug bei sämtlichen Versuchen der zweiten Mitteilung im Durchschnitt 1 MA pro qcm. Schließlich konnte LÖWENHERZ durch seinen Versuch Nr. 8¹⁾ noch zwei wichtige neue Beobachtungen feststellen. Die Wirkung der Elektrizität kann trotz der gleichen Stromdichte einmal während der einzel-

¹⁾ R. LÖWENHERZ: A. a. O. 1908. Seite 353.

nen Perioden des Wachstums verschieden sein und ist besonders schädlich zu der Zeit, wo die Pflanzen aus der Erde herauskommen.

G. GASSNER¹⁾ diskutierte im Jahre 1907 die Ergebnisse der bisherigen Elektrokulturversuche und gibt einen kurzen Bericht über eigene Kontrolluntersuchungen. Diese lieferten in der Hauptsache eine Bestätigung der von LÖWENHERZ gefundenen Ergebnisse. Am empfindlichsten wirkt der elektrische Strom auf ganz junge Pflanzen ein. Zur Beeinflussung von älteren Pflanzen sind erheblich höhere Stromdichten notwendig. Über die von LÖWENHERZ gefundene Schädigung bei verschiedener Lage der auskeimenden Körner gibt GASSNER folgende Erklärung: Die hierbei auftretenden galvanotropischen Krümmungen der Wurzel stellen in gewisser Beziehung nur einen besonderen Fall der traumatropischen Krümmung dar²⁾. „Die Wirkung des konstanten elektrischen Stromes beruht in einer bisher mit Sicherheit nicht näher zu präzisierenden einseitigen Schädigung der dem positiven Pol zugewendeten Wurzelseite, die bei schwächeren Strömen zu einer traumatotropischen Krümmung — der echten elektropischen Krümmung nach STERN³⁾ — nach der entgegengesetzten Seite (nach der Kathode), bei stärkeren infolge der Abtötung der positiven Wurzelseite zu einer Schädigungskrümmung — der ELFVINGSCHEN Krümmung — nach dem Pluspol führt. Mit der Annahme der polaren Schädigung durch den elektrischen Strom findet die von LÖWENHERZ beobachtete Erscheinung eine sehr ungezwungene Erklärung“⁴⁾. Für Wechselströme deutet GASSNER das Ergebnis seiner Untersuchungen dahin, „daß ein Strom um so unschädlicher ist, je öfter er in der Zeiteinheit seine Richtung wechselt“⁵⁾. Er erweitert hierdurch die Ansichten von LÖWENHERZ. Der von LÖWENHERZ vertretenen Meinung, durch Verwendung von Wechselströmen die schädliche Wirkung der Elektrizität auszuschalten und nur die begünstigende zur Auswirkung kommen zu lassen, vermag sich GASSNER nicht anzuschließen. Er zeigt, daß Wechselströme, sofern der Phasenwechsel pro Minute im Verhältnis zur Stromdichte klein ist, ebenfalls wie Gleichstrom schädigend wirken oder aber, daß sie gar keine Wirkung verursachen.

1) G. GASSNER: Zur Frage der Elektrokultur. Bericht der deutschen botanischen Gesellschaft. 1907. Band 25. Seite 26—38.

2) GASSNER: Der Galvanotropismus der Wurzel. Botanische Zeitung 1906.

3) STERN: A. a. O. Seite 86.

4) GASSNER: Berichte der deutschen botanischen Gesellschaft, Band 25, 1907, Seite 29 und 30.

5) GASSNER: Botanische Zeitung 1906.

SCHEMINSKY¹⁾ hat auf Grund dieser Beobachtungen den Satz aufgestellt: „ Wenn der Quotient : Wechsel pro Minute durch Intensität klein ist, d. h. viele Wechsel auf eine kleine Intensität entfallen, dann bleibt der Strom wirkungslos; ist hingegen die Frequenz niedrig, die Intensität groß, dann treten starke Schädigungen auf.“

In neuester Zeit sind Elektrokulturversuche mit der Methode der Bodendurchströmung, die zur Klarstellung dieses Fragekomplexes beweiskräftiges neues Material beigetragen hätten, nicht mehr angestellt worden. Es wäre höchstens noch auf das seit zwei Jahren propagierte Elektrokulturverfahren nach CHRISTOFLEAU-FRITZSCHE und ähnliche Apparaturen hinzuweisen, die durch ein der Bodendurchströmung verwandtes Verfahren das Pflanzenwachstum günstig beeinflussen wollen. Weil in jüngster Zeit diese Elektrokulturverfahren in der Presse viel von sich reden machten, soll hier ganz kurz darauf näher eingegangen werden. Sie fußen auf einer Konstruktion des Franzosen JUSTIN CHRISTOFLEAU und beruhen in ihrer angeblichen Wirkung auf einen Elektrokultivator, der auf einem 6—8 m hohen Mast befestigt wird. Der Kultivator selbst setzt sich zusammen aus Antennen, die in büschelförmig angeordneten Stahlstäbchen gen Himmel gerichtet sind, zur Aufnahme der atmosphärischen Elektrizität, aus kleinen Thermo-Elementen, welche durch die Einwirkung der Sonne, des Frostes und des Regens in Tätigkeit gesetzt werden, zur Erzeugung von ganz schwachen galvanischen Strömen und schließlich aus einem genau in der Nord-südrichtung justierten Zeiger (der Zeiger muß nach Süden weisen) zur Aufnahme der erdmagnetischen oder tellurischen Ströme.

Zwecks Verstärkung des Magnetismus werden neuerdings an den Seiten des Kultivators Dauermagnete angebracht. Die so gewonnene elektrische Energie wird durch einen vom Mast isoliert geführten Draht in die Erde und von dort bis auf 1000 m mittels des Drahtes durch die Erde weitergeleitet und soll nach beiden Seiten des Drahtes bis auf eine Entfernung von je 3 m, neuerdings 1,5 m, ihre nutzbringende, das Wachstum fördernde strahlende Wirkung ausüben. Es sollen nach Angaben der Erfinder bei Benutzung dieser Elektrokultivatoren bereits große Erfolge erzielt worden sein. Die elektrischen Voraussetzungen für die Wirksamkeit solcher Apparate sind jedoch völlig ungeklärter Natur und stehen den gegenwärtigen physikalischen Anschauungen kontraer gegenüber. Die Erfinder selbst vermögen einleuchtend verständliche Allgemeinangaben nicht darzulegen.

¹⁾ SCHEMINSKY: A. a. O. Seite 322.

Auch über diese Art der Durchführung der Elektrokultur wird die Zeit ihr hartes Urteil sprechen. Nur auf dem Wege exakter Versuche und Bildung einer klaren Vorstellung der bei der Elektrokultur sich abspielenden Vorgänge vermag diese alte Streitfrage ihrer Lösung nähergebracht zu werden. Eine eindeutige klare Stellungnahme seitens der hierzu berufenen wissenschaftlichen Stellen auf Grund einwandfreier Versuche, die nun endlich in Angriff zu nehmen sind, wobei natürlich die notwendigen Mittel zur Beschaffung der benötigten Apparaturen nicht fehlen dürfen — woran ein großer Teil der bisherigen Versuche scheitern mußte —, ist nach all dem vielen Herumreden und Probieren eine gebieterische Notwendigkeit.

B. Physikalische Vorbemerkungen zur Versuchsanstellung, die zur Verfügung stehende Apparatur und die Arbeitsmethoden

Eine exakte Trennung der Einwirkung der elektrischen Energie auf das Pflanzenwachstum in eine direkte und indirekte Wirkung, wie es von SCHEMINSKY¹⁾ gefordert wird, läßt sich zunächst bei einer Versuchsanstellung unter Beobachtung landwirtschaftlicher Verhältnisse für die Methode der Bodendurchströmung mit Sicherheit nicht herbeiführen. Diese Trennung erscheint unseres Erachtens auch für das gesteckte Ziel der Elektrokultur, einer Steigerung des Pflanzenwachstums und somit einer Erhöhung des Ertrages, nicht von allein ausschlaggebender Bedeutung zu sein; denn es ist für den Enderfolg gleichgültig, ob die Ertragssteigerung auf einer direkten oder indirekten Wirkung des elektrischen Stromes beruht. Die aufgeworfene Frage hat zweifelsohne elektrophysiologisch großen wissenschaftlichen Wert. Diese Trennung schon von Beginn der Untersuchung an als maßgebend für die Versuchsanstellung zu betrachten würde bei Anwendung der Methode der Bodendurchströmung außerordentlich große Schwierigkeiten in der Durchführung der Versuche mit landwirtschaftlichen Kulturpflanzen bedingen, im Gegensatz zu gleichgerichteten Arbeiten mit Fischen, wie SCHEMINSKY gezeigt hat. Es spricht aber noch folgende Überlegung gegen eine sofortige derartig scharfe Trennung dieser beiden möglichen Wirkungen. Sollte es gelingen, durch eine alleinige direkte Wirkung der Elektrizität ein günstiges Ergebnis zu erzielen unter Vernachlässigung sämtlicher landwirtschaftlich wichtigen und absolut notwendigen Voraussetzungen, ja sogar unter absichtlicher Ausschaltung sämtlicher etwaiger durch die Einwirkung der Elektrizität auf-

¹⁾ SCHEMINSKY: A. a. O. Seite 347.

tretenden Nebenwirkungen — wie z. B. Wärme, chemische Zersetzungen, Wirkungen der Elektrolysen-Produkte, Bildung giftiger Gase und schädlicher Säuren u. a. — und ferner durch Versuche mit Pflanzen, deren Lebensbedingungen mit denjenigen unserer landwirtschaftlichen Kulturpflanzen grundsätzlich verschiedene sind, z. B. mit Pflanzen, die nur in fließendem Wasser leben können, so besitzen diese Versuche wohl vom elektrophysiologischen Standpunkt große Bedeutung, können aber eine solche für landwirtschaftliche Verhältnisse nicht beanspruchen, weil die Versuchsbedingungen und Voraussetzungen, die für jeden Versuch und dessen Auswertung von ausschlaggebender Bedeutung sind, grundsätzlich verschiedener Natur sind. Auf Grund dieser Überlegung muß immerhin daraufgeachtet werden, sollen die nachfolgenden Untersuchungen auch landwirtschaftlich brauchbaren Wert besitzen, die Versuche möglichst unter Bedingungen anzustellen, wie sie in der praktischen Landwirtschaft vorliegen. Erst in zweiter Linie kann eine Trennung der direkten und indirekten Wirkung des elektrischen Stromes, soweit sie für das Pflanzenwachstum von Bedeutung ist, und im Verlaufe der Versuche auftritt, zur Untersuchung gelangen.

Auf die Bedeutung der Stromdichte und demnach einer genauen Kenntnis derselben durch exakte Strommessung war eingangs schon hingewiesen worden. Es ist aber für eine direkte Beeinflussung des Pflanzenwachstums nicht diejenige Stromdichte maßgebend, welche den Erdboden durchströmt — diese ruft die indirekten sekundären Erscheinungen hervor —, sondern vielmehr diejenige Stromdichte als allein maßgebend anzusehen, welche die behandelten Wurzeln und Samen durchströmt. Auf diese ist der spezifische Widerstand — c — des Bodens und derjenige des behandelten Objektes von maßgeblichem Einfluß, wobei unter dem spezifischen Widerstand eines Leiters der Widerstand in Ohm eines Stückes des Leiters von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt verstanden wird. Da derselbe seiner Länge direkt und seinem Querschnitt umgekehrt proportional ist, hat man für den spezifischen Widerstand c eines Leiters die Gleichung aufgestellt: $c = w \cdot \frac{1}{l}$. Unter gleicher Stromdichte würden sich beide Körper befinden, wenn beide gleichen spezifischen Widerstand besitzen. Dieser Fall ist wohl mit Recht als Ausnahmefall anzusehen. Meistens werden sich Medium und Pflanze hierin unterscheiden, und zwar derart, daß der Pflanze der geringere spezifische Widerstand zukommt, so daß für die Bemessung der wirksamen Stromdichte das KIRCHHOFFSche Gesetz maß-

gebend ist. Dieses besagt, daß in einem guten Leiter sich die Stromlinien zusammendrängen, während sie in einem schlechten nur spärlich vorhanden sind. Befindet sich nun ein Lebewesen in einem Erdboden mit höherem spezifischen Widerstand, so ist die wirksame Stromdichte, unter deren Einwirkung sich dasselbe befindet, eine größere als die gemessene, und diese richtet sich nach dem Verhältnis der spezifischen Widerstände beider Leiter, wie überhaupt die Messungen hinsichtlich ihrer Gültigkeit für die wirksame Stromdichte auf die Pflanze nur relativ zu betrachten sind. Befindet sich dagegen eine Pflanze in einem Medium mit geringerem Widerstand, so tritt der umgekehrte Fall ein.

Da wir den spezifischen Widerstand c der Pflanzensamen und Wurzeln, der von so vielen verschiedenen, wohl kaum meßbaren Faktoren abhängig ist, nicht kennen, und zur Zeit auch nicht messen können, so ist es unbedingt notwendig, um etwas klarer sehen zu können, wenigstens den spezifischen Widerstand des Erdbodens, mit welchem gearbeitet wird, kennen zu lernen und während der Behandlung besonders bei der Änderung der Feuchtigkeitsverhältnisse und Auftreten einer Elektrolyse genau zu kontrollieren, um daraus evtl. gewisse bestehende Verbindungen ableiten zu können. Hierbei ist zu beachten, daß ein Vergleich des Widerstandes verschiedener Gefäße und Versuchsreihen nur durch die Kenntnis des spezifischen Widerstandes möglich ist. Die Kenntnis des Gesamtwiderstandes w genügt hierzu nicht. Da der Widerstand eines Gefäßes bei unseren Versuchen durch Messung mit der WHEATSTONschen Brücke bestimmt wird, kann man für c folgende Gleichung aufstellen $c = w \cdot \frac{q}{l} = \frac{L_a}{L_b} \cdot \frac{R \cdot q}{l}$. In dieser Formel ist der Wert $\frac{R \cdot q}{l}$ jedes Gefäßes während einer Behandlung konstant ($R = 4000$ Ohm, $q =$ Elektrodenfläche in qmm, $l =$ Elektrodenabstand in Meter. $\frac{L_a}{L_b}$ ist variabel. Infolgedessen ist es auch möglich, eine Veränderung des spezifischen Widerstandes jedes Gefäßes an der Größe des Wertes für L_a zu verfolgen. Es besteht somit die Relation: steigt der Wert für L_a , so wird der spezifische Widerstand größer, fällt er, so wird der spezifische Widerstand kleiner.

SCHEMINSKY hat in seinen Arbeiten¹⁾ auf die Bedeutung der Leitfähigkeit des Bodens und des Behandlungsobjektes (Pflanze oder

1) SCHEMINSKY: A. a. O. Seite 349.

Tier) und im Anschluß daran auf die hierdurch veranlaßte Stromlinienverteilung kurz hingewiesen. Vorstehende Ausführungen haben jedoch gezeigt, daß mit diesem Begriff bei Leitern verschiedener Größe und bei der Festlegung elektrischer Eigenschaften zweier Körper zu Vergleichszwecken nicht gearbeitet werden kann. Hierzu ist nur der spezifische Widerstand c verwendbar.

Bei unseren Versuchen sind Gefäße benutzt worden, die, von geringen Abweichungen abgesehen, die gleiche Elektrodenfläche und den gleichen Elektrodenabstand aufweisen. Dadurch, daß für sämtliche Gefäße einer Versuchsreihe außerdem die nach Art und Menge gleiche Beschickung mit Sand und Feuchtigkeit vorgesehen ist, ist ein überschläglicher Vergleich der spezifischen Widerstände zweier Gefäße an Hand der L_a -Kenntnis jedes Gefäßes möglich. Aus diesem Grunde wird in den Tabellen jeder Versuchsreihe, die sich mit dem Verhalten des spezifischen Widerstandes während der Behandlung befassen, zunächst nur mit L_a gearbeitet. Erst in der zusammenfassenden Spalte dieser Tabellen werden die spezifischen Widerstände der einzelnen Gefäße berechnet und zueinander in Vergleich gesetzt. Denn ein Vergleich der Widerstandsverhältnisse verschieden behandelter und dimensionierter Gefäße zweier Versuchsreihen ist, wie bereits erwähnt, nur mit der Angabe des spezifischen Widerstandes möglich. Bei Nachprüfungen von anderer Seite ist die Herstellung gleichen spezifischen Widerstandes der benutzten Gefäße als unbedingt notwendig zu bezeichnen.

Bei den Versuchen muß weiter darauf Gewicht gelegt werden, die Stromlinien innerhalb der Versuchsgefäße gleichmäßig zu verteilen. Zu diesem Zwecke fanden nur rechteckige Gefäße Verwendung. An zwei gegenüberliegenden Seiten wurden Elektroden aus Kohleplatten angebracht, welche die Seitenwände vollständig bedeckten, so daß sich der gesamte Querschnitt des Gefäßes gleichmäßig unter dem Einfluß der Elektrizität befand.

Die nachfolgenden Untersuchungen sollen sich, wie schon eingangs erwähnt wurde, mit der Frage der Stromdichte in ihrem Einfluß auf das Pflanzenwachstum beschäftigen. Hiermit ist natürlich auch ohne weiteres diejenige der Spannung eng verknüpft. Von den verschiedenen Stromarten der Elektrizität sollen zunächst Gleichströme wie Wechselströme verschiedener Spannung und Periodenzahl untersucht werden. Diesen Anforderungen entsprechend mußte eine umfangreiche elektrische Apparatur Aufstellung finden.

Die Untersuchungen wurden mit gütiger Genehmigung und Unterstützung meines verehrten Lehrers und Chefs, Herrn Professors Dr. Orttz im Institut für Acker- und Pflanzenbau der landwirtschaftlichen Hochschule in Berlin-Dahlem, ausgeführt. Es steht hier ein fünfzig-periodischer Drehstrom von 220 Volt Spannung zur Verfügung, der von den Berliner Vororts-Elektrizitätswerken in Berlin-Steglitz geliefert wird. Nachfolgend soll kurz die elektrische Ausrüstung und Leitungsführung beschrieben werden.

Der vom Werk gelieferte Strom wird nach Passieren eines Hauptschalters zunächst zum Antrieb eines 3 PS und eines 1 PS starken Drehstrommotors und ferner mit 2 Phasen als Wechselstrom von 220 Volt Spannung verwendet. Zur Stromkontrolle sind in der Wechselstromleitung, welche in einer Kraftsteckdose am Strom-Abnehmer-Schaltbrett endet, ein Voltmeter 0—250 V und ein Amperemeter 0—25 A vorgesehen. Der Drehstrommotor treibt durch Riemenantrieb einen Gleichstrom-Nebenschlußgenerator mit Nebenschlußregler für Selbsterregung, gebaut von den Siemens-Schuckert-Werken¹⁾. Die Höchstleistung des Generators beträgt bei 220 Volt 5 Ampere. Der erzeugte Gleichstrom, zu dessen Kontrolle ebenfalls ein Voltmeter 0—250 V und ein Amperemeter 0—5 A vorgesehen sind, teilt sich in zwei Stromkreise. Nach Einschalten eines Vorschalters und des betreffenden Nebenschalters führt die eine Leitung direkt zur Verbrauchersteckdose. Die zweite Leitung dient zur Stromzuführung an einen Gleichstrom-Wechselstrom-Umformer von 220 V Gleichstrom auf 70 V und 2—3 A Wechselstrom. Zwecks einer genauen Strommessung sind auch hier ebenfalls ein Voltmeter 0—80 V sowie ein Amperemeter 0—3 A vorgesehen. Schließlich ist zur Erzeugung eines Gleichstromes von 40 V Spannung ein Umformer-Aggregat von Drehstrom 220 V auf Gleichstrom 40 V und ca. 5 A mit Nebenschlußregler eingebaut. Auch hier ermöglichen ein Voltmeter 0—50 V und ein Amperemeter 0—3 A eine genaue Strommessung. Sämtliche Stromkreise endigen in Steckdosen auf einem Strom-Abnehmer-Schaltbrett, von wo die jeweilig benötigte Stromart abgenommen und an die Versuchsgefäße weitergeleitet werden kann. Außer den fest montierten Meßinstrumenten sind je ein empfindliches Präzisionsamperemeter für Gleichstrom und

¹⁾ Dieser Generator sowie mehrere Meßinstrumente sind von den Siemens-Schuckert-Werken in zuvorkommender Weise zur Verfügung gestellt worden, wofür auch an dieser Stelle vielmals gedankt sei. Für die Beschaffung der übrigen benötigten Meßinstrumente und Maschinen bin ich meinem Vater zu großem Dank verpflichtet.

Wechselstrom vorhanden, die erlauben, Stromstärken bis zu 0,0001 A zu messen. Diese Instrumente werden zur Strommessung und Kontrolle der wirksamen Stromdichte der einzelnen Versuchsgefäße verwendet. Es stehen demnach an elektrischen Stromarten zur Verfügung:

1. Gleichstrom 220 Volt und 40 Volt.
2. Wechselstrom 220 Volt und 70 Volt.

Die Versuche wurden in rechteckigen Behältern angestellt. Zu den Vorversuchen waren zunächst behelfsweise Holzkästen und Glasaquarien angewendet worden, die sich aber nicht recht bewährt haben. Die Hauptversuche, welche in dem in der Zwischenzeit neu erbauten Treibhaus des Institutes angestellt werden konnten, wurden in gut glasierten Tonkästen von $30 \times 50 \times 15$ cm lichter Größe, die am Boden zahlreiche Abtropflöcher besitzen, durchgeführt. Von einer Verwendung von Metallgefäßen mußte aus naheliegenden Gründen natürlich abgesehen werden. Um schädliche Nebenwirkungen, indirekte Wirkungen der elektrischen Behandlung, die in einem solchen Gefäß durch die längere Zeit andauernde Behandlung immerhin leicht auftreten können, möglichst zu umgehen, wurde zunächst nicht mit Erdboden gearbeitet, sondern an dessen Stelle gereinigter, gut ausgewaschener und geglühter Hohenbockaer Glassand benutzt. Zur Anfeuchtung der Versuchsgefäße fanden destilliertes Wasser, Leitungswasser und Knopsche Lösung (Wasser = 1000, Calcium nitrat = 1, Magnesium sulfat = 0,25, saures phosphorsaures Calcium = 0,25, Kaliumnitrat = 0,25, Eisenchlorid-Spuren) Verwendung, um den inneren Widerstand der Gefäße zu variieren und zu verringern und somit einen spezifischen Widerstand zu erreichen, der von demjenigen des Ackerbodens nicht allzu weit entfernt ist. Durch genaues Zuwägen der Sand- und Wassermengen sowie durch eine ständige Kontrolle der verdunsteten Feuchtigkeitsmenge und deren Ersatz wurde versucht, in sämtlichen Gefäßen gleiche Feuchtigkeitsverhältnisse während des ganzen Versuchs zu schaffen. Die Tongefäße $30 \times 50 \times 15$ wurden mit 25 000 Gramm Hohenbockaer Glassand und 3600 Gramm Leitungswasser bzw. Knopscher Nährlösung beschickt. Da die Wasserkapazität des Glassandes 25,1 % beträgt, so waren sämtliche Gefäße mit 57,4 % der Wasserkapazität gesättigt. Die Holzkästen erhielten 7000 Gramm Sand und 1000 Gramm Feuchtigkeit bei beabsichtigter gleicher Sättigung der Wasserkapazität (57,8 %). Bei ganz geringen Stromdichten wurde es notwendig, mit destilliertem Wasser zu arbeiten, um die benötigte geringe Stromdichte überhaupt zu erreichen und

inne zu halten. Die Stromzuführung wurde, um in erster Linie bei Gleichstrom eine Zersetzung der Elektroden infolge der Elektrolyse und hierdurch die Bildung pflanzenschädlicher Säuren zu verhindern, durch nebeneinander gestellte und verbundene Kohle-Elektroden aus Retortenkohle von $4,5 \times 14,5$ cm Größe hergestellt. Im Verlauf der Untersuchungen zeigte sich sehr bald, daß sämtliche Parallelgefäße, wenn sich ihre Pflanzen auch unter gleich gemessener Stromdichte befanden, neben gleicher Feuchtigkeit auch gleichen spezifischen Widerstand besitzen müssen. Andernfalls befinden sich die Pflanzen der einzelnen Kontrollgefäße trotz der durch Messung als gleichwertig befundenen und auch wirksamen Stromdichte infolge verschiedener Stromlinienverteilung dennoch unter verschiedenen elektrischen Verhältnissen. Über die Messung des spezifischen Widerstandes wird bei Beginn der betreffenden Versuche selbst näher berichtet werden.

Auf eine ständige Kontrolle der Stromdichte, die infolge verschiedener Ursachen immerhin größeren Schwankungen unterliegt, muß allergrößter Wert gelegt werden. In der Hauptsache werden diese Schwankungen hervorgerufen durch eine Änderung des elektrischen Wertes des Vorschaltwiderstandes und durch die Schwankungen der Feuchtigkeit und der Temperatur des Versuchsgefäßes, die infolge des Wasserverbrauches der Pflanzen und der Wasserverdunstung eine Änderung des inneren Widerstandes und somit des spezifischen Widerstandes der einzelnen Versuchsgefäße bedingen. Bei den Vorversuchen waren zunächst immer je 4 Parallelgefäße zusammen behandelt worden und nur ein Regulierwiderstand (Wasser-Widerstand) und ein Meßschalter vorgesehen. Bald hat sich aber gezeigt, daß es unbedingt nötig ist, jedes Gefäß infolge seiner besonderen elektrischen Eigenschaften für sich zu schalten und zu messen sowie mit einem Vorschalt-Wasser-Widerstand zu versehen, wie es bei den Hauptversuchen auch geschehen ist. Die relative Stromstärke jedes Gefäßes konnte ohne jegliche Leistungsverlegung in einfacher Weise derart gemessen werden, daß in die Haupt-Stromzuführung ein Präzisions-Amperemeter entweder für Gleichstrom- oder auch für Wechselstrommessung geeignet im Maschinenraum eingeschaltet werden konnte. Nach Ausschalten sämtlicher Gefäße ist diese Leitung stromlos. Durch Einschalten jedes einzelnen zu messenden Gefäßes zeigt das Amperemeter die jeweils wirksame relative Stromstärke, durch Einschalten sämtlicher Gefäße die Gesamtstromstärke an. Durch Beobachtung derselben können Schwankungen im Stromverbrauch sofort festgestellt werden.

Die Kontrolle der einzelnen Gefäße fand während der siebenstündlichen täglichen Behandlung regelmäßig alle zwei Stunden statt, so daß die Konstanz der jedem Gefäß zustehenden relativen Stromstärke und damit auch der Stromdichte nach Möglichkeit gewährleistet war. Durch diese Schaltung ist es gelungen, eine ständig umlaufende Betriebskontrolle während des Versuches ohne zeitraubende Unterbrechungen durchzuführen. Eine derartige Stromkontrolle darf nicht verabsäumt werden, da es sonst nicht möglich ist, während der Versuchsdauer die einzelnen Parallelgefäße unter gleichen elektrischen Versuchsbedingungen zu halten und eine einwandfreie Abgrenzung der angewendeten Stromdichten gegeneinander zu erzielen. Schon geringe Schwankungen machen sich sofort im Wachstum bemerkbar und verwischen einmal die Ergebnisse der vier Parallelgefäße untereinander und auch die Ergebnisse der bei einer Staffelung nebeneinander liegenden Stromdichten zueinander. Sollen einwandfreie Resultate erzielt werden, so muß hierauf allergrößtes Gewicht gelegt werden, woran es bei den bisherigen Versuchen ohne Ausnahme gefehlt hat.

Bei den bisher mitgeteilten Versuchen war neben den Aufgangszählungen der Pflanzen höchstens die Bildung der ersten Blättchen zahlenmäßig verwertet worden. Bei den nachfolgenden eigenen Untersuchungen werden außer der genauen Festlegung der Auflaufzahlen (Triebkraft) und der Auflaufgeschwindigkeit auch Messungen der Wurzellänge, der Sproßlänge und der gesamten Pflanzenlänge ausgeführt. Nebenher laufen Aufzeichnungen über die Sproßausbildung bei verhinderter Wurzelbildung, über die Zahl der nicht aufgelaufenen Sprosse und der überhaupt nicht gekeimten Samen. Zu diesem Zwecke mußten die einzelnen Gefäße nach Abbruch des Versuches sofort ausgeschlämmt und die Pflanzen mit Sproß und Wurzel unversehrt gewonnen werden. Es war gleichfalls nötig, die Zahl der nicht gekeimten Samen zu erfassen. Versuche, die mit Gerste, Mais und Roggen, also mit Faserwurzeln angestellt waren, zeigten sofort, daß ein restloses und unverletztes Ausschlämmen der Einzelpflanzen besonders ihrer Wurzel nicht möglich ist, weil die Wurzeln nebeneinander stehender Pflanzen während der Versuchsdauer vollständig ineinander verwachsen waren. Die Faserwurzeln rissen leicht ab und die Resultate der Längenmessung waren daher nicht einwandfrei. Aus diesem Grunde wurden Versuche mit Pfahlwurzeln angestellt und im Verlauf derselben gefunden, daß *Pisum sativum* als geeignet für derartige Versuche anzusprechen ist, besonders auch, weil sie bei unseren Versuchen leicht auf elektrische

Beeinflussung reagierte. Die Wurzel Ausbildung ist charakteristisch und kräftig. Beschädigungen beim Ausschlämmen kommen bei einiger Aufmerksamkeit nicht vor. Die Längenmessung der Wurzeln läßt sich einwandfrei durchführen. Der Sproß wird ebenfalls kräftig ausgebildet; Blätter fangen auch bei Gefäßversuchen bald an sich zu bilden, so daß auch hierbei morphologische Unterschiede und gewichtsmäßige Unterschiede in der Trockensubstanz mit Sicherheit feststellbar sind. Dadurch, daß Sand in den Gefäßen verwandt wurde, konnte ohne Schwierigkeiten nach vorhergehendem vollständigem Unterwassersetzen der Gefäße mit Hilfe eines dünnen Wasserstrahls Pflanze nach Pflanze angeschlämmt werden. Pro Gefäß wurden 50 oder 100 Samen ausgelegt, die vorher auf einer Schüttelmaschine nach STEINECKER, welche von der Glasbläserei des Institutes für Gärungsgewerbe in Berlin gebaut wurde, genau nach Größe aussortiert waren. Zur Saat wurde für die Hauptversuche eigener Nachbau von SCHURIGS kurzer Erbse vom Typus der Frühen Buchsbaum verwandt. Die Messung der Gesamtpflanzen, der Wurzel- und Sproßlängen fand unmittelbar nach dem Ausschlämmen statt. Hierauf wurde der Sproß dicht oberhalb des noch nicht ganz verbrauchten Muttersamens abgeschnitten und Wurzel und Sprosse eines Gefäßes zur Trockensubstanz-Bestimmung in einem elektrisch geheizten Thermostaten ca. 5 Stunden lang bis zur Gewichtskonstanz bei 105° C getrocknet.

Man kann in der Literatur sehr häufig die Ansicht vertreten finden, so auch von LÖWENHERZ, daß die durch die Elektrizität hervorgerufene Erwärmung der Versuchsgefäße, ohne daß genaue Messungen über dieselben vorliegen, eine begünstigende Wirkung auf das Pflanzenwachstum ausübt. Zur Nachprüfung dieser strittigen Frage wurde daher besonderer Wert auf exakte Temperaturmessungen jedes einzelnen Gefäßes gelegt. Die Ablesungen erfolgten täglich vor Beginn und am Ende der Behandlung.

C. Vorversuche

Die Vorversuche laufen seit dem Jahre 1923. Teils aus Mangel an geeigneten Apparaturen, teils auch wegen einer nicht einwandfreien Aufstellungsmöglichkeit einer größeren Zahl von Gefäßen unter gleichen äußeren Bedingungen konnten jedoch diese Versuche nicht in dem gewünschten Maße durchgeführt werden. Sie brachten deshalb auch keine einwandfreien Ergebnisse. Immerhin konnten die Arbeitsmethoden eingehend studiert und entwickelt werden. Im

großen und ganzen boten die Versuchsergebnisse für die Weiterarbeit trotz alledem einen gewissen Anhalt.

Die Frage, die zunächst zur Beantwortung stand, war diejenige, den Einfluß der Stromdichte und durch Staffelung derselben eine Einflußkurve der elektrischen Energie in der Form des Gleichstroms auf das Pflanzenwachstum festzulegen. Da erst seit dem Herbst des Jahres 1925 Versuche mit Pfahlwurzeln — zunächst mit *Vicia sativa* — angestellt worden waren — auf die Vorversuche mit Getreide, die mehr Tastversuche waren, braucht nicht näher eingegangen zu werden — soll aus der Zahl der ausgeführten Versuche einer der zuletzt angestellten Staffelungsversuche mit *Vicia sativa* nachstehend angeführt werden. Zufällig gleichzeitig angesezte Tastversuche mit *Pisum sativum* zeigten jedoch deutlich, daß *Pisum sativum* infolge der bereits geschilderten Eigenschaften als Versuchspflanze geeigneter ist, so daß sie zur Verwendung für die Hauptversuche bestimmt wurde.

Versuch I. (VIII)¹⁾

Dieser Versuch dient zur Feststellung der biologischen Wirksamkeit des Gleichstromes auf Keimfähigkeit, Triebkraft und Jugendentwicklung von *Vicia sativa* mit der Methode der Bodendurchströmung und lief vom 29. 9. bis 13. 10. 1925 bei einer täglichen Behandlungsdauer von 7 Stunden. Er wurde durchgeführt in einem Arbeitsraum des Wirtschaftsgebäudes des Institutes und litt bewußt unter dem Mangel gleicher Licht- und Wärmeverhältnisse für sämtliche Gefäße. Als Versuchsgefäße fanden rechteckige Holzbehälter (30 × 20 × 20 cm) Verwendung, gefüllt mit gewaschenem und geglühtem Glassand; an Feuchtigkeit und Nährstoffen wurden zunächst (29. 9.) 2000 ccm Knopscher Nährlösung, am 1. 10. und 5. 10. je weitere 200 ccm zugegeben. Als Elektroden dienten die bereits beschriebenen Platten aus Retortenkohle. Die zu durchbrechende Erdschicht betrug 3 cm. An Samen waren pro Gefäß 100 Stück ausgelegt. Jede Versuchsreihe war in vierfacher Wiederholung vorgesehen.

Der Gleichstrom besaß eine Spannung von 220 V. Die Stromdichten waren gestaffelt in: 0,5, 0,3, 0,2, 0,1, 0,05, 0,01 und 0,005 MA pro qcm. Die vier Gefäße jeder Reihe besaßen nur einen gemeinsamen Meßschalter und Wasserwiderstand. Die Berechnung der

¹⁾ Die eingeklammerten Zahlen bedeuten die Nummer des Versuches im Protokollbuch.

relativen Stromstärke mußte daher für je vier Gefäße zusammen ausgeführt werden¹⁾. Die Gesamtstromstärke wurde während der Versuchsdauer innegehalten.

Der Elektrodenabstand schwankte für die einzelnen Gefäße zwischen 28,5 bis 29,5 cm. Die Behandlung wurde im Durchschnitt von 9—12 und ½1—½5 Uhr täglich durchgeführt und von 12 bis ½1 Uhr unterbrochen, um während dieser Zeit die Maschine nachzusehen.

Die durchschnittliche tägliche Temperatur stieg, gemessen zu Beginn und Ende der Behandlung, bei:

0,5	MA von	14,6° C	auf	19,5° C	Steigerung =	4,9° C
0,3	„	14,4° C	„	17,9° C	„	= 3,5° C
0,2	„	14,2° C	„	16,1° C	„	= 1,9° C
0,1	„	14,0° C	„	15,3° C	„	= 1,3° C
0,05	„	13,7° C	„	14,4° C	„	= 0,7° C
0,01	„	13,8° C	„	14,7° C	„	= 0,9° C
0,005	„	13,8° C	„	14,9° C	„	= 1,1° C
Unbehandelt		13,7° C	„	14,4° C	„	= 0,7° C

Die Temperaturzunahme der unbehandelten Gefäße erklärt sich aus den Schwankungen der Zimmertemperatur. Berücksichtigt man die Temperaturzunahme der unbehandelten Gefäße infolge der Außeneinflüsse und nimmt diese für sämtliche Gefäße gleich hoch an, so ist die Temperatur der elektrisch behandelten Gefäße gestiegen durch die Einwirkung der Stromdichte:

0,5	MA	um	4,2° C
0,3	„	„	2,8° C
0,2	„	„	1,2° C
0,1	„	„	0,6° C
0,05	„	„	0,0° C
0,01	„	„	0,2° C
0,005	„	„	0,4° C

Es ist hierbei aber noch zu berücksichtigen, daß die durchströmten Gefäße infolge ihrer Temperaturzunahme im Laufe der

¹⁾ Der Originalarbeit sind über die Berechnung der relativen Stromstärke die Gefäßbeschreibung, die Temperaturmessungen, die durchschnittliche tägliche Wasserverdunstung, den spezifischen Widerstand der Gefäße, die Auflaufzahlen (Triebkraft), den Auflauf nach dem Stand zu den Polen, die Pflanzenmessungen und die Trockensubstanzgewichte ausführliche Tabellen beigegeben worden. Infolge der hierdurch außerordentlich erhöhten Druckkosten war es nicht möglich, dieselben der Abhandlung beizufügen. Es war daher notwendig, sich nur auf die Wiedergabe einzelner Beispiels-Tabellen zu beschränken. Interessenten stehen jedoch jederzeit die Original-Tabellen zur Einsichtnahme im Institut für Acker- und Pflanzenbau, Berlin-Dahlem, Albrecht-Thaer-Weg 5. zur Verfügung.

Nacht nicht mehr auf die ursprüngliche Anfangstemperatur zurückgingen, vielmehr immer eine etwas höhere Temperatur als diese besaßen. Den behandelten Pflanzen stand demnach der Wachstumsfaktor Bodenwärme ständig in günstigerem Maße zur Verfügung. Für die abweichenden Temperatursteigerungen der Stromdichten 0,05, 0,01 und 0,005 MA vermag auf Grund der Versuchsprotokolle kein stichhaltiger Grund angegeben werden. Eine Nachprüfung muß hier wie für viele andere Unregelmäßigkeiten in den Ergebnissen Auskunft geben. Es ist möglich, daß Unterschiede in der Stromdichte auf Grund von ursprünglich kleinen Unterschieden oder von später auftretenden Veränderungen des spezifischen Widerstandes einzelner Gefäße, kleine Unterschiede im Elektrodenabstand und andere Ursachen diese verschiedene Erwärmung hervorgerufen haben. Infolge der gemeinsamen Schaltung war eine genaue Kontrolle jedes Gefäßes einer Behandlungsreihe ja nicht möglich. Auch der Standort in dem nicht gleichmäßig temperierten Zimmer wird Einfluß hierauf ausgeübt haben.

ERGEBNIS

Über das zeitliche Auflaufen sowie die Beeinflussung der Triebkraft der Pflanzen bei den einzelnen Behandlungsreihen ist zu bemerken, daß die Stromdichte, sobald sie den Wert von 0,05 MA überschreitet, hemmend auf das Wachstum von *Vicia sativa* unter den mitgeteilten Versuchsbedingungen eingewirkt hat. Die Schädigung nimmt bei einer Steigerung der Stromdichte ebenfalls zu. Die Ergebnisse für die Stromdichten 0,05, 0,01 und 0,005 MA im Verhältnis zu unbehandelt liegen innerhalb der Fehlergrenzen. Die hemmende Wirkung des elektrischen Stromes — in diesem Falle Gleichstrom — beginnt bei den höheren Stromdichten über 0,05 MA mit der Schädigung der Triebkraft, wie dies schon LÖWENHERZ festgestellt hat. Es kommt schließlich zu keinerlei Wurzel- und Sproßausbildung mehr, der Same als solcher wird in seinen normalen Lebensfunktionen gestört und beginnt zu faulen.

Schon während der Behandlung war bei den Stromdichten 0,5, 0,3, 0,2 und 0,1 MA eine deutliche Schädigung in dem Auflaufen, und bei den wenigen aufgelaufenen Pflanzen auch im Wuchs an den Anoden bis zu einem Drittel des Elektrodenabstandes in das Gefäß hinein festzustellen.

Die weitere Verarbeitung der Pflanzen brachte klar zum Ausdruck, daß das Sproßwachstum bei Überschreiten der Stromdichte

von 0,05 MA erheblich gehemmt wird und bei einer weiteren Zunahme der Stromdichte entsprechend in seinem Längenwachstum zurückbleibt. Das gleiche trifft auch für das Wurzelwachstum zu, so daß für die gesamte Pflanzenlänge das gleiche Ergebnis zu verzeichnen ist. Die bei den Stromdichten: 0,05 bis 0,005 MA gewonnenen Durchschnittszahlen liegen in ihren Abweichungen zueinander innerhalb der Fehlergrenzen. Die Zahl derjenigen Pflanzen, die überhaupt nicht mehr in der Lage sind, bei höheren Stromdichten Wurzeln auszubilden, steigt mit 0,1 MA Stromdichte beginnend (12 %) schnell an, so daß bei 0,5 MA bereits 52 % der ausgelegten Samen dazu nicht mehr fähig sind. Auch Triebkraft und Keimfähigkeit werden mit Ansteigen der Stromdichte über 0,05 MA bzw. 0,1 MA erheblich behindert. Das Gesamtbild, welches dieser Versuch bietet, zeigt, daß mit zunehmender Stromdichte zunächst die Triebkraft gemindert und anschließend die Wurzelbildung unterbunden wird. Als nächst höherer Schädigungsgrad ist die Verhinderung des Keimprozesses überhaupt festzustellen. Sämtliche drei Schädigungsmomente treten progressiv mit einem Ansteigen der wirksamen Stromdichte auf. Bei den Gefäß-Einzelergebnissen einer Behandlungsreihe mußte ein starkes Abweichen der Werte manchen Gefäßes von denjenigen der Parallelgefäße beobachtet werden. Die Vermutung, daß hieran Faktoren die Schuld tragen, die bei der Versuchsanstellung nicht berücksichtigt worden sind, hat sich später bestätigt, wie die nachfolgenden Untersuchungen zeigen werden.

Nach der Pflanzen-Längenmessung wurden die Sprosse oberhalb des Muttersamens von den Wurzeln getrennt und beide, wie bereits beschrieben, getrocknet, um das Trockensubstanzgewicht des Einzelsprosses und der Einzelwurzel zu bestimmen.

Es war zu erwarten, daß in Anbetracht der bisherigen Feststellungen mit Zunehmen der Stromdichte auch das Trockensubstanzgewicht des Einzelsprosses infolge der Wachstums-Hemmungen geringer wird. In gleicher Progression, nur in entgegengesetzter Richtung ansteigend, müssen sich die Wurzel-Trockensubstanzgewichte aneinanderreihen. Die gefundenen Werte bestätigen diese Vermutung. Mit Abnahme der Stromdichte erhöht sich das Gewicht der Sprosse und bleibt von 0,05 MA fast unverändert gegenüber unbehandelt. Leider sind die Werte der Parallelgefäße sehr voneinander abweichend, so daß weitergehende Rückschlüsse nicht gezogen werden können. Die aufgetretenen Schwankungen geben einen Anhalt dafür, welche Unterschiede bei Versuchen im Felde auftreten

und welche sich widersprechende Ergebnisse erzielt werden können, sofern der Versuchsansteller über die elektrischen Verhältnisse nicht genauestens unterrichtet ist, woran es bei diesem Versuche auch noch gefehlt hat.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse dieses Versuches zeigt folgende Einwirkungen eines Gleichstromes von 220 V Spannung bei verschiedener Stromdichte auf das Wachstum von *Vicia sativa*:

1. Mit Ansteigen der Stromdichte über 0,1 MA wird die Keimfähigkeit herabgesetzt.
2. Mit Ansteigen der Stromdichte über 0,05 MA werden Auf-
laufgeschwindigkeit und Triebkraft gemindert.
3. Mit Ansteigen der Stromdichte über 0,05 MA wird die Pflanze an einer normalen Wurzelbildung im zunehmenden Maße gehindert. Zahlreiche Samen bilden nur Sprosse, aber keine Wurzeln mehr aus.
4. Sproß und Wurzel und demnach auch die Gesamtpflanze werden mit Ansteigen der Stromdichte über 0,05 MA in ihren Funktionen gestört und in ihrem normalen Längenwachstum gehindert.
5. Je höher die Stromdichte, desto stärker diese Schädigungen.
6. Die durch die Einwirkung der elektrischen Energie nach dem JOULESchen Gesetz eintretende Erwärmung des Bodens hat keine Begünstigung des Wachstums hervorgerufen oder blieb durch die schädigende Stromwirkung verdeckt.
7. Mit der Stromdichte 0,05 MA beginnend und bei geringeren Dichten scheint der Ablauf der Lebensfunktionen unter der Einwirkung des Gleichstromes 220 V nicht mehr auffällig gehemmt zu werden.
8. Die Werte der gefundenen Trockensubstanzgewichte für Sproß und Wurzel zeigen in ihrem Verhältnis zueinander deutlich, daß bei einer Erhöhung der Stromdichte die Lebensprozesse in der Pflanze, besonders während der Keimungsvorgänge und der Jugendentwicklung in entsprechend zunehmender Stärke gehemmt werden. Die Veratmung der Reservestoffe läßt daher erheblich nach, so daß das Gewichtsverhältnis von Sproß zu Samen plus Wurzel mit zunehmender Stromdichte immer größer wird. Das Gesamtgewicht einer Pflanze nimmt bei stufenweiser Senkung der Stromdichte infolge der zunehmenden Lebenstätigkeit und Entwicklung in entsprechender Weise ab.

D. Die Neuanlage der Apparatur im Gewächshaus des Institutes

Nach Fertigstellung des Gewächshauses des neu erbauten Institutes Ende Januar 1926 wurde sofort mit der Einrichtung der Versuchsanlage nebst Leitungen im Gewächshaus und mit dem Umbau der Maschinenanlage nebst Schalttafeln in den angrenzenden Arbeitsraum begonnen. Für sämtliche Gefäße konnte jetzt im Gewächshaus eine feste Zuleitung mit Schaltern und Wasser-Widerständen vorgesehen werden. Das An- und Abschalten der Gefäße, welches durch Lösen zweier Klemmen möglich war, wurde durch diese Anordnung sehr erleichtert und beschleunigt und dadurch erst eine tägliche Gewichts- und damit auch Feuchtigkeitskontrolle ermöglicht, die zur exakten Beobachtung des Wasserverlustes eingeführt werden mußte. Gleiche Lichtintensität und Wärme konnte den Pflanzen der zahlreichen Gefäße zur Verfügung gestellt werden, so daß sämtliche Vorbedingungen für eine einwandfreie Versuchsanstellung durch diese Neuanlage erfüllt waren. Ende März war der Umbau, den ich eigenhändig mit einem geschickten Arbeiter ausführte, so weit beendet, daß mit den Versuchen wieder begonnen werden konnte. Anfang Dezember 1926, als die Intensität des Tageslichtes sehr gering und seine Dauer derart kurz wurde, daß die Behandlung ungefähr zwei Stunden täglich im Dunklen hätte ausgeführt werden müssen, wurde helles künstliches Licht durch Anbringung von vier 500-Watt-Lampen erzeugt und so, wenn auch nur behelfsmäßig, die Möglichkeit geschaffen, die vorgeschriebene Behandlung inne zu halten. Während mancher Tage allerdings mußte die Beleuchtungsanlage den ganzen Tag über in Betrieb gehalten werden. Die Leitungsführungen der beiden Schalttafeln waren wie im Wirtschaftsgebäude mit nur unwesentlichen Abweichungen die gleichen geblieben.

Im Laufe der Untersuchungen, welche eine ständige Verlegung der Leitungen besonders zu den Präzisions-Meßinstrumenten, die, wie bereits erwähnt, nicht fest auf dem Schaltbrett montiert waren, sondern gegenüber auf einem Arbeitstisch standen, bedingten, war schließlich eine solch große Zahl nicht genügend gesicherter Drahtleitungen behelfsmäßig gezogen worden, daß die Anbringung zweier vorschriftsmäßig montierter und unter Berücksichtigung der bis dahin neu gewonnenen Erfahrungen ausgeführter Schalttafeln nebst fest verlegten Zuleitungen zu dem Gewächshaus, zu den Präzisions-Instrumenten und der weiter unten noch anzuführenden WHEATSTONschen Brücke auch im Hinblick auf eine gefahrlose Bedienung eine unerläßliche Notwendigkeit war. Der Abbau der selbst her-

gestellten Schalttafeln und der Einbau zweier Marmortafeln samt den hierzu benötigten Meßinstrumenten, Stromzählern und Schaltern nebst der festen Verlegung sämtlicher Leitungen durch eine Fachfirma wurde unter meiner Aufsicht und nach meinen Angaben im Herbst 1926 ausgeführt. Das Schaltschema blieb im Prinzip dem ursprünglichen gleich. Abbildung 1 zeigt die Ausführung der neuen Schaltanlage.

In der Mitte der Schalttafel 1 sind je ein Gleich- und Wechselstromzähler und zu ihren beiden Seiten für die vier Stromkreise:

Gleichstrom 225 V, 40 V

Wechselstrom 225 V, 70 V

die entsprechende Volt- und Amperemeter zu erkennen. Über die untere Schalterreihe kann man für die einzelnen Stromarten die Verbindung zu den Abnehmersteckdosen auf der Schalttafel 2 (rechts) herstellen, auf welcher außerdem die Anlaß- und Regulierwiderstände für die Maschinen Platz gefunden haben. Die oberste Steckdose steht mit der Stromzuführungsleitung des Mitteltisches im Gewächshaus in Verbindung (vgl. Abbildung 4), die zweite Steckdose mit derjenigen des Seitentisches. Der linke Schalter der obersten Schalterreihe gestattet eine Unterbrechung der Stromführung zu dem Mitteltisch. Der mittlere Schalter ermöglicht eine Verbindung zwischen der Mitteltisch-Leitung und dem Anschluß x der WHEATSTONSchen Brücke; der rechte Schalter stellt die Verbindung zwischen der 40-V-Gleichstrom-Steckdose und dem Batterieanschluß der Meßbrücke her. Die Leitungen zur Meßbrücke gehen erst über die Schalttafel 3 und endigen dort in Steckdosen, von welchen der Strom mittels unverwechselbaren Steckern an die Verbraucherstelle herangeführt werden kann (vgl. Abbildung 2). Die großen Umschalter der Schalttafel 1 unterhalb der Meßinstrumente ermöglichen einmal eine Messung der Stromstärke mit dem auf der gleichen Schalttafel vorgesehenen Amperemeter, welches für größere Stromstärken vorgesehen ist und während einer Behandlung die Gesamtstromstärke sämtlicher Gefäße anzeigen soll, und ferner eine Messung der relativen Stromstärke jedes einzelnen Gefäßes bis zu den kleinsten Stromstärken mit dem Präzisions-Instrument, welches auf dem gegenüberliegenden Arbeitstisch untergebracht und durch Schalttafel 3 erreichbar ist. Es wird hierzu durch Umlegen des Schalters nach unten eine Verbindung mit der Schalttafel 3 hergestellt, die dort in einer Steckdose endet, an welche dann das Meßinstrument durch einen unverwechselbaren Stecker

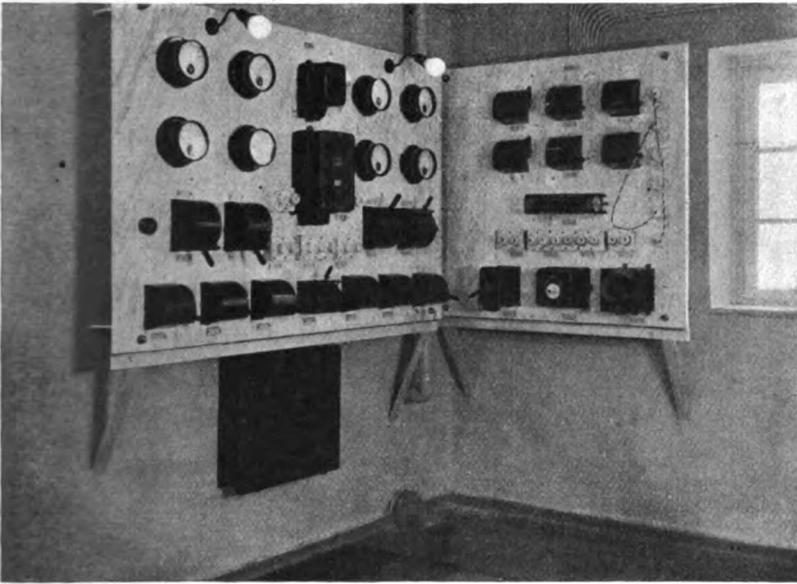


Abb. 1

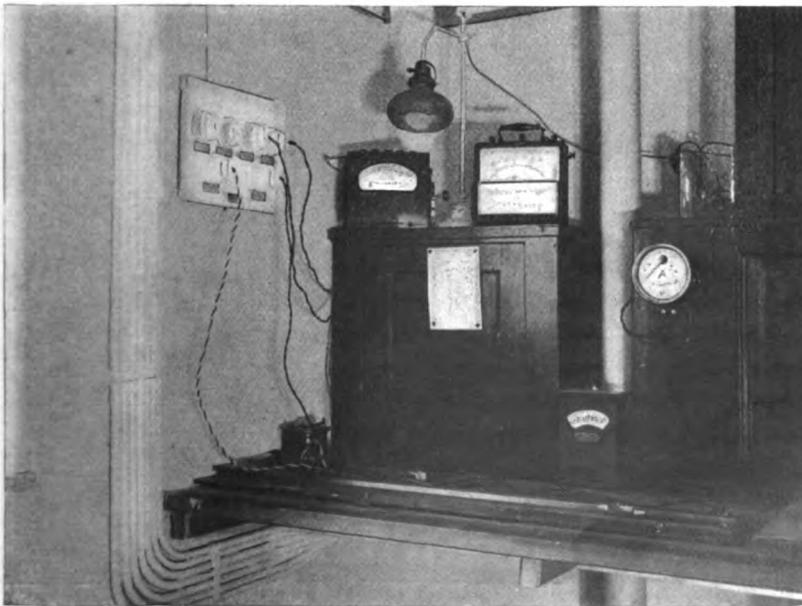


Abb. 2

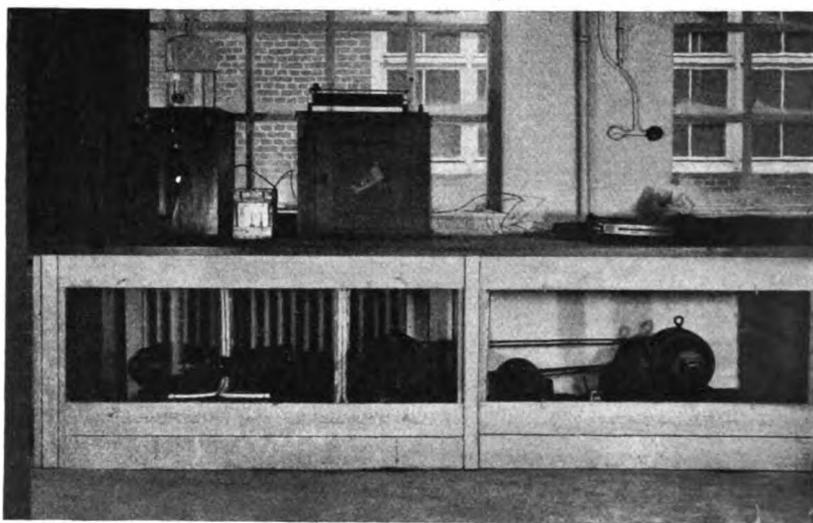


Abb. 3

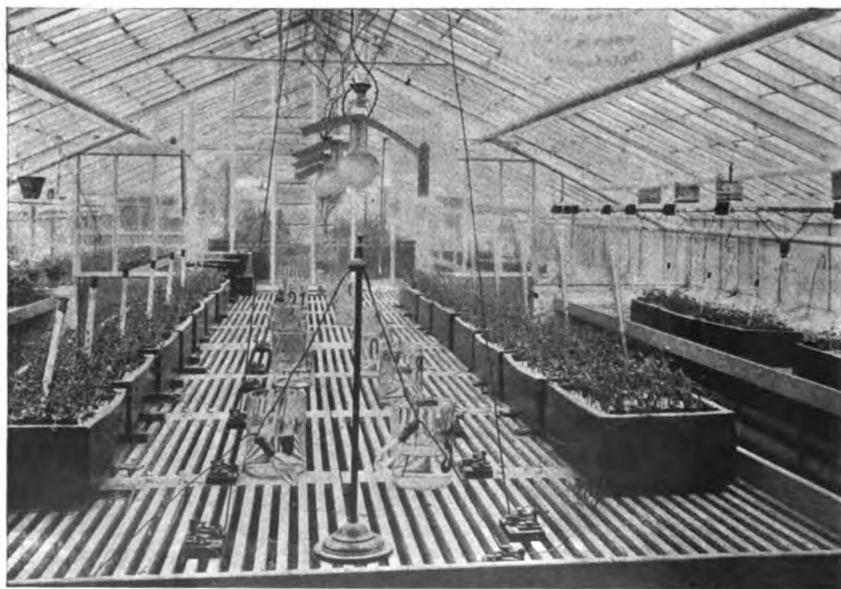


Abb. 4

angeschlossen werden kann. Abb. 2 zeigt die Tafel 3 nebst den Instrumenten, ihren Anschlüssen und der WHEATSTONSchen Brücke.

Die Maschinen wurden zum Schutz gegen Unfälle und Beschädigung unter dem Arbeitstisch in einer Verschalung untergebracht. Links ist der Umformer, Drehstrom 220 V auf Gleichstrom 40 V, in der Mitte der 3-PS-Drehstrommotor, daneben der Umformer-Gleichstrom 220 V auf Wechselstrom 70 V, und rechts die Gleichstrom-Dynamo 220 V, ersichtlich. (Siehe Abbildung 3).

Die elektrische Anlage der Leitungen, Schalter- und Wasser-Widerstände sowie der Beleuchtungsanlage ist für den Mitteltisch auf Abb. 4 ersichtlich. Gleichzeitig sind die Tongefäße mit den Elektroden und ihren Thermometern bei vollem Pflanzenbestand wiedergegeben. Die beiden Lampen im Vordergrund stellen Warntungslampen dar, die aufleuchten, sobald die Anlage unter Strom liegt, was besonders bei Versuchen mit 220 V Wechselstrom sehr notwendig war.

Als neues zu beobachtendes Moment wurde die Kontrolle des spezifischen Widerstandes jedes einzelnen Gefäßes über die ganze Behandlungszeit jedes Versuches in die Reihe der täglichen Aufzeichnungen aufgenommen. Diese Messungen fanden zu Beginn und Ende der siebenstündigen Behandlungszeit statt. Über die Bedeutung und Berechnung des spezifischen Widerstandes ist weiter oben schon berichtet worden. Der Ohmsche Widerstand w eines Gefäßes wurde mit einer WHEATSTONSchen Brücke gemessen. Zu diesem Zwecke konnte eine Verbindung zwischen der Hauptstromzuführungsleitung, an welche die einzelnen Gefäße durch Einschalten ihres zugehörigen Meßschalters anzuschließen waren, und den betreffenden Anschlußklemmen der Brücke hergestellt werden. Als Kraftquelle stand selbsterzeugter Gleichstrom von 40 V zur Verfügung. Die infolge einer Verwendung von Gleichstrom bei Widerstandsmessungen von Leitern II. Klasse auftretenden schädlichen Polarisationserscheinungen mußten leider in Kauf genommen werden, da Versuche mit Wechselstrom in dem geräuschvollen Maschinenraum nicht mit der genügenden Sicherheit auszuführen waren. Zudem lag ja auch nicht die Absicht vor, Präzisionsmessungen durchzuführen, in Anbetracht des großen Widerstandes eines Gefäßes von mehreren 1000 Ohm. Diese Art der Messung hat sich für unsere Zwecke als vollständig ausreichend erwiesen. Als Vergleichswiderstand stand ein Kurbelrheostat von SCHUCHARDT mit einem Meßbereich bis zu 8430 Ohm in Stufen von 10 zu 10 Ohm zur Verfügung. Dieser war ständig auf 4000 Ohm eingestellt, so daß

sich der Wert für L_a ohne weiteres als Indikator für ein Steigen oder Fallen des Widerstandes und somit auch des spezifischen Widerstandes des Gefäßes benutzen läßt.

Für jedes Gefäß wurde vor Beginn der Behandlung eine genaue Messung der Elektroden-Höhe und -Breite, des Elektroden-Abstandes und des Wertes für L_a ausgeführt. Aus diesen Zahlen lassen sich dann die Werte für die wirksame Elektrodenfläche zur Berechnung der benötigten relativen Stromstärke, für die Größe in ccm des der Behandlung unterliegenden Leiters, der Ohmsche Widerstand und der spezifische Widerstand berechnen. Diese sogenannten Personalien jedes Gefäßes wurden für jeden Versuch von nun an genau festgestellt in dem sichtbaren Bemühen, möglichst alle gemessenen und erkannten Größen festzulegen und einer eventuellen Nachprüfung von dritter Seite jedmögliche Erleichterung in der Durchführung des Versuches und in der Schaffung gleicher Verhältnisse zu bieten. Die Versuche, die zunächst durchgeführt wurden, erstreckten sich auf die Untersuchung des Einflusses von Gleichstrom auf Keimfähigkeit, Triebkraft und Jugendwachstum von *Pisum sativum*.

E. Versuche mit Gleichstrom

Versuch II. (IX)

Dieser Versuch soll den Einfluß eines Gleichstromes von 220 V Spannung bei einer wirksamen Stromdichte von 0,4, 0,3, 0,2, 0,1, und 0,05 MA darlegen. Als Vergleichsmaßstab waren unbehandelte Gefäße vorgesehen. Sämtliche Behandlungsarten gelangten in vierfacher Wiederholung zur Aufstellung. Es wurden die bereits beschriebenen Holzkästen von $30 \times 20 \times 12$ cm benutzt, die mit 7000 Gramm ausgewaschenem und geglühtem Hohenbockaer Glas sand beschickt und bei Beginn des Versuches zunächst mit 800 Gramm Leitungswasser (= 45,4 % der Wasserkapazität des Glasesandes) angefeuchtet waren. Im Verlauf der Behandlung mußte allerdings der Wasserzusatz geändert und auf 1000 Gramm = 57,8 % der Wasserkapazität erhöht werden. Pro Gefäß waren 50 Samen ausgelegt. Die Behandlung dauerte täglich mit Ausnahme der Sonntage 7 Stunden, begann am 21. April 1926, 3 Uhr nachmittags und endete am 3. Mai abends. Der Versuch lief demnach 14 Tage. Am 4. Mai wurde er abgebrochen, die Pflanzen wurden ausgewaschen und weiterverarbeitet. Die technischen Voraussetzungen entsprachen den auf den vorhergehenden Seiten beschriebenen Einrichtungen. In der Tabelle 6 sind die einzelnen

Daten der benutzten Gefäße zusammengestellt. Trotz gleichmäßigster und genauester Vorbereitung der Gefäße war es nicht möglich gewesen, für sämtliche Gefäße gleichen spezifischen Widerstand zu schaffen. Der Grund hierfür liegt in der Verwendung von Leitungswasser als Elektrolyt, dessen Widerstand sehr hoch ist. Schon geringe Unterschiede in der Wasserverteilung innerhalb des Sandes machen sich erheblich bemerkbar. Man muß sich zunächst mit diesen Schwankungen abfinden; denn erst bei exaktem Arbeiten und aufmerksamster Wasserverteilung sind diese Werte überhaupt zu erzielen. Andernfalls treten erheblich größere Schwankungen auf (siehe Tabelle 6).

Versuch II

Tabelle 6
Gefäß-Beschreibung

Gefäß Nr.	Elek- troden- höhe cm	Elek- troden- breite cm	Elek- troden- fläche qcm	Elek- troden- ab- stand cm	Elek- trolyt Inhalt in ccm	La	W in Ω	$\frac{R \cdot q}{l}$	Spez. Wider- stand c in Ω
25	8,0	19,0	152,0	28,0	4256	53,5	4602	217.10 ⁶	250.10 ⁶
26	8,0	19,0	152,0	28,2	4286	54,0	4696	216.10 ⁶	254.10 ⁶
31	7,5	18,7	140,3	28,4	3985	56,0	5091	198.10 ⁶	242.10 ⁶
22	8,0	18,8	150,4	30,0	4512	55,5	4989	201.10 ⁶	251.10 ⁶
21	8,0	18,5	148,0	28,5	4218	54,5	4791	208.10 ⁶	249.10 ⁶
29	8,0	19,2	153,6	28,2	4332	52,0	4333	218.10 ⁶	236.10 ⁶
10	9,0	19,0	171,0	28,6	4891	48,0	3692	239.10 ⁶	221.10 ⁶
30	7,5	19,0	142,5	28,1	4004	50,5	4081	203.10 ⁶	207.10 ⁶
27	8,0	19,0	152,0	28,5	4332	48,5	3767	213.10 ⁶	201.10 ⁶
28	8,0	18,5	148,0	28,5	4218	48,5	3767	208.10 ⁶	196.10 ⁶
7	8,0	19,2	153,6	29,5	4531	50,0	4000	208.10 ⁶	208.10 ⁶
6	8,0	19,0	152,0	29,5	4484	48,0	3692	206.10 ⁶	190.10 ⁶
33	8,0	19,0	152,0	30,0	4560	52,0	4333	203.10 ⁶	220.10 ⁶
3	8,0	18,8	150,4	30,2	4542	45,5	3339	199.10 ⁶	166.10 ⁶
32	8,0	19,3	154,4	28,4	4385	47,5	3619	217.10 ⁶	196.10 ⁶
9	8,0	19,0	152,0	28,7	4362	47,0	3547	212.10 ⁶	188.10 ⁶
18	7,5	19,0	142,5	29,0	4132	43,0	3017	197.10 ⁶	149.10 ⁶
1	8,0	18,5	148,0	28,4	4203	47,0	3547	208.10 ⁶	184.10 ⁶
16	8,0	19,7	157,6	28,5	4492	41,5	2838	221.10 ⁶	157.10 ⁶
11	8,0	19,5	156,0	28,5	4446	42,0	2897	219.10 ⁶	159.10 ⁶

Um möglichst nur gleichwertige Gefäße zusammenzustellen, wurden dieselben für die einzelnen Behandlungsarten derart gruppiert, daß für die Behandlung mit höheren Stromdichten auch Gefäße mit geringerem spezifischem Widerstand ausgewählt

wurden. Im Mittel jeder Behandlungsreihe betrug der spezifische Widerstand bei den Gefäßen der Stromdichte:

0,05 MA : c =	251.10 ⁶ Ohm
0,1 MA : c =	228.10 ⁶ Ohm
0,2 MA : c =	197.10 ⁶ Ohm
0,3 MA : c =	199.10 ⁶ Ohm
0,4 MA : c =	158.10 ⁶ Ohm

Auf Grund der wirksamen Elektrodenfläche mußte für die einzelnen Gefäße je nach ihrer Gruppenzugehörigkeit die notwendige relative Stromstärke festgesetzt werden. Zur Stromstärkemessung stand ein Präzisions-Amperemeter, von GANS und GOLDSCHMIDT gefertigt, mit einem vierstufigen Meßbereich von $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{10000}$ Ampere zur Verfügung. Es zeigte immer den halben Wert der gemessenen Stromstärke an; daher mußte der errechnete Wert der relativen Stromstärke noch durch zwei dividiert werden (siehe Tabelle 7).

Im Verlauf des Versuches zeigte sich, daß Stromdichten von 0,2 bis 0,4 MA unter den hier vorliegenden Verhältnissen als sehr hoch

Versuch II

Tabelle 7
Relative Stromstärke

Gefäß Nr.	Elektrodenfläche in qcm	Stromdichte in MA	Relative Stromstärke MA	Einzustellender Ausschlag MA
31	140,3	0,05	7,0	3,5
21	148,0		7,4	3,7
22	150,4		7,5	3,7
20	152,0		7,6	3,8
25	152,0	0,1	15,2	7,6
30	142,5		14,2	7,1
29	153,6		15,4	7,7
33	152,0		15,2	7,6
28	148,0	0,2	29,6	14,8
7	153,6		30,8	15,4
27	152,0		30,4	15,2
1	148,0		29,6	14,8
32	154,4	0,3	46,2	23,1
6	152,0		45,6	22,8
9	152,0		45,6	22,8
10	171,0		51,3	25,6
3	150,4	0,4	60,0	30,0
18	142,5		56,8	28,4
11	156,0		62,4	31,2
16	157,6		63,2	31,6

anzusprechen sind und daß es trotz ständiger Beobachtung und täglichem Ausgleich des Wasserverlustes nicht möglich war, die vorgesehenen Werte inne zu halten. Infolge ständig stärker auftretender Zersetzungs- und Polarisationserscheinungen ging die höchst erreichbare Stromdichte während der Behandlungsdauer zurück. Durch eine zweimalige Erhöhung der Sättigung der Wasserkapazität zunächst auf 900 Gramm = 51,4 % am 30. 4. und Zuführung von Elektrolyten in Form von Knopscher Lösung, dann auf 1000 Gramm pro Gefäß = 57,8 % am 1. 5. wurde versucht, dies zu verhindern. Trotzdem war es nicht möglich, die vorgeschriebene wirksame Stromdichte auf die Dauer zu halten.

Die Temperaturverhältnisse bewegen sich in einer zu erwartenden langsamen, mit der Zunahme der Stromdichte ansteigenden Linie. Die Frühtemperaturen sind im Mittel für alle Gefäße die gleichen. Es ist ferner für die behandelten Gefäße eine schwache Zunahme der Gefäßtemperatur festzustellen, die auf der Einwirkung des Stromes (Joulesche Wärme: $Q = 0,24 i^2 w \cdot t$. Aus dieser Gleichung ist die Abhängigkeit der Erwärmung von der Stromstärke und dem Widerstand des Gefäßes ersichtlich) beruht, aber erst bei einer wirksamen Stromdichte über 0,05 MA auftritt (siehe Tabelle 8).

Infolge der neuen Leitungsführungen war es jetzt möglich geworden, eine tägliche Gewichtskontrolle sämtlicher Gefäße durchzuführen, um den Wasserverlust festzustellen und durch Ersatz desselben die Feuchtigkeit konstant zu halten. Entsprechend der Zunahme der Gefäßtemperatur mußte sich der Wasserverlust der Gefäße unter sonst gleichen Bedingungen erhöhen. Da jedoch der Bestand transpirierender Pflanzen mit der Zunahme der Stromdichte abnimmt, wird die zu erwartende Erhöhung der Wasserverdunstung um das entsprechende Maß gemindert. So ist es zu erklären, daß bei der Behandlungsreihe 0,4 MA trotz einer Temperaturerhöhung von 2,7° C ein langsames Zurückgehen der verdunsteten täglichen Wassermenge beobachtet wurde. Wäre für sämtliche Behandlungsreihen der gleiche Pflanzenbestand zu verzeichnen gewesen, so wäre der Wasserverbrauch entsprechend der Temperatursteigerung der Gefäße erheblich rascher angestiegen. Infolge der Minderung des Pflanzenbestandes wurde aber der Gesamtverbrauch entsprechend herabgesetzt, um bei 0,4 MA in ein Zurückgehen umzuschlagen.

Es war schon bei Vorversuch I und bei den Vorbereitungen zu diesem Versuch erneut darauf hingewiesen worden, daß zur Kenntnis der elektrischen Verhältnisse diejenige des spezifischen Widerstandes des Bodens, in diesem Falle des angefeuchteten Glas-

Versuch II

Tabelle 8
Temperatur-Angaben

Gefäß Nr.	Behand- lung MA	Durchschnitts- Temperatur je Gefäß		Durchschnitts- Temperatur jeder Behandlungsreihe		Tempe- ratur- erhöhung während des Tages	Tempe- ratur- erhöhung infolgeBe- handlung
		morgens	abends	morgens	abends		
31	0,05	15,6 ⁰ C	18,7 ⁰ C	15,4° C	18,6° C	+ 3,3° C	+ 0,1 C°
21		15,6	18,6				
22		15,1	18,4				
26		15,2	18,9				
25	0,1	15,5	19,1	15,4	19,1	+ 3,7	+ 0,5
30		15,3	19,1				
29		15,5	19,2				
33		15,2	19,1				
28	0,2	15,4	20,7	15,4	20,8	+ 5,3	+ 2,1
7		15,2	20,8				
27		15,7	20,7				
1		15,4	20,9				
32	0,3	15,6	20,8	15,4	21,1	+ 5,7	+ 2,5
6		15,1	20,9				
9		15,6	21,0				
10		15,4	21,7				
3	0,4	15,4	20,8	15,5	21,3	+ 5,9	+ 2,7
18		15,3	21,3				
11		15,6	21,1				
16		15,6	22,2				
15	un- behandelt	15,6	18,5	15,3	18,5	+ 3,2	± 0
34		15,7	18,5				
8		14,9	18,4				
12		14,9	18,5				

sandes, unerlässlich ist. Es ist klar, daß sämtliche bisher angeführten Faktoren ursächlich eng miteinander verbunden und voneinander abhängig sind. So auch der spezifische Widerstand. Wie dieser von einem Teil der bereits geschilderten Faktoren, wie z. B. von der Feuchtigkeit des Bodens, der Temperatur abhängt, so ist er auch für einen Teil maßgeblich, wie z. B. für die Stromdichte, die Temperatursteigerung, das Zurückgehen der relativen Stromstärke. Die Messung des spezifischen Widerstandes jedes Gefäßes wurde täglich nach der Feuchtigkeitskontrolle und abends nach Schluß der Behandlung ausgeführt. Die technische Anlage und die Berechnung ist bereits beschrieben worden. Als Folge der Gleichstrombehandlung sind in den einzelnen Gefäßen Zersetzungs- und Polarisations-

erscheinungen aufgetreten, welche eine ständige Zunahme des spezifischen Widerstandes bedingten. Nach der Erhöhung der Feuchtigkeit durch die zweimalige Zugabe von je 100 Gramm Knopscher Lösung trat selbstverständlich auch eine Verringerung des spezifischen Widerstandes wieder ein. In der Tabelle 9 finden sich die Abgaben der La-Schwankungen für die Morgenmessungen vom niedrigsten bis zum höchsten gefundenen Wert während der Behandlungszeit, das gleiche für die Abendmessungen sowie die durchschnittlichen Werte für La jedes Gefäßes morgens und abends. Es folgen die durchschnittlichen Werte für c jedes Gefäßes in jeder Behandlungsreihe (siehe Tabelle 9).

Versuch II

Tabelle 9

Angaben über den spezifischen Widerstand $c = \frac{L_a \cdot R \cdot q}{L_b \cdot l}$
 (Vergleichswiderstand R = 4000 Ohm)

Gefäß Nr.	Behandlung MA	Schwankungen von La		Durchschnittl. Wert für La		Durchschnittl. Wert für c in Ω		Durchschnittl. Wert für c je Behandlungsreihe	
		morgens von bis	abends von bis	morgens	abends	morgens	abends	morgens	abends
31	0,05	38—65	36—69	51	54	206 · 10 ⁶	232 · 10 ⁶	206 · 10 ⁶	207 · 10 ⁶
21		31—67	31—60	48	45	192	170		
22		38—65	38—67	52	52	218	218		
26		34—61	34—61	49	49	208	208		
25	0,1	45—73	46—82	56	54	276	255	233 · 10 ⁶	265 · 10 ⁶
30		41—66	43—66	50	54	203	238		
29		40—76	44—79	54	62	256	356		
33		40—58	45—60	49	51	195	211		
28	0,2	40—76	43—79	57	66	276	404	261 · 10 ⁶	367 · 10 ⁶
7		40—65	39—72	53	59	235	299		
27		35—78	46—79	59	68	307	453		
1		36—73	37—73	52	60	225	312		
32	0,3	35—73	40—73	53	62	245	354	262 · 10 ⁶	381 · 10 ⁶
6		37—75	43—77	59	65	296	383		
9		38—73	41—77	54	66	249	412		
10		34—67	39—75	52	61	259	374		
3	0,4	37—77	42—79	59	69	286	443	246 · 10 ⁶	353 · 10 ⁶
18		35—72	37—78	54	64	231	350		
11		34—68	37—73	52	59	237	315		
16		34—70	35—75	51	58	230	305		

Die Angaben über die Schwankungen zeigen deutlich, daß der spezifische Widerstand jedes Gefäßes in seinem Werte außerordent-

labil ist und daß er von zahlreichen Faktoren abhängig sein muß. Klar bringen die Durchschnittswerte für die einzelnen Behandlungsreihen die sprungweise Zunahme des spezifischen Widerstandes zum Ausdruck, die durch die gestaffelte Zunahme und Einwirkung der Stromdichte hervorgerufen wird. Aus einem Vergleich der durchschnittlichen Werte für c morgens zu abends kann man ersehen, daß bei der Stromdichte 0,05 MA eine Zunahme des spezifischen Widerstandes durch die tägliche Behandlung noch nicht auftritt. Bei 0,1 MA oder besser zwischen diesen beiden Werten setzt diese Erscheinung erst ein. Leider sind die Messungen für 0,3 und 0,4 MA durch die Unmöglichkeit, die vorgesehene relative Stromstärke zu halten, verwischt. Von maßgeblichem Einfluß auf das Gesamtergebnis der zur Beantwortung gestellten Frage ist dies aber nicht, wie weiter unten zu ersehen sein wird.

Die Aussaat der Erbsen fand am 21. April 1926 statt; um 3 Uhr nachmittags begann die Behandlung. Das Auflaufen setzte am 26. 5. ein. Die Zahlen der aufgelaufenen Pflanzen für jede Behandlungsreihe zeigen eindeutig, daß schon bei einer Stromdichte von 0,05 MA eine Schädigung der Triebkraft einsetzt und daß diese Hemmung mit der Steigerung der Stromdichte stark zunimmt. Das Auflaufen selbst wird in seiner Schnelligkeit ebenfalls gehemmt. Eine Begünstigung des Pflanzenwachstums läßt sich aus diesen Befunden nicht feststellen. Es betragen die Auflaufprozente nach 306 Stunden bei 0,05 MA Stromdichte 78 %, bei 0,1 MA = 44 %, bei 0,2 MA = 18 %, bei 0,3 MA = 12 % und bei 0,4 MA = 10 %. Bei unbehandelt liefen 96 % auf.

Das Auflaufen geschah an den Kathoden zuerst, und je höher die Stromdichte für ein Gefäß bemessen war, desto deutlicher trat diese Erscheinung auf. Der Auflauf an der Anode wurde stark gehemmt. Neben der schädigenden Wirkung der einzelnen Stromdichten ist somit auch eine verschiedene Einwirkung der Polarität klar zu beobachten. Messungen von der Anode aus ergaben, daß die hemmende Wirkung der Anode bei einer Stromdichte von 0,05 MA bis 13 cm in das Gefäß hineinreicht, bei 0,1 MA 15 cm, bei 0,2 MA 24 cm, bei 0,3 MA 24 cm, bei 0,4 MA 24 cm. Bei 0,3 und 0,4 MA ist das Zurückgehen der relativen Stromdichte während des Versuches zu berücksichtigen, sonst wäre die geschädigte Zone zweifellos noch größer gewesen.

Nachdem die schädliche Einwirkung der geprüften Stromdichten auf die Triebkraft der Erbsen klar ersichtlich war, wurde der Versuch am 3. 5. abends abgebrochen, am 4. 5. das Aus-

schlänmen der Pflanzen ausgeführt und mit dem Messen der Wurzel-, Sproß- und Pflanzenlängen begonnen. Nach den bisherigen Beobachtungen stand zu erwarten, daß bei der bereits festgestellten schädigenden Wirkung der benutzten Stromdichten auch das Längenwachstum sowohl der Sprosse wie auch der Wurzel gelitten hat. Das Ausschlämmen ergab für die unbehandelten Gefäße eine normale kräftige Ausbildung der Wurzelsysteme, besonders der Nebenwurzeln. Je mehr die Stromdichte gesteigert wurde, desto mangelhafter waren die Nebenwurzeln ausgebildet. Bei 0,3 MA war nur noch die Pfahlwurzel vorhanden ohne jegliche Nebenwurzeln, z. T. war die gesamte Wurzelanlage in beginnende Fäulnis übergegangen. Aus der Tabelle 10 lassen sich die betreffenden Angaben entnehmen. Es sind hier die Durchschnittslängen je Gefäß für die Gesamtpflanze, die Wurzel und Sprosse, zusammengestellt, anschließend die entsprechenden Längenmaße je Behandlungsreihe. Dann folgen die Durchschnittsergebnisse für unbehandelt = 100 gesetzt und für die behandelten Reihen in Prozenten dazu ausgedrückt. Es lassen sich hieraus gleich die Schädigungsprozente ablesen. Es schließen sich an: die Angaben der Zahl der gemessenen Pflanzen, der aufgelaufenen Pflanzen, der Samen mit Keimungsansätzen, der Samen, die zwar einen Keimling gebildet hatten, aber nicht aufgelaufen waren, und solcher, die überhaupt nicht gekeimt waren. Den Beschluß bilden die errechneten Werte der Keimfähigkeit für die verschiedenen Behandlungsreihen (siehe Tabelle 10).

Die Ausbildung der Sproß- und Wurzellängen ist, wie zu erwarten war, bei den unbehandelten Gefäßen am weitesten vorgeritten. Schon bei 0,05 MA Stromdichte setzt eine merkliche Schädigung ein, die sich in einer starken Hemmung des Wurzelwachstums = 60,1 % ausdrückt. Für die Sproßentwicklung beträgt sie weniger = 31,6 %, wenn unbehandelt = 100 gesetzt wird. Daraus ist ersichtlich, daß das Wurzelwachstum zuerst behindert und geschädigt wird; in zweiter Linie macht sich die Schädigung auch im Wachstum der oberirdischen Organe der Pflanze bemerkbar. Der schädigende Einfluß der Bodendurchströmung nimmt mit der Zunahme der wirksamen Stromdichte gleichfalls zu und äußert sich in einer fortschreitenden Hemmung des Wurzel- und Sproßwachstums. Die Werte für 0,3 und 0,4 MA sind aus bekannten Gründen unsicher. Die zu dem arithmetischen Mittel jeder Behandlungsreihe errechneten mittleren Fehler und m % sind leider sehr hoch trotz sorgfältigster Versuchsanstellung. Selbst bei der unbehandelten Wurzellänge tritt ein hohes Fehlerprozent auf. Bei den

Versuch II

Tabelle 10a
Pflanzen-Messungen

Gefäß Nr.	Be- hand- lung M A	Pflan- zen- länge in cm	Wurzel- länge in cm	Sproß- länge in cm	Pflanzen- länge cm	A M der Wurzel- länge cm	Sproß- länge cm
31	0,05	7,00	3,00	4,00	9,05	4,51	4,53
21		11,09	5,80	5,30	$\pm 0,87$	$\pm 0,62$	$\pm 0,27$
22		8,43	4,04	4,39	$m^0/0 = 9,61$	$m^0/0 = 13,75$	$m^0/0 = 5,96$
26		9,70	5,21	4,43			
25	0.1	5,09	2,60	2,48	5,43	2,22	3,14
30		6,27	2,66	3,56	$\pm 0,32$	$\pm 0,24$	$\pm 0,25$
29		4,81	1,68	3,06	$m^0/0 = 5,89$	$m^0/0 = 10,81$	$^0/0m = 7,96$
33		5,57	1,96	3,46			
28	0,2	3,72	1,64	2,12	4,02	1,76	2,24
7		3,96	1,46	2,50	$\pm 0,29$	$\pm 0,32$	$\pm 0,09$
27		4,86	2,68	2,14	$m^0/0 = 7,21$	$m^0/0 = 18,18$	$m^0/0 = 4,02$
1		3,54	1,25	2,21			
32	0,3	3,81	1,67	2,19	3,73	1,45	2,27
6		4,75	1,25	3,37	$\pm 0,40$	$\pm 0,19$	$\pm 0,38$
9		2,81	1,04	1,78	$m^0/0 = 10,72$	$m^0/0 = 13,10$	$m^0/0 = 16,74$
10		3,55	1,86	1,73			
3	0,4	4,14	1,50	2,64	4,13	1,73	2,36
18		3,82	1,64	2,09	$\pm 0,39$	$\pm 0,12$	$\pm 0,25$
11		5,08	2,08	2,92	$m^0/0 = 9,44$	$m^0/0 = 6,94$	$m^0/0 = 10,59$
16		3,50	1,70	1,80			
17	unbe- handelt	15,42	8,56	6,84	17,93	11,33	6,62
34		17,02	10,20	6,84	$\pm 1,22$	$\pm 1,36$	$\pm 0,14$
8		18,08	11,50	6,58	$m^0/0 = 6,80$	$m^0/0 = 12,02$	$m^0/0 = 2,11$
12		21,20	14,97	6,23			

höheren Stromdichten ist das unterschiedliche Längenwachstum der Parallelen auf das ungleichmäßige Zurückgehen der wirksamen Stromdichte zurückzuführen. Schließlich ist das Schwanken der Parallelgefäße bei Versuchen, die mit einer starken Schädigung des Pflanzenwachstums verbunden sind, eine bekannte Erscheinung. Stellt man die Ergebnisse dieses Versuches in Relation mit unbehandelt = 100, so läßt sich auf diese Weise leicht eine Verbindung mit späteren Versuchen unabhängig von eventuell anders gearteten Versuchsbedingungen besonders hinsichtlich der Temperatur im Gewächshaus und der Versuchsdauer herstellen.

Aus der Zahl der gemessenen Pflanzen, der Zahl der aufgelaufenen Pflanzen und der Anzahl derjenigen Samen, die nur An-

Tabelle 10b
Pflanzen-Messungen

Pflanzen 0/0	Relativ-Zahlen unbehandelt = 100			Zahl der gemesse- nen Pflanzen	Zahl der aufge- laufenen Pflanzen	Zahl der Samen mit Keimungs- ansätzen	Zahl der ge- keimten, aber nicht aufgelaufe- nen Samen	Zahl der nicht ge- keimten Samen	Keim- fähigkeit in 0/0
	Wurzel 0/0	Sproß 0/0							
50,5	39,9	68,4	43	36	—	7	7	86	
			49	48	—	1	1	98	
			46	36	—	10	4	92	
			47/46	37/39,2	—	10/7	3/4	94/92	
30,3	19,6	47,4	39	13	17	37	—	100	
			41	29	7	19	2	96	
			31	14	13	30	6	88	
			46/38	34/22,5	2/10	14/25	2/2	96/96	
2,4	15,6	33,8	25	6	13	32	12	76	
			28	13	9	24	13	74	
			22	7	7	22	21	58	
			28/26	9/8,7	7/9	26/26	15/15	70/70	
20,8	12,8	34,8	21	6	6	21	23	54	
			16	10	14	20	20	60	
			27	4	9	32	14	72	
			22/21	4,6,0	7/9	25/24	21/19	58/62	
23,0	15,3	35,6	14	8	16	22	20	60	
			11	4	27	34	12	76	
			12	7	23	28	15	70	
			10/12	1/5,0	12/20	21/26	28/19	44/62	
100	100	100	50	48	—	2	—	100	
			49	49	—	—	1	98	
			50	50	—	—	—	100	
			47/49	45/48,0	—	2/1	3/1	94/98	

sätze zur Keimung zeigen (Feststellung beim Ausschlämmen), lassen sich verschiedene interessante Feststellungen machen. Die Zahl derjenigen Samen, die wohl noch keimten, aber in ihrer Triebkraft derart geschwächt waren, daß sie nicht mehr aufzulaufen vermochten, nimmt mit zunehmender Stromdichte ebenfalls zu. 0,05 MA üben hierbei schon einen merklich hemmenden Einfluß auf die Triebkraft aus, während die Keimfähigkeit bei dieser Stromdichte noch nicht gemindert ist. Es wird also zunächst die Triebkraft geschädigt. Demzufolge wird bei einer Zunahme der Stromdichte auf 0,01 MA die Zahl der nicht aufgelaufenen, aber gekeimten Samen, und von diesen die Zahl der nur den Keimungsbeginn andeutenden Samen sich erhöhen; die Zahl der aufgelaufenen Pflanzen und auch der gemessenen Pflanzen muß zurückgehen, wie aus der Tabelle 10 er-

sichtlich wird. Bei einer weiteren Erhöhung der Stromdichte auf 0,2 MA wird die Zahl der aufgelaufenen und der gemessenen Pflanzen erneut sinken. Es steigt die Zahl der nicht gekeimten Samen, denn bei dieser Stromdichte setzt die Schädigung der Keimfähigkeit bereits ein, während diejenige der gekeimten, aber nicht aufgelaufenen Pflanzen ungefähr konstant bleibt, da ihr aus der früheren Zahl der aufgelaufenen Samen der neu geschädigte Prozentsatz zufällt und sie in ungefähr gleichem Maße einen Teil an die Gruppe der nicht gekeimten Samen abgeben muß. In gleicher Richtung wird sich das Bild bei den höheren Stromdichten weiterentwickeln, bis zur völligen letalen Wirkung der Elektrizität zunächst auf die Triebkraft, danach auf die Keimfähigkeit des Samens.

Nach dem Ausschlämmen und Vermessen der Pflanzen wurden die Sprosse von den Wurzeln oberhalb der Muttersamen getrennt und beide in Blechgefäßen bei 105 ° C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und hierauf die Trockensubstanz gewogen. Nach der Feststellung der Gesamterträge für Sproß und Wurzel wurden dieselben durch die Zahl der gemessenen Pflanzen dividiert, um die durchschnittlichen Einzel - Trockensubstanz - Gewichte der Sprosse und Wurzeln zu erhalten. Diese bewegen sich wie bei Vorversuch I mit zunehmender Stromdichte für die Sprosse in absteigender und für die Wurzeln in ansteigender Linie. Die Schädigung kommt für sämtliche benutzten Stromdichten hierbei klar zum Ausdruck.

Ergebnis des Versuches II

1. Gleichstrom mit einer Spannung von 220 V wirkt bei einer Stromdichte von 0,4, 0,3, 0,2, 0,1 und 0,05 MA und bei einem mittleren spezifischen Widerstand des Bodens von $206 \cdot 10^6$ bis $381 \cdot 10^6$ Ohm auf das Wachstum von Erbsen schädigend ein.
2. Von dieser Schädigung werden zunächst in hohem Maße die Wurzeln betroffen; in zweiter Linie macht sich diese Hemmung des Wachstums auch in der Bildung der oberirdischen Organe des Sprosses sehr bemerkbar.
3. Gleicher spezifischer Widerstand für sämtliche Gefäße läßt sich bei Verwendung von Leitungswasser nur in gewissen Grenzen herbeiführen.
4. Während der Behandlung schwanken die Werte für L a und daher auch der spezifische Widerstand jedes Gefäßes infolge von Temperaturveränderungen, der Wasserverdunstung und inneren Zersetzungs Vorgängen, stark hin und her.

5. Durch die Stromdichte 0,05 MA wird der spezifische Widerstand des Bodens ($206 \cdot 10^6$ Ohm) infolge innerer Zersetzungserscheinungen noch nicht gemindert. Erst bei Überschreiten dieses Wertes treten dieselben in zunehmendem Maße auf.
6. Eine Erwärmung des Sandes infolge der durch die Behandlung auftretenden JOULESchen Wärme ist erst bei einer Stromdichte über 0,05 MA nachweisbar ($c = 233 \cdot 10^6$ bis $265 \cdot 10^6$ Ohm).
7. Die Schädigung des Pflanzenwachstums tritt zunächst an der der Anode zu liegenden Hälfte der Gefäße auf und bleibt auch während der Vegetation hier in ihrer Stärke überwiegend.
8. Auflaufgeschwindigkeit, Auflaufzahl (Triebkraft), Längenwachstum der Sprosse und Wurzeln, Trockensubstanzgewichte der Sprosse und Wurzeln werden bei dem vorliegenden spezifischen Widerstand dem Ansteigen der Stromdichte von 0,05 bis 0,4 MA folgend entsprechend gemindert.
9. Eine Minderung der Triebkraft, des Sproß- und Wurzelwachstums der Erbsen setzt bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von $206 \cdot 10^6$ Ohm durch Gleichstrom von 220 V bereits bei 0,05 MA ein.
10. Eine Schädigung der Keimfähigkeit der Erbsen beginnt bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von $206 \cdot 10^6$ Ohm erst bei 0,2 MA Stromdichte aufzutreten.

Die Bedeutung des spezifischen Widerstandes des Bodens

Bei der Besprechung der Stromdichte ist bereits auf den zu erwartenden Einfluß des spezifischen Widerstandes hingewiesen worden. Die Messung der Stromdichte und ihre Kenntnis allein genügt nicht; denn es kommt nicht allein auf die wirksame Stromdichte im Boden an, sondern auf die wirksame Stromdichte innerhalb der Samen und Wurzeln. Hierauf gewinnt die Stromlinienverteilung nach dem KIRCHHOFFSchen Gesetz große Bedeutung, sofern beide Leiter II. Klasse (Boden und Pflanze) verschiedenen spezifischen Widerstand besitzen. Da wir den spezifischen Widerstand der Wurzeln im Boden nicht messen können, müssen wir uns vorläufig mit der Kenntnis des spezifischen Widerstandes des Bodens allein begnügen, dessen biologische Wirkung auf das Pflanzenwachstum eine Funktion des Quotienten aus dem spezifischen Widerstand des Bodens zu demjenigen der Pflanzenwurzeln darstellt. Ist

der Quotient klein, d. h. ist der spezifische Widerstand des Bodens sehr gering, denjenigen der Pflanzenwurzeln nehmen wir einmal als konstant an, so ist auch das Wachstum der Pflanzen ein besseres und umgekehrt. Da wir den spezifischen Widerstand der unterirdischen Organe der Pflanzen zunächst als unbekannt ansehen müssen, genügt derjenige des Bodens als Maßstab und als Vergleichsbasis für Kontrollversuche. Wir müssen mit dieser Vorstellung vorläufig arbeiten. Es liegt nun natürlich die Frage auf der Hand: wie macht sich ein verschiedener spezifischer Widerstand des Bodens bei sonst gleichen Bedingungen bemerkbar? Zur Beantwortung derselben liefert unser Versuch II, wenn auch unfreiwillig und unbeabsichtigt, einiges Material. Betrachten wir die Werte des spezifischen Widerstandes der Gefäße der Behandlungsreihen 0,05 bis 0,2 MA (Tabelle 9), die Triebkraft, die Keimfähigkeit, die Längenmaße der Wurzeln und Sprosse (Tabelle 10), so finden wir, daß die erhaltenen Werte für Triebkraft, Keimfähigkeit und Sproßlänge gegenüber den bei einem höheren spezifischen Widerstand des Bodens erzielten Werten ein günstigeres Bild geben, was zu erwarten war, da die Zahl der Stromlinien, welche in diesem Falle die Wurzeln und Samen durchfließen, geringer ist, dagegen im Boden sich stärker zusammenballen werden, eine Schädigung daher auch nur in einem schwächeren Maße hervorrufen können. Für die Wurzellänge läßt sich diese Regel allerdings nicht aufrecht erhalten. Bei den höheren Stromdichten verwischen aus bekannten Gründen die stark auftretenden Pflanzenschädigungen jegliches Sichtbarwerden dieser Einflüsse, so daß auf ihre Anführung an dieser Stelle verzichtet werden kann. Wo bei einer Abstufung der Stromdichte die Unterschiede in dem spezifischen Widerstand des Bodens auf das Pflanzenwachstum noch wirksam sein können oder ihre Grenze gefunden haben, das müssen spätere Versuche zeigen. Dieser Versuch bringt jedoch deutlich zum Ausdruck, daß bei wachstumshemmenden Stromdichten von 0,05 MA aufwärts der spezifische Widerstand des Bodens aus bereits auseinandergesetzten Gründen von großem Einfluß sein kann.

Versuch III. (XII)

Die soeben angeschnittene Frage des Einflusses des spezifischen Widerstandes des Bodens auf das Pflanzenwachstum bei Anwendung der Methode der Bodendurchströmung soll in diesem Versuch weiter untersucht werden. Es tritt bei der Vorbereitung sofort die Frage auf, wie soll ein verschiedener spezifischer Widerstand bei

sonst gleichen Vegetationsbedingungen besonders hinsichtlich der Bodennährstoffe hergestellt werden? Ein Vorversuch, der verschiedene spezifische Widerstände durch eine Beschickung der einzelnen Gefäße mit einer verschieden stark konzentrierten Kalisalzlösung bei gleichen Bodennährstoffen mit Ausnahme des Kaliums herstellen wollte, scheiterte an dem schlechten Wachstum der Pflanze bei den höheren Konzentrationen. Aus diesem Grunde mußte bei der Fragestellung zu diesem Versuch infolge der vorliegenden versuchstechnischen Schwierigkeiten auf die Beobachtung des Jugendwachstums der Pflanzen verzichtet werden und dieselbe lediglich auf den Einfluß verschiedenen spezifischen Widerstandes auf Keimfähigkeit und Triebkraft beschränkt bleiben, bei sonst gleichen Bedingungen für die übrigen Vegetations-Faktoren. Da nur eine scharfe Differenzierung in der Lage ist, ein klares Bild zu liefern, wurde der Glassand teils mit destilliertem Wasser und teils mit Knopscher Lösung angefeuchtet und darauf sämtliche Gefäße der Einwirkung der Stromdichte 0,1 MA bei 220 V Spannung, die uns bereits als schädigend bekannt ist, ausgesetzt. Als Versuchsgefäße fanden, wie bei Versuch II, dieselben Holzkästen Verwendung, die ebenfalls mit 7000 Gramm Hohenbockaer Glassand und mit 1000 ccm destilliertem Wasser bzw. Knopscher Lösung (57,8 % der Wasserkapazität) beschickt wurden. Zur Saat wurde wiederum Schurigs kurze Erbse benutzt, und zwar je Gefäß 50 Samen. Die Behandlung wurde täglich 7 Stunden lang ausgeführt, am 19. Mai damit begonnen und sie endete am 1. Juni ebenfalls 12 Uhr mittags. Der Versuch lief demnach 14 Tage.

Es war leider nicht möglich gewesen, für diesen Versuch in gleicher Weise wie früher für jede Behandlungsreihe vierfache Wiederholung vorzusehen, weil zu gleicher Zeit ein großer Staffelexperiment lief. Die Zahl der verfügbaren Kohle-Elektroden, die nur mit Schwierigkeiten zu beschaffen waren, reichte hierzu nicht aus. Es konnten aus diesem Grunde für jede Behandlung nur zwei Gefäße vorgesehen werden. Für die unbehandelte Reihe genügte ein Kontrollgefäß, da ja für diese Reihe bereits einwandfreie Ergebnisse aus Versuch II vorlagen; lediglich zum Vergleich und Anhalt mit den bereits gefundenen Resultaten sollte dieses unbehandelte Gefäß dienen. Die Fragestellung lautete: den Einfluß verschieden hohen spezifischen Widerstandes auf das Pflanzenwachstum bei Anwendung als hemmend erkannter Stromdichten festzustellen. Die Anordnung des Versuches hinsichtlich des spezifischen Widerstandes war aus diesem Grunde derart differenziert gewählt, daß auch bei dieser

geringen Zahl von Wiederholungen einwandfreie Ergebnisse erzielt werden mußten.

Die Gefäße 4 und 15 waren mit destilliertem Wasser (1000 ccm) angefeuchtet; ihr spezifischer Widerstand daher sehr hoch. Der vor Beginn des Versuches gemessene Wert für $L a$ betrug 55 und der spezifische Widerstand des feuchten Glassandes im Mittel $246 \cdot 10^6$ Ohm. Im Gegensatz hierzu war den Gefäßen 24 und 25 je 1000 ccm KNOPScher Lösung zugesetzt worden, die infolgedessen nur einen geringen Wert für $L a = 17$ und einen niedrigen spezifischen Widerstand von $40 \cdot 10^6 \Omega$ aufwiesen. Hierdurch war die beabsichtigte scharfe Differenzierung des spezifischen Widerstandes erreicht, leider auf Kosten der Nährstoff-Gleichheit des Bodens. Daher können die Ergebnisse der Pflanzenmessungen und der Trockensubstanzbestimmung keine weitere Verwendung finden.

Als absolute Stromstärke wurde die bereits als hemmend erkannte Stromdichte 0,1 MA bestimmt. Unter Berücksichtigung der wirksamen Elektrodenfläche sind die Werte für die anzuwendenden relativen Stromstärken berechnet worden. Diese konnten bei den Gefäßen 4 und 15 trotz eines hohen spezifischen Widerstandes während der ganzen Versuchsdauer aufrecht erhalten werden.

Die Temperaturmessung wurde wie bei Versuch III durchgeführt. Eine zu beobachtende Erhöhung der Temperatur des Gefäßes 4 beruht auf der während der Behandlung eingetretenen starken Zunahme des spezifischen Widerstandes. Bei den übrigen behandelten Gefäßen bewegten sich die Temperaturen um den Mittelwert derjenigen des unbehandelten Gefäßes. Die sich noch bei dem Versuch II bemerkbar machende geringe Erwärmung von $+0,5^\circ \text{C}$ durch die Stromdichte 0,1 MA wurde bei diesem Versuch infolge der im Juni jetzt intensiveren täglichen Erwärmung des Treibhauses und hierdurch auch der Gefäße verdeckt. Bei Versuch II konnte eine tägliche Gesamterwärmung von $+3,2^\circ \text{C}$ festgestellt werden, während bei diesem Versuch die mittlere Tageserwärmung bereits auf $+5,4^\circ \text{C}$ angestiegen war.

In gleicher Weise wie bei Versuch II wurde auch die Feuchtigkeitskontrolle durchgeführt, so daß auf Einzelheiten nicht mehr näher eingegangen zu werden braucht.

Auf die Beobachtung des spezifischen Widerstandes mußte natürlich großer Wert gelegt werden. So ist auch das verschiedene Ansteigen des spezifischen Widerstandes der Parallelgefäße zueinander von hohem Interesse, wenn später die Auflaufzahl hiermit in Verbindung gebracht werden soll. So stieg der spezifische Wider-

stand der destillierten Wassergefäße infolge der Behandlung von $275 \cdot 10^6$ Ohm auf $666 \cdot 10^6$ Ohm und derjenige der KNOPSchen Lösungsgefäße von $43 \cdot 10^6$ Ohm auf $97 \cdot 10^6$ Ohm. Es hat sich daher der spezifische Widerstand der Gefäße 4 und 15 am Ende der Behandlung um 242,2 % des Ausgangswertes erhöht und derjenige der Gefäße 24 und 35 um 225,6 %. Die prozentuelle Erhöhung des spezifischen Widerstandes durch die Behandlung ist nach diesen Berechnungen für beide Gefäßreihen trotz seiner sehr unterschiedlichen Höhe fast die gleiche. Eine Berechnung des spezifischen Widerstandes morgens und abends bringt klar zum Ausdruck, daß die Pflanzen des Gefäßes Nr. 4 ($c = 487 \cdot 10^6$ morgens und $630 \cdot 10^6$ abends) bei einem erheblich höheren spezifischen Widerstand des Sandes als diejenigen des Gefäßes 15 ($c = 363 \cdot 10^6$ morgens und $414 \cdot 10^6$ abends) gewachsen sind. Bei den Gefäßen 24 und 35 ist nur ein ganz geringer Unterschied zugunsten des Gefäßes 24 feststellbar (Gefäß 24: $69 \cdot 10^6$ — $97 \cdot 10^6$, Gefäß 35: $75 \cdot 10^6$ — $99 \cdot 10^6$). Vergleicht man die c-Werte der Behandlungsreihe 4/15 mit denjenigen der Reihe 24/35, so ist für die c-Werte der beiden Reihen während der ganzen Behandlungsdauer die beabsichtigte Differenzierung voll zur Wirkung gekommen.

Die Aussaat der Erbsen fand am 19. 5. statt. Großer Wert wurde hierbei auf eine gleichmäßige Aussaattiefe gelegt, die mit einem geeigneten Legeholz einwandfrei innegehalten werden konnte. Hierauf muß man achten, sollen die Auflaufzahlen zur Beurteilung der Auflauf-Geschwindigkeit geeignete Unterlagen bieten. Die Behandlung begann am 19. 5. 12 Uhr mittags. Am 22. 5. durchbrachen die ersten Sprosse die Erdoberfläche.

Die Unterschiede in der Höhe des spezifischen Widerstandes des Bodens machen sich in der Beeinflussung der Triebkraft deutlich bemerkbar. Bei gleicher Stromdichte liefen in den Gefäßen 4 und 15 nur 52 bzw. 74 % auf, während in den Gefäßen 35 und 24 94 und 96 % gezählt werden konnten. Der Unterschied in der Triebkraft der beiden ersten Gefäße wurde durch den höheren spezifischen Widerstand des Gefäßes 4 hervorgerufen. Bei den Gefäßen 35 und 24 ist ein ganz normaler Auflauf festzustellen, wie aus einem Vergleich mit dem Kontrollgefäß 14 (Auflauf = 92 %) hervorgeht. Bei einem Vergleich mit den entsprechenden Ergebnissen des Versuches II fällt die geringe hemmende Wirkung der Stromdichte 0,1 MA auf. Während dort bei einem mittleren c-Wert von $233 \cdot 10^6$ bis $265 \cdot 10^6$ Ohm eine durchschnittliche Schädigung der Triebkraft um 56 % auftrat, so war für diesen Versuch bei einem noch höheren

mittleren c-Wert von $363 \cdot 10^6$ bis $414 \cdot 10^6$ Ohm dagegen nur eine Schädigung von 37 % festzustellen. Bei einem mittleren c-Wert von $69 \cdot 10^6$ bis $97 \cdot 10^6$ ist überhaupt keine Schädigung mehr zu beobachten. Es kann vorläufig kein stichhaltiger Grund für die auffallende Abweichung nachgewiesen werden. Jedoch scheint bei näherer Untersuchung dieser Frage die Behandlung zur Zeit des Auflaufes der Pflanzen von großem Einfluß zu sein, was schon LÖWENHERZ und andere Forscher angedeutet haben. Bei Versuch II fand die Behandlung von der Aussaat bis zur Überschreitung des 50 %igen Auflaufes nur mit einem Tag Unterbrechung statt, wobei dieser Ruhetag 24 Stunden vor dem Beginn des Auflaufes eingelegt werden mußte, die schädigende Wirkung des Stromes aber während der Auflaufzeit dagegen voll zur Einwirkung kommen konnte. Bei diesem Versuch setzte das Auflaufen der Sprosse am 22. 5. ein, am 23. und 24. mußte während der Pfingst-Feiertage die Behandlung ausgesetzt werden, so daß in diesem Falle gerade während der kritischen Zeit die schädigende Wirkung des Stromes nicht zur Einwirkung gelangen konnte. Infolgedessen mußte auch das Auflaufen der behandelten Gefäße im Vergleich mit denjenigen des Versuches II ein günstigeres Bild bieten. Die gleiche Begünstigung der Triebkraft infolge der Unterbrechung der Behandlung kam natürlich auch den Gefäßen 24 und 35 zustatten. Es ist dabei aber außerdem als weiterer begünstigender Faktor der geringe spezifische Widerstand des Sandes anzuführen. Die Pflanzen wurden daher auf Grund des KIRCHHOFFSchen Gesetzes von einer geringeren Zahl Stromlinien als bei Versuch II durchströmt. Beide Umstände vereint ließen die hemmende Wirkung der Stromdichte 0,1 MA, die bei Versuch II beobachtet worden war, bei diesem Versuch nicht in Erscheinung treten, wenngleich die Auflaufgeschwindigkeit bereits davon beeinflußt wurde.

Auch bei diesem Versuch konnte die bisher beobachtete polare Schädigung wieder festgestellt werden. Entsprechend der Wirksamkeit der Stromdichte bei den einzelnen Gefäßen wurden am 1. Juni gezählt:

bei Gefäß	4	Kathodenhälfte	21	Pflanzen	Anodenhälfte	5	Pflanzen
„	15	„	21	„	„	14	„
„	24	„	25	„	„	22	„
„	35	„	25	„	„	20	„
„	14	„	24	„	„	22	„

Am 1. Juni fand der Versuch sein Ende. Die Messungen der Wurzel- und Sproßlängen sowie die Bestimmung ihrer Trocken-

substanz-Gewichte können, wie bereits erwähnt, zu einer weiteren Verarbeitung nicht herangezogen werden. Dagegen lassen sich aus denjenigen Feststellungen, auf welche die verschiedenartigen Feuchtigkeitsmengen keinen Einfluß auszuüben vermochten, wertvolle Rückschlüsse ziehen.

Der Einfluß verschieden hohen spezifischen Widerstandes bei gleicher Stromdichte ist auch bei diesem Versuch wieder klar ersichtlich. Die unterschiedliche Schädigung der Triebkraft konnte bereits an Hand der Auflaufzahlen nachgewiesen werden. Die Gefäße 24 und 25 zeigen keine Triebkraftminderung, denn sämtliche gekeimten Samen sind auch aufgelaufen. Infolge des höheren spezifischen Widerstandes der Gefäße 4 und 15 und der damit verbundenen erhöhten wirksamen relativen Stromdichte vermochten 18 bzw. 16 % der Samen nur noch Sproß- und Wurzelansätze auszubilden. Die Zahl der gekeimten aber nicht aufgelaufenen Samen stieg von 2 % auf 22 bzw. 18 % an.

Eine Schädigung der Keimfähigkeit soll nach den Feststellungen des Versuches II durch eine Behandlung mit der Stromdichte 0,1 MA noch nicht hervorgerufen werden. Es war dort mit einem mittleren c -Wert von $333 \cdot 10^6$ bis $265 \cdot 10^6$ Ohm gearbeitet worden und daher von vorneherein für diesen Versuch zu erwarten, daß sich eine Minderung der Keimfähigkeit bei den Gefäßen 24 und 35 ($c = 69 \cdot 10^6$ bis $67 \cdot 10^6$ Ohm) nicht bemerkbar machen würde. Trotz des erheblich höheren spezifischen Widerstandes des Gefäßes 15 ($c = 363 \cdot 10^6$ bis $414 \cdot 10^6$ Ohm) kann von einer Schädigung kaum die Rede sein, wenngleich ein schwacher Ansatz hierzu sich in einem geringen Ansteigen der nicht gekeimten Samenzahl bereits bemerkbar machte. Erst bei weiterer Erhöhung des spezifischen Widerstandes ($c = 487 \cdot 10^6$ bis $630 \cdot 10^6$ Ohm) vermochte die Stromdichte 0,1 MA bei Gefäß 4 einen schädigenden Einfluß auf die Keimfähigkeit der Erbsen auszuüben. Daß eine derartige Schädigung bereits bei 0,1 MA doch noch möglich ist, dafür kann die Erklärung nur mit Hilfe des KIRCHHOFFSchen Gesetzes gegeben werden, demzufolge bei einer Zunahme des spezifischen Widerstandes des Bodens die Samen dafür einer proportional ansteigenden wirksamen Zahl von Stromlinien bei gleichbleibender meßbarer Stromdichte ausgesetzt werden.

Nach dem Ausschlämmen der Gefäße wurden die Wurzeln der Pflanzen einer Bonitierung unterworfen. Es zeigte sich, daß bei dem unbehandelten Gefäß Nr. 14 die Pflanzen ein normales Wurzelsystem, bestehend aus einer kräftigen Pfahlwurzel und zahlreichen

Seitenwurzeln, ausbilden konnten. Bei den behandelten Gefäßen dagegen ist durchweg eine Schädigung des Wurzelsystems festzustellen. Je höher der spezifische Widerstand wird, desto stärker treten diese Schädigungen auf. Bereits bei Gefäß 35 mit dem geringsten spezifischen Widerstand, bei welchem auf Grund der bisherigen Feststellungen keine Hemmung beobachtet werden konnte, macht sich dieselbe in einer Störung der normalen Wurzelbildung bemerkbar. Das gesamte Wurzelsystem ist bedeutend schwächer; die Zahl derjenigen Pflanzen, die wohl einen fast normalen Sproß, aber nur noch einen Wurzelansatz ausbilden konnten, steigt. Schließlich war bei den Gefäßen mit dem höchsten spezifischen Widerstand (4 und 15) bei einem Teil der Pflanzen nur noch die Ausbildung einer verkümmerten Pfahlwurzel möglich. Interessant ist festzustellen, daß bei den Gefäßen 24 und 35, bei welchen bisher eine Schädigung infolge der erwähnten günstigen Behandlungsverhältnisse nicht beobachtet werden konnte, auf Grund der Wurzeluntersuchung eine solche nunmehr doch noch einwandfrei nachweisbar ist und somit eine Verbindung mit den entsprechenden Ergebnissen des Versuches II hergestellt werden kann.

Ergebnis des Versuches III

1. Die Höhe des spezifischen Widerstandes des Bodens übt bei gleichbleibender Stromdichte und einer durch dieselbe bedingten Hemmung auf die Triebkraft der Erbsen stets einen maßgeblichen Einfluß aus.
2. Auch die Keimfähigkeit kann bei großem Unterschied in der Höhe des spezifischen Widerstandes nachteilig beeinflusst werden, sofern die Stromdichte in ihrer schädigenden Wirkung hierzu ausreicht.
3. Während der Zeit des Auflaufens scheinen die Pflanzen gegen eine Durchströmung des Bodens besonders empfindlich zu sein.
4. Eine Schädigung des Pflanzenwachstums ist zuerst an der Ausbildung des Wurzelsystems nachweisbar.

Versuch IV. (XI)

Durch den Versuch II gelangten die Stromdichten von 0,4 bis 0,05 MA bei einer Spannung von 220 V Gleichstrom in ihrem Einfluß auf Triebkraft, Keimfähigkeit und Jugendwachstum zur Untersuchung. Durch den nun folgenden Versuch soll dieselbe auf geringere Stromdichten ausgedehnt werden. Zur Herstellung einer

Vergleichsbasis mit den bisherigen Ergebnissen wurden die Stromdichten 0,1 und 0,05 MA nochmals mitgeprüft und dann 0,01, 0,005 und 0,001 MA angeschlossen.

Die Technik der Versuchsanstellung blieb selbstverständlich die gleiche wie bei den vorhergehenden Versuchen. Sie hatte sich gut bewährt. Es wurde die gleiche Gefäßgröße verwandt, die wiederum mit 7000 Gramm gewaschenem und ausgeglühtem Hohenbockaer Glassand und 1000 Gramm Leitungswasser (57,8 % der Wasserkapazität) beschickt war. Versuchspflanze war SCHURIGS kurze Erbse; pro Gefäß wurden 50 Samen ausgelegt. Die tägliche Behandlungsdauer entsprach derjenigen des Versuches II. Sie begann am 12. 5. 12 Uhr mittags und endete am 27. 5. abends. Am 28. wurden die Pflanzen ausgewaschen und weiter verarbeitet.

Die elektrische Leitungsführung blieb ebenfalls die gleiche wie bei Versuch II. Die Stromstärkemessung wurde mit dem bereits erwähnten Präzisions-Milliamperemeter ausgeführt. Die Regulierung der relativen Stromstärke gestaltete sich sehr zeitraubend und nicht einfach. Besonders die Einstellung und Konstanthaltung der sehr geringen Stromdichten machte Schwierigkeiten, da als Leiter II. Klasse infolge der hohen Spannung in den Widerstandsgläsern bereits destilliertes Wasser benutzt werden mußte. Temperatur-Unterschiede desselben, hervorgerufen durch die Zunahme der Gewächshaustemperatur während des Tages, machten sich sehr nachteilig bemerkbar und erforderten eine häufig umlaufende Betriebskontrolle, die daher alle zwei Stunden mindestens ausgeführt werden mußte.

Die Beschreibung der angesetzten Gefäße wurde in der üblichen Weise aufgenommen und aufbewahrt.

Die Ordnung der Gefäße für die fünf Behandlungsreihen erfolgte wiederum in der Absicht, möglichst für die höheren Stromdichten auch Gefäße mit geringerem spezifischen Widerstand zusammen zu stellen.

Es betrug der Wert des spezifischen Widerstandes des Bodens der einzelnen Behandlungsreihen bei:

0,001 MA Stromdichte	111.10 ⁶	Ohm
0,005 „ „	95.10 ⁶	„
0,01 „ „	88.10 ⁶	„
0,05 „ „	70.10 ⁶	„
0,1 „ „	60.10 ⁶	„

Es läßt sich nicht vermeiden, daß vom Standpunkt des spezifischen Widerstandes die stärker behandelten Gefäße günstiger gestellt sind. Jedoch ist diese Begünstigung gegenüber der gewählten Staffe lung der Stromdichte minimal.

Auf Grund der wirksamen Elektrodenfläche wurde die relative Stromstärke der einzelnen Gefäße berechnet. Die vorgesehene Stromstärke konnte für sämtliche Behandlungsreihen während der Versuchsdauer aufrecht erhalten werden.

Die Temperaturverhältnisse während des Versuches waren für sämtliche Gefäße, abgesehen von kleinen Schwankungen, die gleichen. Die geringe Intensität des Stromes konnte in einer Steigerung der Gefäßtemperatur infolge der starken Temperaturzunahme, die durch die Erwärmung des Gewächshauses am Tage bewirkt wurde, nicht mehr zum Ausdruck gelangen.

Der Feuchtigkeitsverlust wurde täglich ermittelt und ausgeglichen. Die Mittelwerte der Behandlungsreihen zeigen ein langsames Ansteigen der verdunsteten Wassermenge von 0,001 bis 0,1 MA Stromdichte, obgleich weder die absolute Höhe der Gefäßtemperatur noch eine Zunahme derselben infolge der Behandlung darauf hindeuteten. Es verdunsteten täglich im Mittel die Behandlungsreihen:

0,001 MA	—	50	Gramm	Wasser
0,005	„	56	„	„
0,01	„	59	„	„
0,05	„	66	„	„
0,1	„	63	„	„
unbehandelt	„	55	„	„

Die Messung und Kontrolle des spezifischen Widerstandes wurde in gleicher Weise wie bei den vorigen Versuchen ausgeführt. Der Vergleichsrheostat der WHEATSTONSchen Brücke blieb dabei ständig auf 4000 Ohm eingestellt. Im allgemeinen ist zu bemerken, daß die La-Werte durchweg niedriger waren als bei früheren Versuchen, d. h., daß der spezifische Widerstand des Bodens ebenfalls niedriger war, welcher auch während der ganzen Versuchsdauer gehalten werden konnte. Ein Zurückgehen des spezifischen Widerstandes bei der Abendmessung gegenüber derjenigen morgens wurde bei den geringen Stromdichten nicht mehr beobachtet. Erst bei 0,01 MA setzte dieses Zurückgehen ein, wodurch die Befunde des Versuches II ihre Bestätigung finden. Wertvoll ist die Beobachtung des spezifischen Widerstandes der einzelnen Gefäße einer Behandlungsreihe, deren Einfluß auf das Pflanzenwachstum auch bei den geringeren Stromdichten zu verfolgen von großem Interesse ist. Darauf wird weiter unten noch näher einzugehen sein.

Die Aussaat der gleichmäßig sortierten und ausgelesenen Erbsen fand am 12. 5. vormittags statt. Das Auflaufen der Pflanzen setzte nach ungefähr 110 Stunden ein. Aus den endgültigen Auflaufzahlen jeder Behandlungsreihe nach Abbruch des Versuches war zu ersehen, daß die Stromdichte 0,1 MA eine Hemmung der Triebkraft bewirkt hat, während bei den Stromdichten 0,05 bis 0,001 MA ein normales Auflaufen stattfand. Vergleicht man die hier gefundenen Ergebnisse der Stromdichte 0,1 und 0,5 MA mit den entsprechenden des Versuches II, so erkennt man sofort wieder den maßgeblichen Einfluß des spezifischen Widerstandes des Bodens auf die Triebkraft. Es liefen nach 245 Stunden auf:

Bei Versuch II:

Stromdichte 0,05 MA $c = 206 \cdot 10^6$ bis $207 \cdot 10^6$ Ohm 78 % der ausgelegten Samen
 „ 0,1 „ $c = 233 \cdot 10^6$ „ $265 \cdot 10^6$ „ 44 % „ „ „

Bei Versuch IV:

Stromdichte 0,05 MA $c = 95 \cdot 10^6$ bis $96 \cdot 10^6$ Ohm 94 % der ausgelegten Samen
 „ 0,1 „ $c = 138 \cdot 10^6$ „ $180 \cdot 10^6$ „ 76 % „ „ „

Infolge des geringeren spezifischen Widerstandes des Bodens und dadurch einer für die Pflanze günstigeren Stromlinienverteilung vermochte die Stromdichte 0,05 MA bei Versuch IV auf die Gesamtauflaufzahl einen hemmenden Einfluß nicht mehr auszuüben, obgleich eine Auflaufverzögerung zu beobachten war. Bei 0,1 MA Stromdichte konnte dagegen dieses begünstigende Moment eine Schädigung nicht mehr aufhalten. Diese Zahlen geben wieder einen Hinweis dafür, daß das Auftreten einer Schädigung nicht von der Höhe der Stromdichte allein abhängt, sondern daß hierbei auch dem spezifischen Widerstand des Bodens immerhin einige Bedeutung zukommt, welcher eine Verschiebung nach oben oder unten in der Höhe der hierzu benötigten Stromdichte bedingen kann. Auffallend war ein anfangs beschleunigtes Auflaufen der Stromdichten 0,01 bis 0,001 MA gegenüber unbehandelt. Diese Erscheinung bedarf weiterer Nachprüfung.

Eine Beurteilung des Pflanzenbestandes der einzelnen Gefäße am Tage vor der Beendigung des Versuches (26. 5.) zeigte für die einzelnen Stromdichten folgendes Bild. Bei den Behandlungsreihen 0,001, 0,005 und 0,01 MA war eine Wachstumshemmung an der Anode nicht festzustellen. Dieselbe machte sich erst bei 0,05 MA dann allerdings deutlich bemerkbar. Die Triebkraft der Samen war durch diese Stromdichte an der Anode noch nicht beeinträchtigt worden, wie aus einer Zählung der Pflanzen, getrennt nach der Anoden- und Kathodenhälfte der Gefäße, hervorgeht.

Es wurden gezählt:

Stromdichte 0,05 MA.					
Gefäß	10	Anodenhälfte	24 Pfl.	Kathodenhälfte	25 Pfl.
..	6	..	23	..	25
..	22	..	22	..	25
..	32	..	22	..	25

Durch die nächst höhere Behandlung mit 0,1 MA Stromdichte werden die Schädigungs-Erscheinungen in den Pflanzenbeständen erheblich gesteigert. An der Anode sind teilweise die Keimlinge gar nicht aufgelaufen; die aufgelaufenen dagegen in ihrem Wachstum sehr gehemmt worden.

Es wurden gezählt bei:

Stromdichte 0,1 MA.					
Gefäß	29	Anodenhälfte	11 Pfl.	Kathodenhälfte	20 Pfl.
..	30	..	24	..	25
..	1	..	18	..	20
..	18	..	12	..	25

Am 27. 5. abends wurde der Versuch abgebrochen und am 28. die Pflanzen ausgeschlämmt. Jeder Sproß wurde nach der Wurzel-Bonitierung und Längenmessung oberhalb des Muttersamens abgetrennt und für Sprosse und Wurzeln jedes Gefäßes die Trockensubstanzbestimmung ausgeführt. Es stand zu erwarten, daß die Stromdichten 0,001 bis 0,01 MA keinen schädigenden Einfluß ausgeübt haben, dagegen war mit Sicherheit ein solcher für 0,1 MA zu erwarten, während dies nach den Auflaufzahlen für 0,05 MA zweifelhaft schien. Die ausgeführten Messungen bestätigten diese Erwartung.

Durch Versuch II war eine Schädigung des Wurzel- und Sproßwachstums bei 0,5 MA festgestellt worden. Die Ergebnisse des Versuches IV bestätigen diese Beobachtung, wenngleich aus bereits angeführten Gründen (spezifischer Widerstand des Bodens) die Schädigungsprozente niedriger ausfallen mußten, und brachten weiter den Beleg dafür, daß von 0,01 bis 0,001 MA Stromdichte eine Beeinflussung des Wachstums weder in positiver, noch in negativer Hinsicht stattfindet. Leider läßt sich, wie bei Tabelle 10, welche die Werte der unbehandelten Reihe = 100 setzt, ein Vergleich der einzelnen Behandlungsreihen nicht durchführen, weil die Längenmaße der unbehandelten Gefäße unsicher sind; wir müssen daher diese Gegenüberstellung einem der späteren Versuche überlassen. Die Wurzellängenmessungen gaben auch hier wieder ein Bild größter Schwankungen, während diejenigen der oberirdischen Organe gut übereinstimmten. Selbst bei den unbehandelten Gefäßen, deren

Sproßlängen sehr gut übereinstimmen, ist diese Verschiedenheit der Wurzellängen zu beobachten. Das Längenwachstum der Pfahlwurzel scheint daher keinen geeigneten Beurteilungs-Maßstab bei zu vergleichenden geringen Längenunterschieden zu bieten, vielmehr Bedeutung kommt der Ausbildung der Nebenwurzeln als Indikator einer Beeinflussung zu (siehe Tabelle 11).

Versuch IV

Tabelle 11
Pflanzen-Messungen

Gefäß Nr.	Behand- lung MA	Durchschnittliche Länge der			AM der Länge je Behandlungsreihe der		
		Pflanze cm	Wurzeln cm	Sprosse cm	Pflanzen cm	Wurzeln cm	Sprosse cm
25	0,001	27,9	18,4	9,5	24,5 ± 1,3 m % = 5,3	15,1 ± 1,2 m % = 7,9	9,4 ± 0,1 m % = 1,1
16		21,6	12,6	9,0			
3		25,1	15,7	9,4			
27		23,5	13,9	9,6			
33	0,005	23,6	14,0	9,6	25,8 ± 1,6 m % = 6,2	16,4 ± 1,7 m % = 10,4	9,4 ± 0,1 m % = 1,1
7		28,4	19,2	9,2			
28		28,8	19,4	9,4			
31		22,6	13,0	9,6			
9	0,01	23,0	12,9	10,0	23,5 ± 1,3 m % = 5,5	14,0 ± 1,2 m % = 8,6	9,5 ± 0,2 m % = 2,1
21		20,4	11,2	9,4			
26		26,5	16,9	9,4			
11		24,3	15,0	9,1			
10	0,05	19,6	11,4	8,2	18,5 ± 0,7 m % = 3,8	10,6 ± 0,6 m % = 5,7	7,8 ± 0,1 m % = 1,3
6		18,2	10,7	7,7			
22		16,6	8,8	7,6			
32		19,5	11,6	7,9			
29	0,1	9,0	4,2	4,9	10,5 ± 1,0 m % = 9,5	5,1 ± 0,7 m % = 13,7	5,4 ± 0,3 m % = 5,6
30		13,5	7,3	6,0			
1		9,7	4,9	4,9			
18		10,0	4,2	5,8			
8	unbe- handelt	22,7	14,3	8,7	21,4 ± 0,6 m % = 2,8	12,7 ± 0,6 m % = 4,7	8,7 ± 0,01 m % = 0,01
12		20,0	11,3	8,7			
17		21,2	12,3	8,7			
34		21,7	13,1	8,6			

Bei Betrachtung der Tabelle 11 ist es wieder von großem Interesse, den Einfluß des spezifischen Widerstandes des Bodens innerhalb einer Behandlungsreihe zu verfolgen. An früherer Stelle war der Einfluß der Höhe des spezifischen Widerstandes bei schädigenden Stromdichten bereits nachgewiesen worden. Auch bei diesen

Tabelle 11
Pflanzen-Messungen

Zahl der gemessenen Pflanzen	Zahl der aufgelaufenen Pflanzen	Zahl der Samen mit Keimungsansätzen	Zahl der gekeimten aber nicht aufgelaufenen Samen	Nicht gekeimte Samen	Keimfähigkeit %
50	50	—	—	—	100
49	50	—	—	—	100
47	47	1	—	2	96
50	49	—	1	—	100/99
49	49	—	—	1	98
45	46	—	—	4	92
46	45	—	1	4	92
47	47	—	—	3	94/94
45	46	—	—	4	92
46	46	1	—	3	94
48	48	—	—	2	96
48	48	—	—	2	96/94
49	49	—	—	1	98
48	47	—	1	2	96
47	47	1	—	2	96
47	46	1	1	2	96/96
40	31	7	9	3	94
49	49	—	—	1	98
44	38	3	6	3	94
38	36	6	2	6	88/93
48	48	1	—	1	98
48	48	—	—	2	96
49	49	—	—	1	98
45	45	—	—	5	90/95

Versuch läßt sich diese Beobachtung aufrecht erhalten, wenngleich infolge der erwähnten günstigen Wachstumsbedingungen bei 0,05 MA diese Erscheinung nicht mehr recht zum Durchbruch kommt. Bei nicht hemmenden Stromdichten, also von 0,01 MA abwärts, scheint der Höhe des spezifischen Widerstandes bei diesen geringen Energien keinerlei Bedeutung mehr zuzukommen. Diese Beobachtungen werden jedoch bei den nächsten Versuchen weiter zu prüfen sein.

Die Keimfähigkeit ist durch die angewendeten Stromdichten nicht beeinflußt worden, was auch mit früheren Feststellungen übereinstimmt. In gleicher Weise hatten die Stromdichten 0,001 bis 0,05 MA keine Schädigung der Triebkraft zur Folge, wie bereits aus den Auflaufzahlen bekannt ist, jetzt aber durch die Zahl der Samen mit Keimungsansätzen und der gekeimten aber nicht aufgelaufenen

Samen noch besser belegt werden kann. Erst bei 0,1 MA treten Schädigungen dieser Art auf, was mit den Befunden des Versuches II wiederum gut übereinstimmt.

Das Trockensubstanzgewicht der Einzelpflanzen (Sproß und Wurzel getrennt) wurde in der üblichen Weise bestimmt. Eine Schädigung infolge der Einwirkung der Stromdichten 0,001 bis 0,01 MA konnte nicht festgestellt werden. Deutlich tritt dieselbe jedoch bei 0,1 MA in Erscheinung: für 0,05 MA macht sich der Beginn derselben schwach bemerkbar, jedoch noch innerhalb der Fehlergrenzen.

Da nach den Beobachtungen des Versuches III sich eine Schädigung des Pflanzenwachstums bei Versuchen mit der Methode der Bodendurchströmung zuerst an der Wurzelausbildung bemerkbar macht, wurden nach dem Ausschlämmen die Wurzeln jedes Gefäßes untersucht. Eine schädigende Wirkung kann für die Stromdichte 0,05 MA, wenn auch nur schwach, nachgewiesen werden, was bisher mit der gleicher Sicherheit zu behaupten nicht möglich war. Dieselbe gelangt für 0,1 MA voll zum Ausdruck. Eine begünstigende Wirkung der Stromdichten 0,01 bis 0,001 MA kann an Hand dieser Untersuchungen nicht festgestellt werden. Der Einfluß eines verschiedenen spezifischen Widerstandes der Parallelgefäße ließ sich auch wieder sehr gut verfolgen.

Ergebnis des Versuches IV

1. Von 0,01 MA Stromdichte an und bei geringeren absoluten Stromstärken tritt eine Hemmung des Jugendwachstums der Erbsen bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von $108 \cdot 10^6$ Ohm nicht auf.
2. Von 0,01 MA Stromdichte an und bei geringeren absoluten Stromstärken vermag die Höhe des spezifischen Widerstandes keinen Einfluß auf das Jugendwachstum der Erbsen mehr auszuüben.
3. Eine Begünstigung des Wachstums der Erbsen kann bei Anwendung von Stromdichten bis 0,001 MA herab nicht nachgewiesen werden.
4. Eine Erwärmung des Bodens ist bei einer Stromdichte von 0,1 MA, einer Spannung von 220 V und einem spezifischen Widerstand des Bodens von $138 \cdot 10^6$ bis $180 \cdot 10^6$ Ohm noch nicht einwandfrei nachweisbar.

Versuch V (XIV)

Um die Gleichstrom-225-V-Versuchsreihe zu vervollständigen und mit der Höhe der geprüften Stromdichten, soweit wie es mir technisch möglich war, herabzugehen, wurde in diesem Versuch die Stromdichte nochmals erniedrigt. Nach vielen Schwierigkeiten gelang es, mit 0,0001 MA Stromdichte einen einwandfreien Versuch durchzuführen. Zum Vergleich wurden die Stromdichten 0,001 und 0,01 MA nochmals mitgeprüft, um die auf Grund des vorigen Versuches nicht ausführbare Relation zwischen unbehandelt = 100 und den noch fehlenden Behandlungsreihen 0,01 und 0,001 MA aufstellen zu können. Mit Hilfe des KIRCHHOFFSchen Gesetzes gelingt es, die Stromlinien, welche die unterirdischen Organe der Pflanzen durchströmen, weiter zu verringern, wenn der spezifische Widerstand des Bodens, in welchem die Pflanzen wachsen, ebenfalls herabgesetzt wird. Waren bisher sämtliche Versuche mit Leitungswasser ausgeführt worden, so wurden in dieser Versuchsreihe die oben angegebenen Stromdichten in ihrer Wirkung, sowohl bei Leitungswasser, wie auch bei KNOPScher Lösung untersucht. Neben der leider nicht meßbaren Verringerung der wirk-samen Stromlinien standen den Pflanzen in den Gefäßen mit KNOPScher Lösung Nährstoffe zum Aufbau ihrer Substanz im Überfluß zur Verfügung, was bei den bisherigen Versuchen bei längerer Versuchsdauer nicht der Fall gewesen wäre und bei einem Fehlen mit Recht zu Beanstandungen für die Gültigkeit der Resultate unter gewöhnlichen Verhältnissen hätte Anlaß geben können. Durch die elektrische Behandlung eventuell hervorgerufene mögliche Wachstumssteigerungen, die bisher infolge mangels an genügendem Nährstoffvorrat vielleicht nicht zur Auswirkung hatten gelangen können, hatten jetzt bei ausreichendem Nährstoffvorrat Gelegenheit, sich ungehindert auszuwirken. Zur Prüfung der bisher nicht verwandten Stromdichte 0,0001 MA wurde, wie üblich, eine vierfache Wiederholung vorgesehen. Für die übrigen Behandlungsreihen, welche nur nachgeprüft werden sollten, genügte eine zweifache Wiederholung; es lagen ja bereits sichergestellte Ergebnisse in dieser Richtung vor. In gleicher Weise wurde bei den Behandlungsreihen mit KNOPScher Lösung verfahren, um eventuell auftretende Unterschiede zu erfassen und dann erst in einem großen Versuch mit vierfacher Wiederholung zu überprüfen. Der Mangel an Kohle-Elektroden, die, wie bereits erwähnt, nur sehr schwierig zu beschaffen waren, gestattete leider keine vierfache Wiederholung.

In der Zwischenzeit waren größere Tongefäße von $30 \times 50 \times 15$ cm Größe beschafft worden, die genügend Standraum für 100 Pflanzen boten. Ihr Boden besaß 10 Abtropflöcher, die in unserem Falle aber lediglich für die Luftzirkulation in Frage kamen, da ständig mit einer Sättigung der Wasserkapazität von 57,4 % gearbeitet wurde. Die wirksame Elektrodenfläche konnte bei diesen Tongefäßen erheblich vergrößert und es nur dadurch möglich gemacht werden, mit dem vorhandenen Meßinstrument eine Stromdichte von 0,0001 MA zu erzielen. Jedes Gefäß wurde mit 25 000 Gramm Hohenbockaer Glassand und mit 3600 Gramm Leitungswasser oder Knopscher Lösung beschickt. Die Sättigung der Wasserkapazität (25,1 % des Glassandes) betrug daher 57,4 %. SCHURIGS kurze Erbse fand wiederum als Versuchspflanze Verwendung. Pro Gefäß wurden 100 Samen ausgelegt und so eine einwandfreie Prozentberechnung ermöglicht. Die tägliche Behandlungsdauer gelangte analog derjenigen der vorhergehenden Versuche zur Durchführung. Der Versuch wurde am 6. Juni nachmittags angesetzt und mit der Behandlung am 7. Juni früh begonnen. Die Behandlung der Wassergefäße wurde am 22. Juni abends nach 16 Tagen abgebrochen und diejenige der Lösungsgefäße nach 22 Tagen am 28. abends.

Wie üblich, erfolgte die Verwendung der Gefäße für die einzelnen Behandlungsreihen wiederum in Anlehnung an ihren spezifischen Widerstand. Die Höhe desselben wird natürlich maßgeblich von dem Anfeuchtungsmittel beeinflusst. Die vorgesehenen relativen Stromstärken konnten bei sämtlichen Gefäßen während der Behandlungsdauer aufrecht erhalten werden.

Die Temperaturverhältnisse waren bei diesem Versuch, mit Ausnahme geringer Schwankungen, für sämtliche Gefäße die gleichen. Es wäre höchstens zu bemerken, daß die Gefäße der 0,01-MA-Reihe einen etwas günstigeren Standort während der Nacht besaßen, wie aus der errechneten mittleren Morgentemperatur hervorging. Dafür war aber die Tageserwärmung eine geringere, so daß sich diese Abweichungen annähernd wieder ausgleichen konnten.

Infolge der vorgeschrittenen Jahreszeit und der damit verbundenen außerordentlich starken Erwärmung des Treibhauses während des Tages nahm natürlich auch die Verdunstung der Gefäße zu. Es ließ sich nicht ganz vermeiden, daß einzelne Gefäße für ganz kurze Zeit trotz aufmerksamster Bedienung der Beschattungsanlage einer direkten Sonnenbestrahlung ausgesetzt waren und dadurch eine unliebsame Störung im Wasserverbrauch

durch erhöhte Verdunstung herbeigeführt wurde. Es bildeten sich außerdem im Treibhaus bei völlig geöffneten Lüftungsclappen Luftwirbel, von denen die GefäÙe nicht gleichmäÙig getroffen wurden. Das gleiche war auch bei der allgemeinen Luftzirkulation zu beobachten. Zwischen den ParallelgefäÙen traten daher gröÙere Unterschiede im mittleren täglichen Wasserverbrauch auf. Trotz der auÙerordentlich geringen Stromdichte und gleichwertigen mittleren Temperaturen ist für die 0,0001-MA-Reihe ein erheblich geringerer Wasserverbrauch festzustellen. Auf Grund nachträglicher Beobachtungen glaube ich zur Erklärung hierfür den geschützteren Stand der GefäÙe auf dem Seitentisch des Treibhauses — während die übrigen GefäÙe auf dem Mitteltisch sich befanden — hauptsächlich gegen eine Luftbewegung, die ja im Sommer von maßgeblichem EinfluÙ auf die Verdunstung ist, heranziehen zu können. Es betrug der mittlere tägliche Wasserverlust in Gramm:

Behandlung	KNOPSche Lösung	Leitungswasser
MA	Gramm	Gramm
0,0001	179	139
0,001	191	152
0,01	207	151
unbehandelt	194	147

Die Kontrolle des spezifischen Widerstandes wurde in gleicher Weise wie bei den früheren Versuchen ausgeführt. Für die Morgen- und Abendmessungen sind in der Tabelle 12 die Mittelwerte jedes GefäÙes, jeder Behandlungsreihe, sowie die Extremschwankungen aufgeführt. Es zeigt sich, daß durch die Behandlung eine Veränderung des spezifischen Widerstandes nicht herbeigeführt worden war, was auch an Hand der vorhergehenden Versuche erwartet werden konnte. Unterschiede in der Höhe des spezifischen Widerstandes können bei der Verarbeitung der Ergebnisse wieder zur Untersuchung seines Einflusses bei geringen nicht schädigenden Stromdichten Verwendung finden (siehe Tabelle 12).

Die Aussaat fand, wie bereits erwähnt, am 6. 6. statt und war gegen 5 Uhr beendet. Das Auflaufen begann nach 110 Stunden; bei den unbehandelten GefäÙen zunächst etwas langsamer. Jedoch hatte sich in ganz kurzer Zeit dieser Unterschied wieder ausgeglichen. Das Endergebnis in der Prozenzhöhe der Triebkraft ist für sämtliche Behandlungsreihen das gleiche.

Während der Vegetation bis zum Abbruch des Versuches konnte sowohl bei den GefäÙen mit Leitungswasser wie auch bei denjenigen mit Knopscher Lösung in gleicher Weise wie bei Versuch IV eine

Versuch V

Tabelle 12

Angaben über den spezifischen Widerstand $c = \frac{L_a \cdot R \cdot q}{L_b \cdot l}$
 (Vergleichswiderstand $R = 4000 \text{ Ohm}$)

Gefäß Nr.	Be- handlung MA	Schwankungen von La		Durchschnittl. Wert für La		Durchschnittl. Wert für c		Durchschnittl. Wert für c je Behandlungs- reihe	
		morgens von bis	abends von bis	morgens	abends	morgens	abends	morgens	abends
57	0,0001	26—42	25—44	32	32	113.10 ⁶	113.10 ⁶		
56	Ltg.	29—44	29—46	36	35	138	132	143.10 ⁶	140.10 ⁶
55	Wasser	27—48	27—50	36	35	142	136		
54		32—54	32—55	42	42	181	181		
51	0,001	42—59	42—62	50	51	248	258		
50	Ltg. W	32—47	31—49	38	38	148	148	198.10 ⁶	203.10 ⁶
63	0,01	29—44	29—49	36	36	137	137		
62	Ltg. W	35—49	34—55	41	42	165	172	151.10 ⁶	154.10 ⁶
61		15—49	15—53	30	30	104	104		
60	0,0001	14—43	13—43	27	26	90	85		
59	Knp. L.	14—40	13—43	25	25	81	81	90.10 ⁶	88.10 ⁶
58		14—40	13—43	26	25	85	81		
53	0,001	15—43	15—45	27	27	92	92		
52	Knp. L.	19—51	19—53	33	33	120	120	106.10 ⁶	106.10 ⁶
65	0,01	17—45	16—47	28	28	93	93		
64	Knp. L.	17—47	16—48	29	29	100	100	96.10 ⁶	96.10 ⁶

Hemmung an der Anode nicht beobachtet werden. Der Versuch mit den Wassergefäßen wurde am 22. 6. abends abgebrochen, weil der Nährstoffvorrat der Samen bereits größtenteils aufgebraucht war. Das Ausschlämmen und die weitere Verarbeitung fand am 23. statt. Der Versuch mit den Lösungsgefäßen konnte natürlich ohne Befürchtungen in dieser Hinsicht weitergeführt werden, um die Möglichkeit eines eventuellen späteren Wirkungsbeginnes der elektrischen Behandlung auf die Pflanzen noch zu erfassen. Dieser Versuch wurde am 28. 6. abends beendet und die Verarbeitung der geernteten Pflanzen am nächsten Tage ausgeführt.

Die bei der Verarbeitung der Ergebnisse des Versuches IV vermutete, doch leider nicht beweisbare Indifferenz der elektrischen Energie auf die Erbsen bei Stromdichten von 0,01 MA an abwärts, findet durch die Resultate dieses Versuches ihre volle Bestätigung. Eine Behandlung mit den Stromdichten 0,01 und 0,001 vermag eine Begünstigung des Pflanzenwachstums nicht herbeizuführen, desgleichen auch eine Behandlung mit 0,0001 MA. Die kleinen Schwan-

kungen der Ergebnisse der einzelnen Wasserreihen untereinander stimmen mit denjenigen der Lösungsreihen gut überein, obgleich bei letzteren die Pflanzen sich unter einer geringeren wirksamen Stromlinienzahl befanden. Das Vorhandensein ausreichender Nährstoffmengen macht sich bei der längeren Vegetationszeit der Pflanzen der Lösungsgefäße, wie zu erwarten war, in den Sproßlängen deutlich bemerkbar. Auffallend verhalten sich die Wurzellängen der behandelten zu den unbehandelten Reihen. Die Wurzelbeurteilung wird hierfür vielleicht nähere Tatsachen zu liefern imstande sein. Eine, wenn auch nur geringe Hemmung der Wurzelbildung durch die Behandlung mit diesen schwachen Stromdichten und bei der bekannten Unsicherheit der Wurzellängenwerte anzunehmen, scheint in Anbetracht der gerade entgegengesetzten Ergebnisse des Versuches IV nicht möglich. Eine Schädigung der Triebkraft und selbstverständlich auch der Keimfähigkeit trat nicht ein. Der auf Grund der Ergebnisse des vorigen Versuches leider nicht mögliche Vergleich zwischen unbehandelt = 100 und den einzelnen Behandlungsreihen ist auf Tabelle 13 als Fortsetzung zu denjenigen der höheren Stromdichten weitergeführt. Es kommt darin deutlich die gleichmäßige Sproßentwicklung zum Ausdruck (siehe Tabelle 13).

Die Ergebnisse der Trockensubstanzbestimmung mußten diesen Voraussetzungen entsprechend für sämtliche Behandlungsreihen ebenfalls gleichwertig ausfallen. Die Pflanzen, welche in den Lösungsgefäßen wachsen konnten, brachten aus naheliegender Ursache höhere Sproßgewichte, die unter sich natürlich wieder gleichwertig sind. Eine einwandfreie Begünstigung durch die elektrische Behandlung kann nicht festgestellt werden, wemgleich bei 0,01 MA Stromdichte die Sprosse das höchste Trockensubstanzgewicht zeigten. Zusammenfassend muß man auf Grund der Trockensubstanzbestimmung in Übereinstimmung mit den vorhergehenden Befunden festhalten, daß eine Begünstigung des Pflanzenwachstums nicht nachweisbar ist und daß eine gute prinzipielle proportionale Übereinstimmung zwischen den Wasser- und Lösungsreihen besteht. Dadurch gewinnen die bisherigen Feststellungen bei hohem spezifischen Widerstand des Bodens (Glassand) auch prinzipielle Bedeutung für natürliche Verhältnisse, selbstverständlich unter Berücksichtigung der durch die absolute Höhe des spezifischen Widerstandes bedingten Verschiebung für den Beginn und die Höhe der Schädigung bei den einzelnen Stromdichten. Denn es bewegt sich die Höhe des spezifischen Widerstandes des Acker-

Versuch V

Tabelle 13a
Pflanzen-Messungen

Gefäß Nr.	Behandlung MA	Behandlungsmittel	Gesamtpflanzenlänge cm	Gesamt- Wurzellänge cm	Gesamt- sproß- länge cm	AM je Behandlungsreihe der		
						Pflanzen- länge cm	Wurzel- länge cm	Sproß- länge cm
57	0,0001	Leitg.- Wasser	24,9	14,4	10,5	24,6 ± 0,45 m % = 1,8	14,3 ± 0,45 m % = 3,1	10,3 ± 0,09 m % = 0,87
56			25,3	15,0	10,4			
55			23,3	13,0	10,3			
54			24,8	14,8	10,1			
51	0,001	Leitg.- Wasser	31,4	21,4	10,2	30,9 ± 0,5 m % = 1,62	20,4 ± 1,0 m % = 4,90	10,5 ± 0,4 m % = 3,81
50			30,4	19,4	10,9			
63	0,01	Leitg.- Wasser	27,0	16,4	10,5	28,6 ± 1,6 m % = 5,59	18,0 ± 1,6 m % = 8,89	10,6 ± 0,1 m % = 0,94
62			30,2	19,6	10,7			
68	unbe- han- delt	Leitg.- Wasser	35,3	24,5	10,8	35,3 ± 0,0 m % = 0	24,8 ± 0,3 m % = 1,21	10,5 ± 0,3 m % = 2,86
69			35,3	25,1	10,3			
61	0,0001	Knorp. L.	33,2	16,8	16,4	32,8 ± 0,2 m % = 0,61	16,5 ± 0,14 m % = 0,85	16,3 ± 0,09 m % = 0,55
60			33,1	16,7	16,5			
59			32,7	16,4	16,2			
58			32,3	16,2	16,1			
53	0,001	Knorp. L.	33,8	16,9	16,9	34,3 ± 0,5 m % = 1,46	17,5 ± 0,6 m % = 3,43	16,8 ± 0,1 m % = 0,6
52			34,8	18,1	16,7			
65	0,01	Knorp. L.	33,6	17,1	16,1	33,4 ± 0,2 m % = 0,6	16,6 ± 0,5 m % = 3,01	16,6 ± 0,5 m % = 3,01
64			33,2	16,1	17,1			
66	unbe- han- delt	Knorp. L.	36,0	18,5	17,5	37,6 ± 1,6 m % = 4,26	20,7 ± 2,25 m % = 10,87	16,8 ± 0,6 m % = 3,57
67			39,3	23,0	16,2			

bodens draußen auf dem Felde und diejenige der Gefäße mit Knorscher Lösung auf ungefähr gleicher Höhe, worauf weiter unten noch weiter einzugehen sein wird. Ein Vergleich zwischen der Höhe des spezifischen Widerstandes und den gefundenen Längen und auch der Gewichte der Sprosse zeigt, daß der spezifische Widerstand bei geringen Stromdichten keinen biologischen Einfluß mehr auszuüben vermag und bestätigt somit die Befunde des vorhergehenden Versuches.

Tabelle 13b
Pflanzen-Messungen

Relativ-Zahlen unbehandelt = 100			Zahl der gemessenen Pflanzen	Zahl der aufgelau- fenen Pflanzen	Zahl der nicht auf- gel. aber gekeimten Samen	Zahl der nicht ge- keimten Samen	Keim- fähigkeit %
Pflanzen- länge %	Wurzel- länge %	Sproß- länge %					
69,7	57,7	98,1	98	99	1	1	99
			98	98	0	2	98
			93	94	2	6	94
			95	96/97	0	4	96/97
87,5	82,3	100	97	97	0	3	97
			94	95/96	0	5	95/96
81,0	72,6	101	95	97	0	3	97
			94	94/95	0	6	94/95
100	100	100	94	96	0	4	96
			98	98/97	0	2	98/97
87,2	79,7	97,0	99	98	0	1	99
			92	93	0	7	93
			101	99	0	0	100
			97	97/97	0	3	97/97
91,2	84,5	100	97	98	0	2	98
			95	95/96	0	5	95/96
88,8	80,2	98,8	92	94	0	6	94
			97	97/95	0	3	97/95
100	100	100	95	95	0	5	95
			95	95/95	0	5	95/95

Die Wurzelauswaschung und Bonitierung fand in gleicher Weise wie früher statt. Sie zeigte, daß infolge des Nährstoffüberflusses in den Lösungsgefäßen diese Pflanzen es nicht mehr nötig hatten, ein übermäßig großes Wurzelsystem auszubilden, während die Pflanzen der Wassergefäße auf den herrschenden Nährstoffmangel durch die Ausbildung eines größeren Wurzelsystems reagierten. Eine Begünstigung der Wurzelentwicklung konnte nicht beobachtet werden.

Ergebnis des Versuches V

1. Eine Begünstigung des Pflanzenwachstums durch eine Behandlung mit den Stromdichten 0,01 bis 0,0001 MA bei einer Spannung von 220 V und einem mittleren spezifischen Widerstand des Bodens von $100 \cdot 10^8$ Ohm bei KNO₃ Lösung und $160 \cdot 10^8$ Ohm bei Leitungswasser ist nicht einwandfrei nachweisbar, ebensowenig eine Schädigung.

2. Bei den für diesen Versuch benutzten Stromdichten vermochte die sehr unterschiedliche Höhe des spezifischen Widerstandes des Bodens keinen Einfluß mehr auf die Wachstumsvorgänge auszuüben, wodurch die Feststellung des Ergebnisses II des Versuches IV ihre Bestätigung findet.
3. Die Pflanzen derjenigen Gefäße, die mit Knopscher Nährlösung beschickt waren, bildeten infolge des ihnen zur Verfügung stehenden größeren Nährstoffvorrates gegenüber denjenigen der Wassergefäße ein nicht so großes und ein weniger stark verzweigtes Wurzelsystem aus.

Versuch VI (XV)

Die Versuchsreihen II, IV und V dienten der Untersuchung der Stromdichten 0,4 bis 0,0001 MA in ihrem Einfluß auf das Pflanzenwachstum. Damit waren diejenigen Stromdichten untersucht worden, bei denen eine technisch einwandfreie Versuchsanstellung mit den vorhandenen Apparaturen möglich war. 0,4 MA stellte die höchst erreichbare Stromdichte dar. Mit der Spannung von 220 V war es nicht möglich gewesen, größere Dichten zu erzielen. Diese Höhe ließ sich zudem auch nur in den ersten Tagen der Behandlung aufrecht erhalten. Die Untersuchung geringerer Stromdichten wie 0,0001 MA scheiterte an einem genügend feinen Meßinstrument. Späteren Arbeiten muß daher diejenige noch geringerer Stromdichten vorbehalten bleiben. Die Beschaffung der hierzu notwendigen Meßinstrumente wird jedoch mit Schwierigkeiten verknüpft sein. Bei der Untersuchung dieser Stromdichtenbreite konnte keine Begünstigung irgendwelcher Art beobachtet werden. Es lag nun die Frage nahe, Gleichströme geringerer Spannung in gleicher Weise heranzuziehen, um den Einfluß der Spannung neben demjenigen der Stromdichte zu studieren. Von vornherein ist es auf Grund des Ohmschen Gesetzes selbstverständlich, daß die an die beiden Elektroden des Gefäßes angelegte Spannung ebenfalls die gleiche ist, sofern die Stromdichte und der Gefäßwiderstand die gleichen bleiben. Die übrige Netzspannung wird in den Vorschaltwiderständen vernichtet. Auf Grund unserer Widerstandsmessungen fanden wir für ein Gefäß einen Widerstand von z. B. 1800 Ohm. Bei einer relativen Stromstärke von z. B. 0,015 A muß die angelegte Spannung 27 V betragen, ganz unabhängig von der Netzspannung. Beträgt deren Spannung z. B. 220 V, so müssen 193 V, beträgt diese nur 40 V, so brauchen nur 13 V durch den vorgeschalteten Wasserwiderstand vernichtet zu werden. Hier-

aus geht hervor, daß die Höhe der Netzspannung gleichgültig sein muß. Diese Frage biologisch nachzuprüfen, erachtete ich jedoch als wünschenswert. Es stand, worauf eingangs bereits hingewiesen worden ist, ein Umformer-Aggregat von 220 V Drehstrom auf 40 V Gleichstrom zur Verfügung. Es wurde die Höhe der Stromdichte in ihrem biologischen Einfluß auf das Wachstum der Erbse beobachtet und zu diesem Zweck die Stromdichten 0,1, 0,05, 0,01 und 0,001 MA angewendet, um mit den entsprechenden Ergebnissen, die bei 220 V erhalten worden waren, Vergleiche anstellen zu können.

Die Art der Tongefäße, ihre Beschickung mit Glassand und Leitungswasser, die Behandlungsdauer, Art und Zahl der Versuchspflanzen entsprachen vollständig den Angaben des Versuches V, so daß an dieser Stelle nicht mehr näher darauf eingegangen zu werden braucht. Der Versuch wurde am 9. August angesetzt und sofort um 1 Uhr mittags mit der Behandlung begonnen, die nach 20 Tagen am 28. 8. abends ihr Ende fand.

Die in Aussicht genommene Stromdichte 0,1 MA konnte nicht in den Versuch einbezogen werden weil die Spannung von 40 V nicht mehr hierzu ausreichte, was sich bei der Einstellung der relativen Stromstärke herausstellte. Die Stromdichte 0,06 MA stellt daher den höchstmöglichen Behandlungswert dar.

Leider zeigte bald das Zurückgehen der relativen Stromstärke zunächst bei den Gefäßen mit 0,06 MA Stromdichte an, daß es nicht möglich war, selbst die reduzierte Stromdichte von 0,06 MA während der ganzen Versuchsdauer zu halten. Auch bei den Gefäßen mit 0,05 MA Stromdichte war vom 21. 8. ein Zurückgehen der relativen Stromstärke festzustellen; dieses hielt sich jedoch in erträglichen Grenzen. Um die vorgeschriebenen Stromdichten überhaupt einigermaßen für die letzten Tage der Behandlung halten zu können, mußten am 25. VIII. sämtliche Gefäße mit 500 ccm. KNOPScher Lösung beschickt werden.

Die Durchschnittstemperaturen bewegten sich für sämtliche Gefäße in gleicher Höhe. Die Frühtemperaturen stimmen sehr gut überein. Infolge der Behandlung traten entsprechend den wirksamen Stromdichten geringe tägliche Temperatursteigerungen auf, dieselben entsprechen denjenigen bei 220 V Gleichstrom.

Der mittlere tägliche Wasserverbrauch der einzelnen Behandlungsreihen stimmt in Anbetracht der gleichmäßigen Morgentemperaturen und der nur geringen Erhöhung infolge der Behandlung gut überein.

Die Beobachtung und Kontrolle des spezifischen Widerstandes des Bodens wurde in üblicher Weise ausgeführt. Hierbei zeigte sich, daß der spezifische Widerstand der Gefäße in gleicher Weise wie bei den früheren Versuchen mit 220 V Gleichstrom durch die tägliche siebenstündige Behandlung mit 0,05 MA Stromdichte bei einem Widerstand von $164 \cdot 10^6$ Ohm noch nicht erhöht wird. Bei Erhöhung der Stromdichte beginnt auch die Erhöhung des spezifischen Widerstandes einzusetzen wie bei diesem Versuch durch die Behandlung mit 0,06 MA bereits, wenn auch nur andeutungsweise, ersichtlich wurde, was ebenfalls mit den früheren Feststellungen bei 220 V Spannung übereinstimmt. Die Schwankungen der La-Werte vom höchsten bis zum niedrigsten Wert während der Gesamtdauer der Behandlung bewegen sich in gleicher Breite wie bei den 220 V-Versuchen. Bei den Parallelgefäßen der einzelnen Behandlungsreihen waren nur geringe Unterschiede in der Höhe des spezifischen Widerstandes aufgetreten. Es schwankte der spezifische Widerstand bei den Morgen- und Abendmessungen im Mittel bei 0,06 MA von $174-181 \cdot 10^6$ Ohm, bei 0,05 von $164-164 \cdot 10^6$ Ohm, bei 0,01 von $206-205 \cdot 10^6$ Ohm, bei 0,001 MA von $177-179 \cdot 10^6$ Ohm.

Die Aussaat der Erbsen fand am 9. VIII. in gleicher Weise wie früher statt. Das Auflaufen setzte in der Nacht vom 13. zum 14. VIII. nach ungefähr 108 Stunden ein mit der gleichen Schnelligkeit wie bei den vorhergehenden Versuchen. Aus den niedergelegten mittleren Auflaufprozenten jeder Behandlungsreihe war zu ersehen, daß bei 40 V Spannung und einer Stromdichte von 0,05 MA die bei 220 V festgestellte Auflaufhemmung nicht zu beobachten war, obgleich der spezifische Widerstand des Bodens höher wie bei Versuch IV lag. Bei 0,06 MA allerdings trat dann die erwartete Auflaufhemmung und eine, wenn auch nur ganz schwache Triebkraftschädigung ein. Hierdurch — die nachfolgenden Feststellungen unterstützen diese Ansicht — liegt die Vermutung nahe, daß durch irgendwelche unkontrollierbaren Umstände das rasche Auflaufen der 0,05 MA-Reihe ermöglicht worden war.

Wie bereits erwähnt, wurde die Behandlung am 28. VIII. abends abgebrochen. Das Ausschlämmen und die weitere Verarbeitung der Pflanzen konnte erst am 30. ausgeführt werden, weil der 29. ein Sonntag war und aus diesem Grunde die benötigten Hilfskräfte fehlten. Eine vorherige Beobachtung und Zählung der geschädigten Pflanzen jedes Gefäßes ergab für die einzelnen Stromdichten das gleiche Bild, wie es bei den früheren Versuchen (siehe Versuch II und IV) beobachtet werden konnte. Bei den Stromdichten 0,05 und

0,06 MA war eine erhebliche Zahl der aufgelaufenen Pflanzen geschädigt, während die übrigen Stromdichten einen hemmenden Einfluß auf die Wachstumsvorgänge der Erbsen nicht auszuüben vermochten.

Diese Feststellungen über das Wachstum der Erbsen bei 40 V Spannung stimmen mit denjenigen bei 220 V gut überein und bringen wiederum einen Beweis dafür, daß die Höhe der Spannung von untergeordneter Bedeutung ist. Bei den unbehandelten Gefäßen konnte selbstverständlich ein normaler Stand beobachtet werden, desgleichen bei den Gefäßen, die mit 0,01 MA und geringeren Stromdichten behandelt worden waren.

Die Ergebnisse der Gesamtpflanzenlängen-, der Wurzel- und Sproßlängenmessungen ergaben für diesen Versuch bei 40 V ebenfalls das gleiche Bild wie die früheren Untersuchungen bei 220 V. Eine Schädigung des Wurzel- und Sproßwachstums ist bei 0,05 MA Stromdichte bereits deutlich erkennbar; eine Begünstigung dagegen

Versuch VI

Tabelle 14a
Pflanzen-Messungen

Gefäß Nr.	Behandlung MA	Gesamtlänge der			AM je Behandlungsreihe der		
		Pflanz. cm	Wurzeln cm	Sprosse cm	Pflanzen- Länge	Wurzel- Länge	Spross- Länge
80	0,06	22,3	12,1	10,2	21,6 ± 0,72 m % = 3,33	11,5 ± 0,43 m % = 3,74	10,1 ± 0,30 m % = 2,97
81		20,2	10,7	9,5			
82		22,4	11,8	10,5			
70	0,05	23,8	12,0	11,8	23,1 ± 0,70 m % = 3,03	11,7 ± 0,40 m % = 3,42	11,3 ± 0,32 m % = 2,83
71		24,3	12,6	11,7			
72		23,1	11,7	11,3			
73		21,1	10,7	11,4			
75	0,01	29,3	15,2	14,0	29,9 ± 0,66 m % = 2,21	16,1 ± 0,47 m % = 2,92	13,8 ± 0,29 m % = 2,10
76		30,9	16,7	14,3			
77		31,2	17,1	14,1			
78		28,4	15,4	13,0			
84	0,001	32,1	18,6	13,3	31,2 ± 0,56 m % = 1,79	17,6 ± 0,92 m % = 5,23	13,5 ± 0,43 m % = 3,19
85		32,1	19,7	12,4			
86		30,8	16,5	14,3			
87		29,8	15,7	14,1			
74	unbe- han- delt	29,9	15,5	14,3	29,7 ± 0,45 m % = 1,52	16,0 ± 0,44 m % = 2,75	13,75 ± 0,50 m % = 3,64
79		28,8	15,5	13,3			
83		29,3	15,6	13,8			
92		30,9	17,3	13,6			

bei den geringeren Stromdichten nicht nachweisbar. Auffallend bleibt jedoch eine bereits öfters beobachtete größte Sproßlänge bei 0,01 MA Stromdichte, deren Mittelwert leider bei diesem Versuch durch die abweichende Sproßlänge des Gefäßes 78 sehr gedrückt wird. Eine Hemmung der Triebkraft konnte ebenfalls übereinstimmend mit früheren Versuchen nicht nachgewiesen werden. In der Tabelle 14 sind die Angaben für die einzelnen Gefäße zusammengestellt (siehe Tabelle 14).

Die Vorbereitungen zur Trockensubstanzbestimmung, die bisher derart ausgeführt worden waren, daß die Pflanzen oberhalb des Muttersamens durchgeschnitten und sowohl die Sprosse wie auch die Wurzeln plus Muttersamen in großen Blechgefäßen getrennt getrocknet wurden, sind mit diesem Versuch beginnend abgeändert worden. Es hatte sich bei der Wurzel ausschlämmung und Verarbeitung herausgestellt, daß eine restlose Erfassung derjenigen Muttersamen, die ein neues Individuum ausgebildet hatten und eine

Tabelle 14b
Pflanzen-Messungen

Relativ-Zahlen unbehandelt = 100			Zahl der gemessen- en Pflanzen	Zahl der aufgelau- fenen Samen	Zahl der nicht aufgelaufenen aber gekeimten Samen	Zahl der nicht ge- keimten Samen	Keim- fähigkeit %
Pflanzen	Wurzeln	Sprosse					
72.7	71,9	73,5	96	98	0	2	98
			89	89	0	11	89
			89	90	0	10	90,92
77.8	73,1	82,2	92	96	0	4	96
			94	95	0	5	95
			95	91	4	5	95
			90	95	0	5	95,95
100.7	100,6	100,4	90	92	0	8	92
			96	96	0	4	96
			95	95	0	5	95
			95	96	0	4	96,95
105.1	110,0	98,2	92	93	0	7	93
			95	95	0	5	95
			97	97	0	3	97
			94	91	3	6	94,95
100	100	100	96	97	0	3	97
			85	86	0	14	86
			94	92	2	6	94
			96	97	0	3	97,94

Trennung derselben von den nicht gekeimten Samen trotz größter Aufmerksamkeit nicht mit genügender Sicherheit möglich war. Daher wurde von nun an das entwickelte Wurzelsystem zur Trockensubstanzbestimmung herangezogen, indem nach gleichartiger Trennung von Wurzel und Sproß wie früher nun auch der Muttersamen von der Wurzel abgeschnitten wurde. Damit war auch die Möglichkeit gegeben, das produzierte Wurzelsystem gewichtsmäßig einwandfrei zu erfassen. Die gefundenen Wurzelgewichte bestätigen durch ihre bessere Übereinstimmung den Vorteil und die größere Genauigkeit dieses Verfahrens. Es stand zu erwarten, daß die Durchschnittsgewichte jeder Behandlungsreihe sich ihren Längen annähernd entsprechend einordnen würden. Die 0,06 MA-Gefäße brachten sowohl für Sproß wie auch für Wurzel die niedrigsten Werte und die 0,01 MA-Gefäße die höchsten. Eine Schädigung ist bei 0,05 MA Stromdichte beginnend nachweisbar. Von 0,01 MA Stromdichte an ist eine wachstumshemmende Wirkung nicht mehr zu beobachten.

Die Wurzelentwicklung und Ausbildung, die wir als empfindliches Reagenz auf eine Stromeinwirkung bereits kennen gelernt haben, bestätigt die bisherigen Ergebnisse. 0,06 und 0,05 MA Stromdichte üben bei 40 V Spannung einen schädigenden Einfluß aus in gleicher Weise wie bei 220 V Spannung. Eine erhebliche Zunahme kleiner und kranker Wurzeln, sowie derjenigen mit verkümmelter Pfahlwurzel liefern hierfür einen einwandfreien Beweis. Die Zahl derjenigen Pflanzen, die ein normales Wurzelsystem ausbildeten, ist dabei entsprechend zurückgegangen. Obgleich die Stromdichte 0,01 MA bei den bisherigen Feststellungen dieses Versuches immer sehr günstige Ergebnisse gezeitigt hatte, zeigte doch die Wurzeluntersuchung, daß eine, wenn auch nur schwache Hemmung der Wurzelbildung vorhanden gewesen sein muß. Bei 0,001 MA Stromdichte ist das Wurzelsystem am kräftigsten ausgebildet worden, was mit den entsprechenden Ergebnissen früherer Versuche übereinstimmt.

Ergebnis des Versuches VI

Die Höhe der Spannung des Gleichstroms als solche vermag bei gleicher Stromdichte keinen biologischen Einfluß auf das Wachstum der Erbsen auszuüben, sofern ebenfalls der spezifische Widerstand des Bodens derselbe ist und die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes vorausgesetzt werden kann.

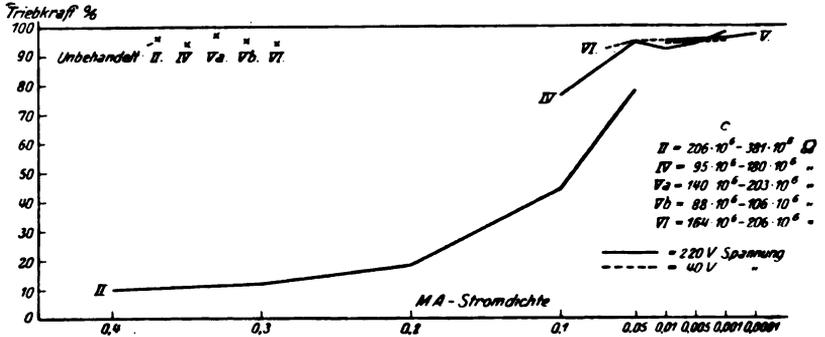
Zusammenfassung der Ergebnisse der Gleichstrom-Versuche

Entsprechend der gestellten Aufgabe: den Einfluß der elektrischen Energie auf Keimfähigkeit, Triebkraft und Jugendwachstum der Erbsen festzustellen, wurde in diesem ersten Teil unserer Arbeiten zunächst der Gleichstrom als Stromart herangezogen und gestaffelt nach Stromdichten sein Einfluß auf die Wachstumsvorgänge untersucht. Beginnend mit der größten überhaupt erzielbaren Stromdichte 0,4 MA wurden in den einzelnen Versuchen folgende Stromdichten angewendet: 0,3, 0,2, 0,1, 0,05, 0,01, 0,005, 0,001 und 0,0001 MA. Neben der Höhe der Stromdichte wurde auch versucht, die Fragen der Bedeutung der Höhe des spezifischen Widerstandes des Bodens und der Spannung des Stromes zu klären.

Eine Begünstigung des Wachstums der Erbsen durch die elektrische Behandlung konnte bei den vorliegenden Versuchen nicht in einem einzigen Falle einwandfrei nachgewiesen werden. Die gewonnenen Ergebnisse beweisen vielmehr, daß die elektrische Bodendurchströmung bei höheren Stromdichten eine Schädigung des Pflanzenwachstums auslöst, um dann bei geringeren Stromdichten sich indifferent zu verhalten, wobei jedoch die Frage für ganz schwache Stromdichten, z. B. für 10^{-8} — 10^{-12} Ampere einer besonderen Untersuchung bedarf. Stellt man für die einzelnen Stromdichten bei den angeführten Versuchen die erhaltenen Triebkraftwerte oder Auflaufzahlen zusammen, so erhält man bei graphischer Darstellung eine Kurve, die mit Abnahme der Stromdichte zunächst steil ansteigt, um dann in eine gerade Linie auszulaufen. Bei dieser Kurve muß man natürlich die Versuchsbedingungen, unter welchen die Ergebnisse gewonnen sind, berücksichtigen. Infolge des Unterschiedes in der Höhe des spezifischen Widerstandes der Versuche II und IV erhält die Kurve eine Verschiebung, die jedoch auf Grund der früheren Ausführungen über den Wert des spezifischen Widerstandes, die an dieser Stelle nicht mehr erläutert zu werden braucht, ohne weiteres erklärlich ist. Der maßgebliche Einfluß des spezifischen Widerstandes des Bodens auf die Versuchsergebnisse bei einer schädigenden Wirkung der Stromdichte ist klar ersichtlich. Es muß daraus die Folgerung gezogen werden, jeden Versuch nur bei gleichzeitiger Kenntnis der Stromdichte und des spezifischen Widerstandes des Bodens zu beurteilen, woran es bisher ausnahmslos gefehlt hat. Bei Stromdichten unter 0,01 MA kommt der Höhe des spezifischen Widerstandes weniger Bedeutung zu, wie im Verlauf der Versuche mehrfach nachgewiesen werden konnte (vgl. Vers. V). — Siehe Tabelle 15.

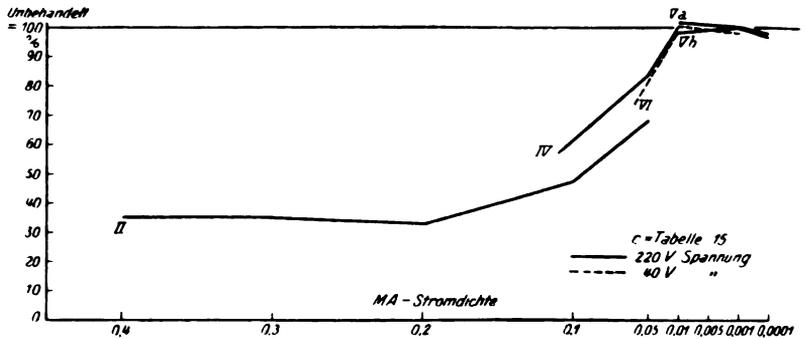
Die Keimfähigkeit der Erbse unterliegt in viel geringerem Maße den Einflüssen der elektrischen Behandlung. Wie Versuch II zeigte, tritt erst bei 0,2 MA eine Schädigung und Hemmung der Keimungsvorgänge im Samen ein. Hierbei ist aber zu beachten, daß dieser Wert unter für den keimenden Samen sehr ungünstigen Bedingun-

Tabelle 15



gen gewonnen wurde. Der spezifische Widerstand des Bodens war bei diesem Versuch außerordentlich hoch. Bei normalem spezifischem Widerstand ist daher eine Schädigung der Keimfähigkeit erst bei einer höheren Stromdichte zu erwarten.

Tabelle 16



Den Einfluß, welchen die Bodendurchströmung mittels Gleichstrom 220 V und 60 V nach den ausgeführten Versuchen auf das Jugendwachstum der Erbse ausübt, können wir, graphisch dargestellt, aus der Tabelle 16 entnehmen. Wie bereits in den Zusammenfassungen am Schluß jeder Versuchsbeschreibung ausgeführt worden ist, erkennen wir jetzt, daß bis zur Stromdichte 0,05 MA eine mehr oder minder starke, von dem spezifischen Widerstand des Bodens abhängende Hemmung des Wachstums zu beobachten ist. Von

0,01 MA an vermag die Bodendurchströmung keinen schädigenden Einfluß mehr auszuüben. Eine Förderung des Wachstums ist jedoch nicht nachweisbar. Es scheint daher nicht der Fall zu sein, daß bei dieser elektrischen Behandlungsart der Pflanzen in gleicher Weise wie bei so vielen Mitteln chemischer oder physikalischer Natur auf den hemmenden Teil der Einwirkungskurve der indifferente und darauf der fördernde folgen. Der Vorwurf, der hierbei erhoben werden könnte, die Untersuchung ist nicht auf bedeutend geringere Stromdichten ausgedehnt und dadurch der fördernde Teil der gedachten Kurve nicht erfaßt worden, besteht theoretisch zu recht. Denkt man jedoch an die zahlreichen Versuche älterer Forscher, z. B. diejenigen von WOLLNY und seiner Zeitgenossen, die mit Meidinger-Elementen auf großen Versuchsbeeten arbeiteten, dabei natürlich nur kleinste Stromdichten anwenden und eine Begünstigung des Wachstums nicht feststellen konnten, so ist unsere Kenntnis der Verhältnisse bei diesen sehr schwachen Stromdichten, wenn auch gänzlich ungewiß, dennoch nicht gleich null. Eine einwandfreie Untersuchung muß natürlich erstrebt werden.

Bei Versuch IV konnten leider die Verhältniszahlen der Sproßlängen der behandelten Reihen zu unbehandelt = 100 nicht aufgestellt werden. Die später durchgeführten Versuche V sowohl bei Leitungswasser wie auch bei KNOPScher Lösung zeigten jedoch deutlich, daß bei den Stromdichten 0,01—0,001 MA die gleichen Sproßlängen erzielt werden wie bei unbehandelt, weil sich die Pflanzen im Jugendstadium der Behandlung gegenüber indifferent verhalten. Stellt man auf Grund dieser Überlegung für die unbehandelte Sproßlänge des Versuches IV den Durchschnittswert der Sproßlängen 0,01 bis 0,0001 MA = 9,4 cm auf, so erhält man für die Sproßlängen der Stromdichten 0,01 und 0,05 MA, auf welche es lediglich ankommt, um den Anschluß an den Versuch II zu gewinnen, folgende Prozentzahlen (vgl. Tabelle 11):

Sproßlänge unbehandelt	—	100%
„ 0,1 MA	—	57%
„ 0,05 MA	—	83%

Die gestrichelte Linie der Tabelle 16 gibt die Kurve der errechneten Werte des Versuches IV wieder. Der Einfluß des spezifischen Widerstandes des Bodens ist in der bekannten Weise wieder klar ersichtlich. Als wertvoll erscheint die Tatsache festzustellen, daß bei 0,01 MA Stromdichte eine Hemmung des Sproßwachstums nicht mehr auftritt. Durch die Wurzelbeurteilung läßt sich eine solche auch nicht mehr nachweisen. — Siehe Tabelle 16.

Die Trockensubstanzgewichte der Erbsensprosse sind natürlich maßgeblich durch das Ergebnis der elektrischen Behandlung auf Triebkraft, Keimfähigkeit und Jugendwachstum beeinflusst und bringen daher die Wirkung der elektrischen Behandlung auf sämtliche Wachstumsvorgänge zum Ausdruck. Aus diesem Grunde muß diese Einfluß-Kurve das gleiche Bild wie die vorgehenden bieten.

Die Zahl der Stromlinien, welche die keimenden Erbsensamen und später das Wurzelsystem der Erbsenpflanzen durchströmen, verursacht die wachstumshemmenden Wirkungen des Stromes. Ihre Zahl hängt nach dem KIRCHHOFFSchen Gesetz von zwei Größen ab: von dem spezifischen Widerstand des organischen Samen- und Wurzelgewebes und des anorganischen Wachstums-Mediums, des Bodens, wie bereits in der Einführung eingehend auseinandergesetzt worden ist. Die große Bedeutung, die der Höhe des spezifischen Widerstandes des Bodens bei der Beurteilung des Einflusses einer Stromdichte, allerdings nur auf den hemmenden Teil der Einflußkurve, zukommt, geht aus den angeführten Versuchen, besonders aus Versuch III, klar hervor.

Die Höhe der Stromspannung führt, wie zu erwarten war, eine Veränderung der Einfluß-Intensität einer Stromdichte auf das Pflanzenwachstum analog dem spezifischen Widerstand weder in fördernder noch in hemmender Hinsicht herbei, wie aus den Ergebnissen des Versuches VI hervorgeht. Lediglich die absolute Stromstärke, die Zahl der wirksamen Stromlinien, vermag die Wachstumsvorgänge der Erbsen unabhängig von der Spannung zu beeinflussen. Der Höhe der Spannung kommt nach dem Ohmschen Gesetz bei der Versuchsanstellung insofern Bedeutung zu, sobald es sich darum handelt, eine bestimmte relative Stromstärke durch das Versuchsgefäß hindurch zu schicken.

Die Wurzeln der Pflanzen, welche der Stromeinwirkung bei der Methode der Bodendurchströmung direkt ausgesetzt sind, werden daher in erster Linie auf eine Behandlung durch ihre Wuchsform reagieren. So war es bei den vorliegenden Versuchen möglich, eine hemmende Wirkung der elektrischen Behandlung an Hand der Wurzel-Bonitierung und Untersuchung noch einwandfrei nachzuweisen, während die anderen zur Beurteilung sonst herangezogenen Beobachtungen und Befunde eine Hemmung der Wachstumsvorgänge nicht mehr erkennen ließen. Daher ist bei der Beurteilung von Pflanzen, die an ihren oberirdischen Organen ein indifferentes Verhalten der elektrischen Behandlung gegenüber erkennen lassen,

eine eingehende Wurzeluntersuchung unbedingt anzustreben und notwendig.

Der durchströmte Erdboden oder in unserem Falle der angefeuchtete Glassand ist vom elektrochemischen Standpunkt als Leiter II. Klasse anzusprechen, der bei einem Stromdurchgang einer chemischen Zersetzung unterliegt. Diese Elektrolyse findet an den Kohlen-Elektroden statt, wobei Kohle — als Säuren und Basen gegenüber sehr träge — in der Absicht gewählt worden war, schädliche Zersetzungserscheinungen, soweit wie möglich, zu verhindern. Durch das Auftreten der Kationen und Anionen, die bei der Trägheit der Kohle-Elektroden mit dem Lösungsmittel und anderen Substanzen sofort in chemische Reaktionen eintreten, mußte sich natürlich der spezifische Widerstand des Elektrolyten verändern. Bei unseren Versuchen machte sich erst bei Stromdichten über 0,05 MA eine Erhöhung des spezifischen Widerstandes als Folge der täglichen siebenstündlichen Behandlung bemerkbar. Nach den FARADAYSchen quantitativen Gesetzen entsprechen die Zersetzungserscheinungen der aufgewendeten Elektrizitätsmenge. Daher ist bei Stromdichten unter 0,05 MA die Gefahr einer stärkeren Bildung schädlicher Substanzen infolge der Elektrolyse und hierdurch eine Schädigung des Pflanzenwachstums nicht mehr sehr zu befürchten.

Bei Anwendung von Stromdichten höher als 0,01 MA wurde an der Anode eine starke Schädigung, z. T. eine völlige Unterbindung des Pflanzen-Wachstums beobachtet. Da bei einer Elektrolyse an der Anode die Haloide, OH, die Säurereste NO_3 , SO_4 , PO_4 , ClO_3 und alle Körper, die mit H, NH_4 und einem Metall einen Elektrolyten bilden können, abgeschieden werden und größtenteils scharfe Pflanzengifte darstellen, so ist eine Hemmung des Pflanzenwachstums an der Anode gut erklärlich.

Die Erwärmung des Erdbodens oder des Glassandes, die für die Beurteilung von Versuchen anderer Forscher, besonders von LÖWENHERZ, welche eine Förderung des Wachstums nachweisen konnten, eine große Rolle spielt, konnte bei unseren Versuchen erst durch eine Behandlung mit Stromdichten über 0,1 MA einwandfrei herbeigeführt werden. Selbstverständlich ist auch hierauf der spezifische Widerstand des Bodens von Einfluß. Eine Begünstigung des Pflanzenwachstums durch die Erwärmung des Bodens infolge der elektrischen Behandlung war somit ausgeschlossen; denn dort, wo eine Erwärmung auftrat, war die hemmende Wirkung des Stromes bereits so stark, daß die Schädigung der Pflanzen klar zum Ausdruck kam.

Bei der Einstellung der relativen Stromstärke der einzelnen Gefäße wurden bei Verwendung höherer Stromdichten mit 0,05 MA beginnend Polarisations-Erscheinungen beobachtet. Nach Einschalten des betreffenden Gefäßes zeigte im ersten Augenblick der Zeiger des Meßinstrumentes einen bestimmten Wert an, um darauf sofort zurückzugehen. Die durch die Zersetzung des Elektrolyten, natürlich auch des vorgeschalteten Wasserwiderstandes, hervorgerufene elektromotorische Gegenkraft — der Polarisationsstrom — welcher dem polarisierenden Strom entgegengesetzt wirkt, machte sich bemerkbar. Bei der Einstellung der relativen Stromstärke mußte auf das Auftreten der Polarisationsströme daher sehr geachtet werden, um die vorgeschriebene Stromdichte während der Behandlungsdauer auch wirklich inne zu halten. Zu diesem Zwecke durfte eine zweite Kontrolle sofort nach dem erstmaligen Regulieren der Wasserwiderstände und dem Einstellen der Stromstärke nicht unterlassen werden.

G. Versuche mit Wechselstrom

Nachdem durch die Versuche II bis VI für niedrig gespannten Gleichstrom die biologische Wirksamkeit auf Keimfähigkeit, Triebkraft und Jugendwachstum der Erbsen in einer Breite von 0,4 bis 0,0001 MA Stromdichte festgestellt, sowie die Bedeutung des spezifischen Widerstandes des Bodens und diejenige der Stromspannung geklärt worden waren, wurde die Einwirkung des Wechselstromes bei Anwendung der Methode der Bodendurchströmung in gleicher Richtung untersucht.

Die ersten genaueren Versuche mit Wechselstrom hatte LÖWENHERZ aufgenommen. Er konnte durch seine Versuche feststellen, daß Wechselstrom nicht in dem gleichen Maße schadet wie Gleichstrom. Eingangs war bereits erwähnt worden, daß LÖWENHERZ bei diesen Versuchen eine Begünstigung des Pflanzenwachstums feststellen zu können glaubte, die allerdings heute als indirekte Wirkung der elektrischen Behandlung durch die Erwärmung des Bodens angesehen wird. GASSNER, der diese Versuche nachprüfte, konnte eine Förderung nicht feststellen. Genaue Angaben und Beobachtungen über die biologische Wirksamkeit des Wechselstromes auf das Pflanzenwachstum liegen z. Zt. jedoch nicht vor. Versuche sind wohl in größerer Zahl gemacht worden, aber irgendwelche positiven Ergebnisse derart, daß sie jederzeit unter gleichen Bedingungen wiederholt werden können, sind nicht vorhanden.

Es standen für unsere Versuche zur Verfügung: ein fünfzig-periodischer Wechselstrom von 225 V und ein fünfundzwanzig-periodischer Wechselstrom von 60 V Spannung. Die Technik der Versuchsanstellung blieb natürlich dieselbe wie bei den Gleichstromversuchen, so daß hierüber nichts Neues zu berichten ist. Zunächst wurde der Einfluß der Stromdichte untersucht, um das Einsetzen der wachstumshemmenden Wirkung der Behandlung festzulegen und von dieser Stromdichte aus dann zu geringeren Stromdichten übergehend eine eventuell mögliche begünstigende Wirkung erfassen zu können. Es läßt sich ferner die Frage nach der Bedeutung der Periodenzahl des Wechselstromes verfolgen, für welche verschiedene Forscher (GASSNER und SCHEMINSKY) die These aufgestellt haben: wenn viele Wechsel auf eine kleine Intensität des Stromes entfallen, dann bleibt der Strom wirkungslos; ist hingegen die Frequenz niedrig, die Intensität groß, dann treten starke Schädigungen auf. Zum Vergleich mit den Gleichstromversuchen bedürfen natürlich der spezifische Widerstand des Bodens und die Höhe der Spannung weiterer Beachtung.

Versuch VII. (XVII)

Es wurden zunächst die Stromdichten 0,2, 0,1, 0,05, 0,01 und 0,001 MA zur Einwirkung gebracht in der Absicht, den kritischen Punkt der beginnenden Hemmung bei Triebkraft, Keimfähigkeit und Jugendwachstum für die später aufzustellende Einflußkurve des Wechselstromes in gleicher Weise wie bei den entsprechenden Gleichstromversuchen zu erfassen und festzulegen. Aus diesem Grunde wurde zunächst nach den Beobachtungen anderer Forscher infolge des bereits angeführten Gesetzes von GASSNER-SCHEMINSKY die Spannung 60 V, die eine geringere Periodenzahl aufweist und darum stärkere Schädigungen auslösen soll, angewendet.

Die technischen Voraussetzungen für die Versuchsanstellung, wie z. B. die Gefäße und ihre Beschickung mit Sand und Feuchtigkeit (3600 Gramm KNOPSche Lösung), Samenart und Zahl, sowie die tägliche Behandlungszeit sind die gleichen wie bei den vorhergehenden Versuchen. Der Versuch wurde am 23. 9. vormittags angesetzt, die Behandlung bereits nachmittags 1 Uhr aufgenommen und am 18. 10. abends nach 25½ Tagen abgebrochen.

Zur Messung der relativen Stromstärke stand ein Präzisions-Hitzdraht-Amperemeter mit zwei Meßbereichen von HARTMANN & BRAUN zur Verfügung. Bei gedrückter Taste zeigte das Instrument einen Bereich von 0 bis 100 MA, bei nicht gedrückter Taste

den fünffachen Wert von 0 bis 500 MA an. Meine Bemühungen, ein noch empfindlicheres Instrument zu beschaffen, schlugen leider fehl. Die Berechnung der relativen Stromstärke jeden Gefäßes wurde nach den üblichen Gesichtspunkten ausgeführt.

Für die Behandlungsreihen mit den Stromdichten 0,1 bis 0,001 MA war es möglich gewesen, die wirksame relative Stromstärke während der ganzen Versuchsdauer aufrecht zu erhalten. Dagegen gelang dies nicht in Anbetracht der geringen Spannung für die Stromdichte 0,2 MA. Hier begann die relative Stromstärke bereits nach $12\frac{1}{2}$ Tagen langsam zurückzugehen.

Die Temperaturen wurden wie früher vor und nach jeder siebenstündigen Behandlung abgelesen. Eine Auswertung dieser täglichen Messungen zeigte überraschenderweise, daß die sonst gewohnte Übereinstimmung der Morgentemperaturen der einzelnen Behandlungsreihen bei diesem Versuch empfindlich gestört worden ist. Am 27. September mußte nämlich die Zentralheizung des Treibhauses angestellt werden, um die beginnende starke nächtliche Abkühlung des Glashauses zu vermeiden. Die große Zahl der Gefäße machte eine Aufstellung sowohl auf dem Mitteltisch, wie auch auf dem Seitentisch der Warm-Abteilung notwendig. Weil die Heizungsrohren unter dem Seitentisch des Gewächshauses entlang geführt sind, mußten mit Inbetriebnahme derselben zwischen den Temperaturen der Gefäße beider Tische Unterschiede auftreten. Die Behandlungsreihen 0,2, 0,001 und unbehandelt standen auf dem Mitteltisch und befanden sich somit während der Versuchsdauer unter weniger günstigen Temperatur-Verhältnissen. Die durchschnittliche Temperatur-Differenz betrug 1° C. Die tägliche Temperaturerhöhung der Gefäße hatte infolge der langsam abnehmenden täglichen Steigerung der Gewächshaustemperatur wieder nachgelassen. Eine Erwärmung durch die Behandlung (Joulesche Wärme) ist erst bei 0,2 MA nachweisbar. Weil Knopsche Lösung als Anfeuchtungsmittel Verwendung gefunden hatte und dadurch der spezifische Widerstand des Sandes ziemlich niedrig war ($c = 56 \cdot 10^6$ bis $81 \cdot 10^6$ Ohm) setzte derselbe dem Stromdurchgang keinen großen Widerstand entgegen. Eine Erwärmung des Sandes bereits durch eine geringere Stromdichte, wie z. B. durch 0,1 MA bei Gleichstrom (siehe Tabelle 9 = $233 \cdot 10^6$ bis $265 \cdot 10^6$ Ohm), war daher nicht möglich.

Durch die Unterschiede in der Höhe der Durchschnittstemperaturen der einzelnen Behandlungsreihen mußte die tägliche Wasserverdunstung der Gefäße beeinflusst werden. So verbrauchten

diejenigen Behandlungsreihen, welche auf dem Seitentisch aufgestellt waren und ständig eine um 1 ° C höhere Bodentemperatur besaßen. täglich folgende Feuchtigkeitsmengen:

bei einer Stromdichte von 0,1	MA	245	Gramm	Wasser
" "	"	0,05	"	236 " "
" "	"	0,01	"	231 " "

die auf dem Mitteltisch untergebrachten Gefäße der Behandlungsreihen 0,2, 0,01 MA und unbehandelt verbrauchten täglich:

bei einer Stromdichte von 0,2	MA	211	Gramm	Wasser
" "	"	0,001	"	199 " "
unbehandelt				207 " "

Die Höhe des Wasserverbrauches richtet sich nach derjenigen der mittleren Tagestemperatur. Einwandfrei ist dies für die Reihen 0,1, 0,05 und 0,01 MA nachweisbar, deren Wasserverbrauch maßgeblich von der Höhe der Gefäßtemperaturen beeinflusst wird. Aus diesen Feststellungen ist die große Bedeutung der Gefäßtemperaturen bei Topfversuchen ersichtlich, bei denen der Feuchtigkeitsgrad des Bodens eine Rolle spielt und die Sättigung der Wasserkapazität konstant gehalten werden soll. Schon bei geringen Differenzen in der Höhe der Temperaturen treten größere Unterschiede im Wasserverbrauch auf. Die Schwankungen im Wasserverbrauch der Einzelgefäße bringen für diese Beobachtungen weiteres Material. So verdunsteten z. B. von der Behandlungsreihe 0,01 MA:

Gefäß 100 = 264	Gramm	Wasser	t = 19,1° C	morgens,	22,2° C	abends
" 101 = 243	"	"	" = 18,3° C	"	21,4° C	"
" 102 = 245	"	"	" = 18,0° C	"	21,1° C	"
" 103 = 228	"	"	" = 17,8° C	"	20,8° C	"

Die Beobachtung des spezifischen Widerstandes fand in gleicher Weise wie bei den Gleichstromversuchen statt. Die Durchschnittswerte ausgedrückt durch c für jedes Gefäß, für jede Behandlungsreihe, sowie die La-Schwankungen sind in der Tabelle 17 zusammengestellt. Danach wird die Höhe des spezifischen Widerstandes im Gegensatz zu Gleichstrom durch Wechselstrom nicht verändert. Selbst bei 0,2 MA Stromdichte tritt eine Erhöhung nicht ein. Vielmehr ist der spezifische Widerstand, wenn auch nur wenig, verringert worden, jedoch liegen diese Werte als Mittelwerte innerhalb der Fehlergrenzen. Eine Gleichmäßigkeit ist an Hand der täglichen Aufzeichnungen nicht feststellbar. Die Temperaturzunahme des Bodens während des Tages und die hierdurch begründete Widerstandsverminderung des Leiters werden gleichfalls von Einfluß gewesen sein. Eine chemische Veränderung des Bodens

durch die Bildung von Zersetzungsprodukten scheint nicht einzutreten. Auch die Schwankungen der La-Werte vom niedrigsten bis zum höchsten Wert während der Gesamtbehandlungsdauer sind weniger groß als bei Gleichstrom. Auf Grund dieser Beobachtungen müssen für den Boden und damit auch für das Pflanzenwachstum bei einer Behandlung mit Wechselstrom bei gleich hoher Stromdichte günstigere Wachstumsbedingungen als bei Gleichstrom herrschen, welche sich im Laufe des Versuches auch auswirken werden. Unterschiede in der Höhe des spezifischen Widerstandes innerhalb der Gefäße einer Behandlungsreihe können zur Klärung seines Einflusses auf das Pflanzenwachstum unter sonst gleichen Bedingungen herangezogen werden. — Siehe Tabelle 17.

Die Aussaat der Erbsen, welche aus der neuen Ernte 26 mit dem Schüttelapparat aussortiert worden waren, fand am 23. 9. vormittags statt. Nach 116 Stunden begann das Auflaufen. Die

Versuch VII

Tabelle 17

Angaben über den spezifischen Widerstand $c = \frac{La \cdot R \cdot q}{Lb \cdot l}$
(Vergleichswiderstand $R = 4000 \text{ Ohm}$)

Gefäß Nr.	Be- handlung MA	Schwankungen von La		Durchschnittl. Wert für La		Durchschnittl. Wert für c		Durchschnittl. Wert für c je Behandlungs- reihe	
		morgens von bis	abends von bis	morgens	abends	morgens	abends	morgens	abends
116	0,2	16—38	15—38	27	26	90 · 10 ⁶	85 · 10 ⁶	81 · 10 ⁶	78 · 10 ⁶
117		17—35	17—35	24	24	72	72		
100	0,1	14—33	13—33	21	20	66	62	62 · 10 ⁶	58 · 10 ⁶
101		14—33	12—32	22	21	68	64		
102		13—32	12—31	21	20	61	57		
103		12—25	11—24	18	17	53	50		
104	0,05	11—20	10—20	14	14	39	39	56 · 10 ⁶	55 · 10 ⁶
105		10—28	10—28	20	19	62	58		
106		12—31	11—31	20	20	63	63		
107		12—31	11—31	20	20	61	61		
108	0,01	12—31	11—31	20	20	63	63	61 · 10 ⁶	58 · 10 ⁶
109		11—30	10—28	20	19	65	61		
110		12—28	11—27	19	18	58	54		
111		12—26	12—26	19	18	57	53		
112	0,001	15—33	14—32	23	22	73	69	69 · 10 ⁶	65 · 10 ⁶
113		14—30	13—29	21	20	65	61		
114		14—31	13—31	22	21	64	60		
115		13—33	12—32	22	21	72	68		

Auflaufprozente der Reihe 0,2, 0,001 und unbehandelt blieben zunächst infolge der niedrigeren Keimtemperatur des Bodens hinter denjenigen der übrigen Behandlungsreihen zurück. Jedoch nach 164 Stunden hatten sich dieselben vollständig ausgeglichen. Eine Hemmung oder Schädigung der Triebkraft ist durch die Behandlung einschließlich der Stromdichte 0,2 MA nicht feststellbar. Diese Ergebnisse deuten für die Wechselstrombehandlung eine biologische Wirksamkeit an, welche sich von derjenigen einer Gleichstrombehandlung erheblich unterscheidet und mit den Erfahrungen von LÖWENHERZ und GASSNER übereinstimmt.

Am 18. 10. abends wurde der Versuch abgebrochen und am nächsten Morgen das Ausschlämmen der Pflanzen und ihre weitere Bearbeitung ausgeführt. Eine vorhergehende Besichtigung jedes einzelnen Gefäßes konnte keinerlei Schädigung der Pflanzen durch die Behandlung feststellen. Eine elektrolytische Unterscheidung der Elektroden kommt bei Wechselstrom ja nicht in Frage. Die Trennung von Sproß und Wurzel wurde in gleicher Weise wie bei Versuch VI ausgeführt.

Bei den Längenmessungen der Sprosse und Wurzeln, die in der Tabelle 18 zusammengestellt sind, wurde das gleiche Ergebnis wie bei der Triebkraft beobachtet. Eine hemmende Wirkung des Wechselstromes tritt selbst durch eine Behandlung mit 0,2 MA Stromdichte nicht ein. In den Sproßlängen der betreffenden Behandlungsreihen kommen die Temperatur-Unterschiede der Gefäße der beiden Aufstellungstische klar zum Ausdruck. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse kann von einer Begünstigung des Wachstums durch die Behandlung bei den Reihen 0,1, 0,05 und 0,01 MA keine Rede sein. Die von anderen Forschern, besonders von LÖWENHERZ beobachtete Begünstigung des Pflanzenwachstums ist meistens auf derartige unterschiedliche Temperaturverhältnisse bei nicht schädigenden Stromdichten zurückzuführen, worauf auch einige Versuchsansteller bereits hingewiesen haben, ohne jedoch beweiskräftiges Material beibringen zu können. Die Keimfähigkeit hat selbstverständlich bei sämtlichen Behandlungsreihen ihren vollen Wert beibehalten. Siehe Tabelle 18.

Die Trockensubstanzgewichte der Sprosse und Wurzeln, welche in ihrer Höhe von der Wirksamkeit der Behandlung auf Keimfähigkeit, Triebkraft und Jugendwachstum maßgeblich beeinflußt werden, zeigen daher das gleiche Bild. Eine Begünstigung des Pflanzenwachstums durch die Behandlung mit Wechselstrom läßt sich bei sämtlichen fünf angewendeten Stromdichten nicht feststellen. Die

Versuch VII.

Tabelle 18a
Pflanzen-Messungen

Ge- fäß Nr.	Be- hand- lung MA	Gesamt- länge der Pflanze cm	Wur- zel länge cm	Spross- länge cm	AM je Behandlungsreihe der		
					Pflanzen- länge cm	Wurzel- länge cm	Sprosslänge cm
116	0,2	36,8	18,5	18,3	$37,1 \pm 0,3$	$18,6 \pm 0,1$	$18,6 \pm 0,3$
117		37,4	18,7	18,9	m % = 0,81	m % = 0,54	m % = 1,61
100	0,1	39,5	20,4	19,0	$37,1 \pm 0,80$ m % = 2,16	$17,3 \pm 1,05$ m % = 6,06	$19,7 \pm 0,33$ m % = 1,68
101		36,4	15,8	20,6			
102		36,0	16,2	19,6			
103		36,6	16,9	19,6			
104	0,05	37,8	17,6	20,3	$37,9 \pm 1,14$ m % = 3,01	$18,4 \pm 1,46$ m % = 7,93	$19,5 \pm 0,47$ m % = 2,41
105		41,0	22,6	18,2			
106		37,5	17,6	20,0			
107		35,5	15,8	19,7			
108	0,01	37,9	18,0	19,7	$36,9 \pm 0,54$ m % = 1,46	$17,8 \pm 0,18$ m % = 1,01	$19,1 \pm 0,32$ m % = 1,68
109		37,3	17,8	19,6			
110		37,2	18,1	19,0			
111		35,4	17,3	18,3			
112	0,001	37,3	18,1	19,2	$36,2 \pm 0,61$ m % = 1,69	$17,1 \pm 0,64$ m % = 3,74	$18,9 \pm 0,12$ m % = 0,63
113		37,1	18,2	18,7			
114		35,7	16,8	18,8			
115		34,7	15,5	19,1			
118	unbe- han- delt	36,3	18,0	18,2	$37,7 \pm 0,71$ m % = 1,88	$19,0 \pm 0,54$ m % = 2,84	$18,6 \pm 0,21$ m % = 1,13
119		39,2	20,4	18,8			
120		38,7	19,4	19,1			
121		36,8	18,4	18,3			

durchweg höhere Bodentemperatur der Reihen 0,1 bis 0,01 MA machte sich nur ganz schwach in dem Trockensubstanzgewicht der Sprosse bemerkbar.

Die Bonitierung der Wurzelentwicklung und -Ausbildung bestätigt die bisherigen Befunde. Für die einzelnen Behandlungsreihen war die Zahl der nicht geschädigten Wurzelsysteme die gleiche. Eine Beeinflussung des Wurzelwachstums durch die Behandlung kann aber nicht festgestellt werden.

Ergebnis des Versuches VII

1. Eine Behandlung mit Wechselstrom von 25 Perioden, den Stromdichten von 0,001 bis 0,2 MA bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von $56 \cdot 10^6$ bis $81 \cdot 10^6$ Ohm vermag

Tabelle 18b
Pflanzen-Messungen

Pflanzenlänge	Relative Leistung unbehandelt = 100		Zahl der gemessenen Pflanzen	Zahl der aufgelaufenen Samen	Zahl der nicht gekeimten Samen	Keimfähigkeit %
	Wurzellänge	Sproßlänge				
98,4	97,9	100	97	98	2	98
			92	93	7	93/95
98,4	91,1	105,9	91	94	6	94
			93	92	7	93
			92	94	6	94
			92	93	7	93/93
100,5	96,8	104,8	91	90	9	91
			93	93	7	93
			90	90	10	90
			90	91	9	91/91
97,9	93,7	102,7	86	83	14	86
			88	87	12	88
			90	93	7	93
			88	88	12	88,89
96,0	90,0	101,6	91	92	8	92
			93	95	5	95
			90	92	8	92
			92	92	8	92/93
100	100	100	92	97	3	97
			94	97	3	97
			89	92	8	92
			89	90	10	90/94

keine schädigende Wirkung auf Keimfähigkeit, Triebkraft und Jugendwachstum der Erbsen auszuüben.

2. Die durch Gleichstrom hervorgerufene Zersetzung des Bodens und die hierdurch herbeigeführte Zunahme seines spezifischen Widerstandes im Laufe der täglichen Behandlungszeit ist bei Wechselstrombehandlung nicht zu beobachten. Die Höhe des spezifischen Widerstandes bleibt selbst bei 0,2 MA Stromdichte konstant.
3. Eine Erwärmung des Bodens (Joulesche Wärme) tritt erst durch eine Behandlung mit 0,2 MA ein.
4. Eine Begünstigung des Pflanzenwachstums durch eine Behandlung mit Wechselstrom von 60 V, 25 Perioden bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von $56 \cdot 10^6$ bis $81 \cdot 10^6$ Ohm und den Stromdichten 0,001 bis 0,2 MA konnte nicht beobachtet werden.

Versuch VIII. (XVIII)

Nachdem mit dem Versuch VII durch eine Behandlung mit den Stromdichten 0,2 bis 0,001 MA keinerlei Wirksamkeit auf das Wachstum der Erbse erreicht worden war, mußten höhere Stromdichten angewendet werden. Hierzu war es notwendig, gleichfalls die Spannung zu erhöhen und den 50-periodischen Wechselstrom von 220 V Spannung anzuwenden. Da dieser Strom direkt dem Netz der Berliner Vorort-Elektrizitätswerke entnommen werden mußte, deren Generatoren geerdet sind, war die Versuchsanstellung nicht ganz ungefährlich. Die Stromstärkemessung sowie das Regulieren der Wasserwiderstände und das Bedienen der Schalter mußten mit größter Vorsicht ausgeführt werden, zumal der Boden des Treibhauses zur Herstellung einer genügenden Luftfeuchtigkeit ständig durch Besprengen feucht gehalten werden mußte.

Infolge der abnehmenden Tageslichtdauer war eine elektrische Beleuchtungsanlage von mir angebracht worden. Sie bestand aus vier 500-Watt-Lampen, die morgens von $\frac{1}{2}8$ bis $\frac{1}{2}10$ und nachmittags von $\frac{1}{2}3$ bis $\frac{1}{2}6$ Uhr in der Regel eingeschaltet wurden. An den dem Gang zugekehrten Seiten der Gefäße wurden weiße Pappschirme aufgestellt, die als Reflektoren wirkten und damit die Lichtintensität erhöhten. Daß ein Pflanzenwachstum bei ausreichender künstlicher Beleuchtung und bei Beobachtung gewisser Vorsichtsmaßnahmen möglich ist, darauf hatte bereits ausgangs des vorigen Jahrhunderts SIEMENS hingewiesen. Neuerdings wird von den Amerikanern in Gärtnereien diese Möglichkeit im Großen praktisch verwertet.

Die Aufstellung der Gefäße erfolgte dieses Mal zur Vermeidung ungleicher Standorttemperaturen nur auf dem Mitteltisch. Als Stromdichten fanden 0,1, 0,5 und 1,0 MA Anwendung. Damit war die höchst erreichbare Stromdichte bei Wechselstrom unter den gegebenen elektrischen Bedingungen zur Untersuchung herangezogen worden. Die Versuchstechnik blieb die gleiche wie früher. Als Anfeuchtungsmittel wurde wieder KNOPSche Nährlösung, und zwar je Gefäß 3600 Gramm dem Sande zugegeben. Die Behandlung dauerte täglich 7 Stunden, wobei während der letzten beiden Stunden bereits die künstliche Beleuchtung eingeschaltet werden mußte.

Das Ansetzen des Versuches fand am 13. 12. 26 nachmittags statt. Die Behandlung begann am 14. 12. morgens und dauerte bis zum 4. 1. 27 abends. Nach 22 Tagen wurde der Versuch ab-

gebrochen. In vierfacher Wiederholung gelangten die einzelnen Behandlungsreihen zur Aufstellung.

Da bisher Beobachtungen über das Verhalten des spezifischen Widerstandes des Bodens während der Versuchsdauer in unbehandelten Gefäßen fehlten, wurde während des Versuches der spezifische Widerstand der unbehandelten Gefäße verfolgt. Für die Beurteilung des Einflusses der Bodendurchströmung ist dies von Wichtigkeit. Vor Beginn der Behandlung betrug ihr spezifischer Widerstand: $c = 17 \cdot 10^6$ Ohm.

Die Berechnung der relativen Stromstärken der einzelnen Gefäße erfolgte in üblicher Weise. Die vorgeschriebenen Stromstärken konnten bis einige Tage vor Abbruch des Versuches selbst bei 1,0 MA Stromdichte gehalten werden.

Die äußeren Temperatureinflüsse waren für sämtliche Gefäße die gleichen, wie dies aus den Morgentemperaturen hervorging. Infolge der angewendeten starken Stromdichten traten Temperatursteigerungen bei den Gefäßen infolge der erzeugten JOULESchen Wärme auf. Die Stromdichte 1,0 MA bewirkte eine Erhöhung der Gefäßtemperatur um $12,7^\circ \text{C}$, Stromdichte 0,5 MA um $4,5^\circ \text{C}$. Eine Erhöhung der Gefäßtemperaturen als Folge der sonst im Sommer beobachteten Steigerung der Treibhaustemperatur mußte infolge der Konstanthaltung der Raumtemperatur durch eine aufmerksame Regulierung der Warmwasserheizung ausbleiben.

Der Wasserverlust der Gefäße wurde alle drei Tage ermittelt. Infolge der durch die Heizung verhältnismäßig trockenen Luft des Treibhauses und ihrer aus gleichem Grunde konstanten Temperatur (auch des Nachts) — im Gegensatz zum Sommer, — war der tägliche Wasserverbrauch eines Gefäßes ziemlich groß. Die Mittelzahlen jeder Behandlungsreihen zeigen entsprechend den durch die Behandlung hervorgerufenen Temperatur-Erhöhungen ein gleich starkes Ansteigen der Verdunstung an. So hatte die Behandlungsreihe:

0,1 MA	einen	täglichen	Verlust	von	186	Gramm	Wasser
0,5	„	„	„	„	230	„	„
1,0	„	„	„	„	290	„	„
unbehandelt	„	„	„	„	190	„	„

Da nicht sämtliche Gefäße einer Behandlungsreihe infolge der Stromeinwirkung gleichmäßig mit Pflanzen bestanden waren, mußten natürlich diese Schwankungen ebenfalls im Wasserverbrauch der Parallelgefäße auftreten. Dieselben hielten sich jedoch in erträglichen Grenzen.

Die Widerstandsmessungen wurden in gewohnter Weise morgens vor und abends nach der Behandlung ausgeführt. Zusammenstellung und Verarbeitung der gefundenen Werte zeigen das gleiche Bild wie bei Versuch VII. Eine Erhöhung des spezifischen Widerstandes wurde auch nicht durch die höchst erreichbare Stromdichte 1,0 MA herbeigeführt. Vielmehr machte sich für dieselbe eine wenn auch geringe Herabsetzung des spezifischen Widerstandes bemerkbar. Bei den anderen Behandlungsarten blieb der spezifische Widerstand während der täglichen Behandlung konstant. Der spezifische Widerstand des Bodens der unbehandelten Gefäße hat keinerlei Veränderungen während der täglichen Behandlungszeit erfahren. Die durchschnittlichen Werte für c auf Grund der Morgens- und Abends-Messungen sind die gleichen geblieben, wie auch zu erwarten war. Im Laufe der Gesamtbehandlungsdauer ist allerdings der Wert für L langsam angestiegen, wozu die Nährstoffaufnahme durch die Wurzel und die hierdurch herbeigeführte Verringerung der Ionen beigetragen haben mag. Die Verringerung des spezifischen Widerstandes der Behandlungsreihe 1,0 MA beruht daher auf einer indirekten Stromwirkung als Folge einer durch dieselbe bewirkte Temperaturerhöhung des Bodens (Joulesche Wärme) und dadurch einer Widerstandsverringerung des Leiters. Als Ergebnis der Beobachtung des spezifischen Widerstandes der unbehandelten Gefäße muß festgestellt werden, daß die täglichen Veränderungen von c durch die Einwirkung des elektrischen Stromes hervorgerufen werden. Dies hat natürlich in erster Linie für Gleichstrom-Versuche Bedeutung. Das allmähliche Ansteigen des spezifischen Widerstandes wird durch die fortschreitende Nährstoffaufnahme seitens der Wurzel verursacht. Diese Erscheinung kann jedoch durch eine hinzukommende Elektrolyse des Bodens, hervorgerufen durch die Stromeinwirkung (Gleichstrom), je nach deren Stärke beschleunigt werden.

Die Aussaat der Erbsen wurde bei gleicher Beobachtung der bereits geschilderten Maßnahmen am 13. 12. um 5 Uhr nachmittags beendet. Nach 88 Stunden begann das Auflaufen der Sprosse. Da die Wärme auf den Keimungsvorgang einen maßgeblichen Einfluß ausübt, so nimmt es nicht wunder, wenn zuerst die Sprosse der Behandlungsreihe 1,0 MA aufzulaufen beginnen. Jedoch nach 144 Stunden ist ihr Vorsprung von den anderen Gefäßen wieder eingeholt. Beobachtungen und Feststellungen in dieser Hinsicht sind also zur Gesamtbeurteilung wertlos, was eine größere Anzahl von Versuchsanstellern bisher nicht beobachtet hat. Eine direkte

Begünstigung durch die elektrische Behandlung liegt also nicht vor. Die Gefäße der unbehandelten Reihe besaßen die niedrigsten Temperaturen. Daher sind ihre Auflaufprozente gegenüber den übrigen Behandlungsreihen im Rückstand. Erst nach 144 Stunden erfolgte der Ausgleich. Bei allen drei Behandlungsreihen ist eine Schädigung oder Hemmung der Triebkraft durch elektrische Behandlung nicht feststellbar. Nach 232 Stunden war das Auflaufen der Sprosse beendet.

Am 4. 1. 27 wurde der Versuch abgebrochen und am nächsten Tage die weitere Verarbeitung der Gefäße ausgeführt. Eine vor dem Ausschlämmen vorgenommene Bonitierung des Pflanzenbestandes zeigte in fast jedem Gefäß eingehende Pflanzen. Bereits seit dem 28. 12. hatte sich in langsam zunehmendem Maße auch bei den unbehandelten Gefäßen diese Erscheinung bemerkbar gemacht. Aus anderen Erwägungen heraus, die nicht mit diesem Versuch im Zusammenhang stehen, mußte der Feuchtigkeitsgehalt der Luft des Glashauses niedrig gehalten werden. Da eine derartige Erscheinung bisher nicht beobachtet worden war, ist es möglich, daß dieselbe mit der Trockenheit der Luft in irgend einem kausalen Zusammenhang steht. Die eingehenden Pflanzen fanden sich bei den behandelten Gefäßen jedoch in viel größerer Zahl, und zwar in der Mitte der Gefäße. Hier kommt bereits die schädigende Wirkung der Behandlung hinzu. Es wurden an kümmernden und eingehenden Pflanzen gezählt bei der Behandlungsreihe:

Unbehandelt	—	12,5	Pflanzen
0,1 MA	—	19,5	„
0,5 MA	—	21,0	„
1,0 MA	—	32,0	„

Aus diesen Angaben ist mit der Zunahme der Stromdichte gleichfalls eine Zunahme der geschädigten Pflanzen ersichtlich, und die das Wachstum hemmende Wirkung des Wechselstromes kommt klar zum Ausdruck.

Die weitere Verarbeitung und die Feststellung der Gesamtpflanzen, der Wurzel- und Sproßlängen bestätigen diesen Befund. Aus der Tabelle 19 ist zu entnehmen, daß durch eine Behandlung bis 0,1 MA Stromdichte eine Hemmung des Wachstums noch nicht eintritt. Mit 0,5 MA beginnend, macht sich dieselbe bemerkbar und erreicht bei 1,0 MA bereits einen Wert von 15 % für das Sproßlängenwachstum. Die Triebkraft wurde durch die angesetzten Stromdichten nicht behindert; sämtliche gekeimten Samen sind eingelaufen. Auch die Keimfähigkeit wurde nicht herabgesetzt. Analog

einer Behandlung mit Gleichstrom kann man schwach hemmende Einflüsse einer Behandlung in der Behinderung des Jugendwachstums feststellen. — Siehe Tabelle 19.

Entsprechend den bisherigen Befunden verhalten sich auch die durchschnittlichen Trockensubstanz-Einzelgewichte der Sprosse jeder Behandlungsreihe gegenüber unbehandelt. Bei 0,1 MA Stromdichte ist eine Schädigung bei Berücksichtigung des mittleren Fehlers noch nicht nachweisbar. Dieselbe ist bei 0,5 MA schon klar ersichtlich und erreicht bei 0,1 MA bereits eine Höhe von 22 %. Die Trockensubstanz-Einzelgewichte der Wurzeln dagegen ließen genau wie bei Versuch VII keine Abhängigkeit in dieser Richtung erkennen, wengleich sich ihre Gewichte bei allen drei Behandlungsreihen ungefähr 15 % unter denjenigen der unbehandelten Reihe bewegen. Vielleicht bringt die Untersuchung der Wurzel Ausbildung einige Aufklärung hierüber.

Die Bonitierung der Wurzeln gibt über die Beeinflussung der Wurzel Ausbildung durch die Behandlung in diesem Falle immerhin einigen Aufschluß. Mit der Zunahme der Stromdichte ist ein langsames Zurückgehen in der Zahl der normal und kräftig aus-

Versuch VIII

Tabelle 19a
Pflanzen-Messungen

Gefäß Nr.	Behandlung MA	Pflanzenlänge cm	Wurzellänge cm	Sproßlänge cm	A. M. je Behandlungsreihe der		
					Pflanzenlänge cm	Wurzellänge cm	Sproßlänge cm
130	0,1	23,1	10,1	13,2	$23,9 \pm 0,33$ $m^0_0 = 1,38$	$10,9 \pm 0,29$ $m^0_0 = 2,66$	$13,0 \pm 0,21$ $m^0_0 = 1,62$
132		24,6	11,4	13,3			
133		23,6	11,2	12,4			
134		24,2	11,1	13,2			
137	0,5	22,6	9,7	12,9	$22,9 \pm 0,26$ $m^0_0 = 1,14$	$10,4 \pm 0,29$ $m^0_0 = 2,79$	$12,6 \pm 0,12$ $m^0_0 = 0,95$
138		22,7	10,3	12,4			
139		23,7	11,1	12,6			
140		22,7	10,4	12,4			
141	1,0	20,2	8,4	11,8	$19,5 \pm 0,35$ $m^0_0 = 1,79$	$8,4 \pm 0,23$ $m^0_0 = 2,74$	$11,1 \pm 0,27$ $m^0_0 = 2,43$
143		19,0	7,9	11,2			
144		18,8	8,3	10,5			
145		20,0	9,0	10,9			
131	unbehandelt	23,6	10,9	12,9	$23,7 \pm 0,07$ $m^0_0 = 0,30$	$10,7 \pm 0,13$ $m^0_0 = 1,21$	$13,1 \pm 0,19$ $m^0_0 = 1,45$
136		23,7	10,8	12,9			
142		23,9	10,3	13,7			
147		23,8	10,7	13,1			

gebildeten Wurzelsysteme festzustellen, das gleiche gilt für die normal und schwach ausgebildeten Wurzelsysteme. Deutlich ist die Zunahme in der Zahl der kleinen und kranken Wurzelsysteme durch die Erhöhung der Stromdichte ersichtlich. 31 kleine und kranke Wurzelsysteme gegen 11 bei unbehandelt sind im Mittel bei den Gefäßen der Behandlungsreihe 1,0 MA gezählt worden. Wenngleich ein hemmender Einfluß auch bei Wechselstrom auf das Wurzelwachstum festzustellen ist, so ist derselbe trotz einer weit höheren Stromdichte in seiner Stärke doch nicht mit derjenigen bei Gleichstrom vergleichbar.

Ergebnis des Versuches VIII

1. Eine Behandlung mit Wechselstrom von 50 Perioden, den Stromdichten 0,5 und 1,0 MA bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von $27 \cdot 10^6$ bis $44 \cdot 10^6$ Ohm übt einen hemmenden Einfluß auf das Jugendwachstum der Erbsen aus. Längenwachstum, Trockensubstanz und Wurzelentwicklung werden verzögert bzw. gemindert.

Tabelle 19b

Pflanzen-Messungen

Relativ-Zahlen			Zahl der gemessenen Pflanzen	Zahl der aufgelaufenen Samen	Zahl der nicht aufgelaufenen, aber gekeimten Samen	Zahl der nicht gekeimten Samen	Keimfähigkeit %
Pflanzenlänge %	Wurzellänge %	Sproßlänge %					
100,8	101,9	99,2	92	91	1	8	92
			95	97	—	3	97
			97	97	—	3	97
			93	94	—	6/5	94/95
96,6	97,2	96,2	97	98	—	2	98
			94	96	—	4	96
			95	95	—	5	95
			94	96	—	4/4	96/96
82,3	78,5	84,7	91	94	—	6	94
			91	93	—	7	93
			92	94	—	6	94
			94	92	2	6/6	94/94
100	100	100	96	97	—	3	97
			95	97	—	3	97
			92	94	—	6	94
			95	96	—	4/4	96/96

2. Bei 0,1 MA Stromdichte sind diese Schädigungen noch nicht zu beobachten.
3. Eine Veränderung des spezifischen Widerstandes des Bodens wurde auch durch eine Behandlung von 1,0 MA nicht herbeigeführt.
4. Triebkraft und Keimfähigkeit sind durch eine Behandlung mit 0,1 bis 1,0 MA bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von $27 \cdot 10^6$ bis $44 \cdot 10^6$ Ohm nicht gemindert worden.
5. Die Temperatur des Bodens wird durch eine Behandlung mit Wechselstrom, den Stromdichten 0,5 und 1,0 MA bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von $27 \cdot 10^6$ bis $44 \cdot 10^6$ Ohm in zunehmendem Maße erhöht.
6. Eine Begünstigung des Wachstums der Pflanzen, eine Erhöhung des spezifischen Widerstandes durch Zersetzungsvorgänge im Boden konnten nicht beobachtet werden.

H. Zusammenfassung der Ergebnisse der Wechselstromversuche

Durch die vorliegenden Versuche ist die biologische Wirksamkeit des Wechselstromes auf Keimfähigkeit, Triebkraft und Jugendwachstum der Erbsen in einer Stromdichtenbreite von 1,0 MA bis 0,001 MA bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von $27 \cdot 10^6$ bis $81 \cdot 10^6$ Ohm untersucht worden. Eine höhere Stromdichte wie 1,0 MA konnte bei 220 V Spannung nicht erzielt werden. Diese stellt zudem eine derartig hohe absolute Stromstärke dar, wie sie in praktischen Feldversuchen überhaupt nie erreichbar sein wird. Unsere Absicht, noch geringere Stromdichten, wie 0,001 MA zu prüfen, konnte leider nicht in die Tat umgesetzt werden. Die Beschaffung geeigneter Meßinstrumente machte außerordentlich große Schwierigkeiten. Nur durch Zufall war es möglich gewesen, das bereits erwähnte Hitzdraht-Amperemeter mit einer Empfindlichkeit bis 0,001 MA geliehen zu erhalten. Noch empfindlichere Instrumente standen nicht zur Verfügung. Es ist natürlich von großem Wert, in gleicher Weise wie bei Gleichstrom auch Stromdichten in der Rangordnung von 10^{-8} bis 10^{-12} A zur Untersuchung heranzuziehen.

Eine Begünstigung des Pflanzenwachstums in irgendeiner Hinsicht durch die Behandlung mit Wechselstrom konnte unter den vorliegenden Versuchsbedingungen in gleicher Weise wie bei Gleichstrom nicht festgestellt werden. Obgleich der Wechselstrom biologisch erst durch höhere Stromdichten als bei Gleichstrom eine

Hemmung des Pflanzenwachstums auslöst, war eine Förderung auch bei 0,001 MA Stromdichte nicht nachzuweisen.

Als Anfeuchtungsmittel wurde bei beiden Versuchen nur Knopsche Nährlösung verwendet in der Absicht, die die Wurzeln durchströmende Zahl der Stromlinien infolge des geringen spezifischen Widerstandes gegenüber Leitungswasserkulturen bei gleicher Stromdichte noch weiter zu verringern. Durch den Versuch III war für Gleichstrom bei schädigenden Stromdichten der maßgebliche Einfluß des spezifischen Widerstandes des Bodens nachgewiesen und durch die folgenden Versuche gezeigt worden, daß die schädigende Wirkung einer Stromdichte von der Stromlinienverteilung zwischen Boden und Pflanze nach dem Kirchhoffschen Gesetz abhängt. Während bei hohem spezifischem Widerstand des Bodens eine Stromdichte bereits hemmende Wirkungen auslösen kann, verhält sie sich bei geringem spezifischem Widerstand indifferent. Auf Grund dieser Überlegungen, die besagen, daß die in der Pflanze wirksame Stromdichte von der Stromlinienverteilung allein abhängt, müssen für Wechselstrom die gleichen Verhältnisse angenommen werden, sofern eine Schädigung durch die zur Einwirkung gebrachte Energie überhaupt möglich ist. Mit 0,5 MA beginnend, wurde eine Schädigung des Pflanzenwachstums einwandfrei festgestellt. Da der spezifische Widerstand des Bodens infolge der Anfeuchtung mit Knopscher Lösung niedrig war, mußte auch die wirksame Stromlinienzahl innerhalb der Pflanzenwurzeln verhältnismäßig gering gewesen sein. Eine Schädigung konnte daher erst bei einer höheren Stromdichte zum Durchbruch gelangen. Bei einer Anfeuchtung des Sandes mit Leitungswasser, d. h. bei einem erfahrungsgemäß bedeutend höheren spezifischen Widerstand des Bodens müssen auf Grund dieser Überlegungen die Hemmungserscheinungen schon bei weniger hohen Stromdichten einsetzen. Bei einem Versuch (Versuch XXI) mit Gleichstrom zur Feststellung der Schädigung des Sproßlängenwachstums konnte bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von $44 \cdot 10^6$ bis $55 \cdot 10^6$ Ohm (Knopsche Lösung) durch die Stromdichte 0,1 MA ein Schädigungsgrad von 10 % festgestellt werden. Die gleiche Schädigung bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von $103 \cdot 10^6$ Ohm (Versuch IV Leitungswasser) war bereits bei einer Stromdichte von ca. 0,04 MA (errechneter Wert) zu beobachten. Es trat also bei einer Erhöhung des spezifischen Widerstandes des Bodens um rund 100 % die gleiche hemmende Wirkung des Stromes bereits bei einer Stromdichte ein, deren Wert nur noch rund 50 % derjenigen Dichte

betrug, die bei geringem spezifischem Widerstand die gleiche Hemmung des Wachstums ausgelöst hatte. Bei Wechselstrom trat eine hemmende Wirkung von 10 % bei ungefähr 0,8 MA Stromdichte auf. Der spezifische Widerstand des Bodens betrug ca. $30 \cdot 10^6$ Ohm. Bei einer Verdoppelung des Wertes von c auf $60 \cdot 10^6$ Ohm oder einer weiteren Verdoppelung von c auf $120 \cdot 10^6$ Ohm würde die gleiche Schädigung von 10 % auf Grund obenstehender Berechnungen bereits bei einer Stromdichte von 0,4 bzw. 0,2 MA zu erwarten sein.

Diese Beobachtungen weisen darauf hin, daß eine gleich starke schädigende Wirkung des elektrischen Stromes bei Veränderung des spezifischen Widerstandes des Bodens und der Stromdichte dann zu erwarten ist, wenn das Produkt aus spezifischem Widerstand und Stromdichte das gleiche bleibt. Bei Versuch XXI betrug dasselbe $0,1 \text{ MA} \times 50 \cdot 10^6$ Ohm und bei Versuch IV $0,04 \text{ MA} \times 108 \cdot 10^6$ Ohm. Diese Zahlen besagen, daß in einem Würfel von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt nach dem Ohmschen Gesetz eine Spannungsdifferenz besteht bei Versuch:

XXI von 50,0 Volt

IV „ 43,2 „

Berechnen wir für beide Versuche den Spannungsabfall je cm, so erhalten wir für Versuch:

XXI ein Spannungsgefälle von 0,5 Volt

IV „ „ „ 0,43 „

Wir können daher weiter feststellen, daß bei gleichem Spannungsabfall gleiche biologische Wirkungen auf das Pflanzenwachstum hervorgerufen werden. Mußten bisher für jede Behandlungsreihe zwei Werte: die wirksame Stromdichte und der spezifische Widerstand des Bodens angegeben werden, so genügt jetzt auf Grund dieser Überlegungen allein die Angabe des Spannungsgefälles je cm. Eine Umrechnung der bei den einzelnen Versuchen mitgeteilten Angaben auf das durchschnittliche Spannungsgefälle je Behandlungsreihe ist in der Tabelle 20 ausgeführt (siehe Tabelle 20). Bei der Anführung der Versuchsreihen ist derartig verfahren worden, daß jedesmal mit der geringsten Stromdichte begonnen wurde. Bei den unterstrichenen Werten konnten die ersten Schädigungen festgestellt werden, welche in Richtung der eingezeichneten Pfeile in ihrer Stärke in gleicher Weise wie das Spannungsgefälle zunehmen. Es geht aus dieser Zusammenstellung hervor, daß bei einem Spannungsgefälle von 0,48 Volt je cm eine hemmende Wirkung durch die Gleichstrombehandlung auftritt. Bei

Tabelle 20

*Das durchschnittliche Spannungsgefälle der einzelnen
Behandlungsreihen bei den Versuchen II bis VIII*

Gleichstrom					Wechselstrom	
Vers. II Volt:	Vers. III Volt:	Vers. IV Volt:	Vers. V Volt:	Vers. VI Volt:	Vers. VII Volt:	Vers. VIII Volt:
1,035 (0,05 MA)	0,87 (0,1 MA)	0,012 (0,001 MA)	0,0014 (0,0001 MA) W	0,018 (0,001 MA)	0,007 (0,001 MA)	0,44 (0,1 MA)
▼ 2,49 (0,1 MA)	0,83 (0,1 MA)	0,06 (0,005 MA)	0,02 (0,001 MA) W	0,20 (0,01 MA)	0,06 (0,01 MA)	1,75 (0,5 MA)
6,28 (0,2 MA)	▼ 3,88 (0,1 MA)	0,11 (0,01 MA)	0,15 (0,01 MA) W	0,82 (0,05 MA)	0,27 (0,05 MA)	▼ 3,0 (1,0 MA)
9,66 (0,3 MA)	5,58 (0,1 MA)	0,48 (0,005 MA)	0,0009 (0,0001 MA) KL	▼ 1,07 (0,06 MA)	0,6 (0,1 MA)	
11,96 (0,4 MA)		▼ 1,59 (0,1 MA)	0,011 (0,001 MA) KL		1,60 (0,2 MA)	
			0,006 (0,01 MA) KL			

Wechselstrom kann man dieselbe erst bei 1,75 Volt je cm Spannungsgefälle beobachten. Eine derartige Betrachtung und Zusammenstellung erleichtert außerordentlich den Überblick über verschiedene Versuchsreihen.

Wenn man die je ccm Boden verbrauchte elektrische Energie berechnet, so findet man in den einzelnen Versuchsreihen für das Spannungsgefälle, welches in jeder Versuchsreihe die erste Schädigung hervorrief, folgende Werte in Milli-Watt: Vers. II — 0,05, Vers. III — 0,08, Vers. IV — 0,025, Vers. VI — 0,04. Da diese Zahlen sich nicht allzuweit voneinander unterscheiden, so könnte man auch sagen, daß die Schädigung des Pflanzenwachstums nur von dem Energieverbrauch je cm abhängig ist.

Da nach dem KIRCHHOFFSchen Gesetz die Verteilung der Stromlinien innerhalb zweier Körper sich nach ihrem spezifischen Widerstand richtet, so muß die Verteilung der Stromlinien in gleicher Weise wie bei Gleichstrom auch bei Wechselstrom erfolgen und der Einfluß sich in den Lebensfunktionen des Samens und der sich

daraus bildenden Pflanze äußern. Denn es ist bekannt, daß nur diejenige Zahl der Stromlinien, welche den Samen und die Wurzeln durchströmen, eine direkte biologische Wirkung auszulösen vermag. Aus diesem Grunde muß der spezifische Widerstand des Bodens auch bei einer Behandlung der Pflanzen mit Wechselstrom bei gleicher Stromdichte auf die Stärke der Hemmung, sofern die Zahl der wirksamen Stromlinien hierzu befähigt ist, von Einfluß sein. Besonders ausgedehnte Versuche in dieser Richtung, z. B. bei hohem spezifischem Widerstand des Bodens, erübrigen sich. Ein Kontrollversuch, der zu diesem Zwecke ausgeführt wurde (Versuch XXV), bestätigte die obigen Ausführungen. Die gleiche Schädigung, welche durch Wechselstrom mit einer Stromdichte von 0,8 MA bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von $30 \cdot 10^6$ Ohm ausgelöst wurde, trat ebenfalls durch eine Behandlung der Erbsen mit 0,1 MA bei einem spezifischen Widerstand von $109 \cdot 10^6$ Ohm auf. Es konnte daher, weil das Ziel der Untersuchungen auf die Feststellung einer Begünstigung des Pflanzenwachstums durch eine elektrische Behandlung eingestellt war, von Versuchen mit Leitungswasser abgesehen werden, da in dieser Hinsicht nur ungünstigere Vegetationsbedingungen geschaffen worden wären. Die Feststellungen besonders in der Tabelle 20 weisen jedoch im allgemeinen darauf hin, daß das Spannungsgefälle um eine gleichwertige Hemmung des Sproßlängenwachstums hervorzurufen, bei Wechselstrom größer sein muß als bei Gleichstrom. Danach kommt dem Wechselstrom im Vergleich zu Gleichstrom bei gleicher aufgewandter Energie eine geringere biologische Wirksamkeit zu.

Von GASSNER und SCHEMINSKY ist durch ihr bereits erwähntes Gesetz für Wechselstrom auf die Bedeutung der Periodenzahl im Verhältnis zu der Strom-Intensität hingewiesen worden. Unsere Untersuchungen, die mit den zur Verfügung stehenden Wechselströmen von 25 und 50 Perioden ausgeführt worden waren, lassen bei der Stromdichte von 0,1 MA irgendwelche voneinander abweichende Einflüsse nicht erkennen. Da die absolute Stromstärke bei diesen Versuchen dicht an der Grenze der beginnenden Hemmungserscheinungen lag, hätte nach dem besagten Gesetz irgend eine Wirkung auf das Pflanzenwachstum durch die Behandlung mit Wechselstrom geringerer Periodenzahl auftreten müssen, zumal die Periodenzahl bei dem zweiten Versuch um 100 % erhöht worden war. Daß bei großer Intensität Schädigungen auftreten, ist bekannt. Inwieweit aber die Periodenzahl des Wechselstromes in Verbindung mit der Höhe der Stromdichte darauf einen Einfluß auszuüben ver-

mag, das erfordert weitere Versuche mit Strömen sehr unterschiedlicher Periodenzahl, die mir leider nicht zur Verfügung standen. Eine Änderung der Stromdichte darf natürlich bei solchen Versuchen nicht vorgenommen werden. Insofern müssen an der Gültigkeit des Gesetzes, welches zwei voneinander unabhängig wirkende Faktoren miteinander in Beziehung bringt, starke Zweifel geäußert werden. Die Verhältnisse liegen doch so, daß die Stromdichte als solche die Schädigung herbeiführt. Ob bei gleicher wirksamer Stromdichte durch eine Zunahme der Periodenzahl der Stromdichte die schädigende Wirkung kompensiert werden kann, darüber konnten meinerseits Untersuchungen aus Mangel an geeigneten Maschinen nicht angestellt werden. Exakte Angaben über diese Frage sind mir aus der Literatur nicht bekannt geworden.

In gleicher Weise wie bei Gleichstrom vermag selbstverständlich auch bei Wechselstrom die Höhe der Spannung keinen biologischen Einfluß auszuüben. Auf Grund unserer gewonnenen Vorstellung von der Bedeutung der Stromlinienverteilung und der alleinigen Wirksamkeit der Stromdichte war auch für Wechselstrom dieser Befund zu erwarten. Beide Versuche brachten bei gleicher Stromdichte z. B. 0,1 MA ungefähr dieselben Relativzahlen zu un-

Vers.	VII	60 V	0,1 MA	Rel.-Zahl	105,9	m%	1,6
	„	VIII	220 „	0,1 MA	„	99,2	m% 1,6,

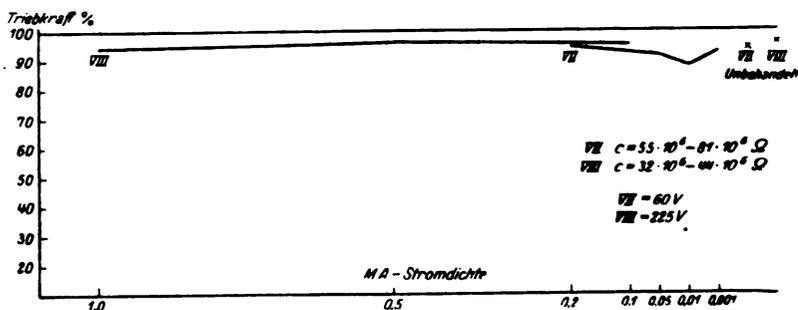
wobei zu berücksichtigen ist, daß bei Versuch VII die Gefäße der Reihe 0,1 MA gegenüber derjenigen der unbehandelten Reihe einen wärmeren Standort während der Versuchsdauer inne gehabt hatten. Daher liegt der gefundene Wert für die Sproßlänge etwas über 100 %.

Bei den Gleichstromversuchen konnte an Hand der Temperaturmessungen eine Erwärmung der Gefäße während der täglichen Behandlungsdauer nur in geringem Maße beobachtet werden. Die höchste Temperatursteigerung betrug bei 0,4 MA Stromdichte und einem spezifischen Widerstand des Bodens von $320 \cdot 10^6$ Ohm $2,7^\circ$ C. Die Arbeit des Stromes besteht in erster Linie in der Elektrolyse. Bei Wechselstrom, der kaum merkbare elektrolytische Vorgänge im Boden hervorruft, wird die Energie des Stromes dagegen zum größten Teil nach dem JOULESchen Gesetz in Wärme umgesetzt. So ist es zu erklären, daß bei einer Behandlung des Wechselstromes erheblich größere Temperatursteigerungen herbeigeführt werden können, z. B. bei einer absoluten Stromstärke von 0,5 MA und einem spezifischen Widerstand von $35 \cdot 10^6$ Ohm eine Steigerung um $4,5^\circ$ C

und bei 1,0 MA ($c = 30 \cdot 10^6$ Ohm) um $12,7^\circ$ C. Bei diesen Werten ist jedoch zu bedenken, daß der spezifische Widerstand des Bodens um 90,6 % niedriger war wie bei dem entsprechenden Gleichstromversuch. Bei gleich hohem spezifischen Widerstand wäre die Erwärmung des Bodens durch die Behandlung mit Wechselstrom natürlich eine erheblich höhere gewesen. Bei Versuchen mit Wechselstrom muß man daher auf die Kenntnis der Temperatur der Gefäße großen Wert legen, sofern man sich nicht selbst eine Wachstumsbegünstigung infolge der Behandlung vortäuschen lassen will. An anderer Stelle konnte bereits der Einfluß geringerer Temperaturunterschiede auf das Jugendwachstum der Erbse nachgewiesen werden.

In den Tabellen 21 und 22 ist der Einfluß einer Behandlung

Tabelle 21



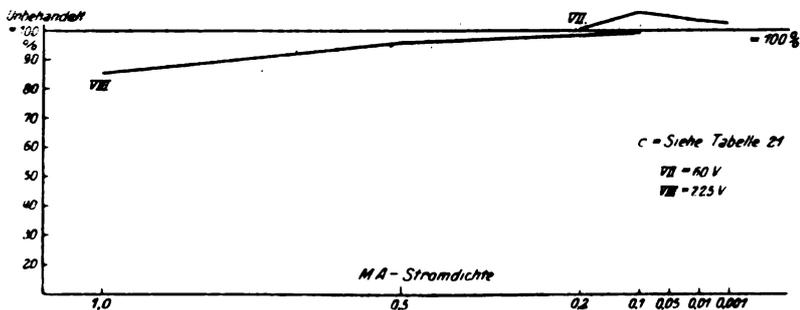
mit Wechselstrom von 0,001 bis 1,0 MA Stromdichte auf Triebkraft und Sproßlängenwachstum der Erbsen in gleicher Anordnung wie bei Gleichstrom (siehe Tabelle 15 und 16) graphisch wiedergegeben. Tabelle 21, aus welcher der Einfluß der gestaffelten Behandlung auf die Triebkraft hervorgeht, zeigt, daß eine hemmende Wirkung des Wechselstromes selbst durch 1,0 MA Stromdichte bei einem spezifischen Widerstand des Bodens von $30 \cdot 10^6$ Ohm nicht ausgelöst wird. Aus Versuch VIII ist uns bekannt, daß bei 0,5 MA Stromdichte und einem spezifischen Widerstand von $35 \cdot 10^6$ Ohm für das Sproßlängenwachstum die ersten hemmenden Einflüsse der Behandlung beobachtet werden konnten. Tabelle 22 bringt diese Einflußkurve des Wechselstromes auf das Längenwachstum der Erbsensprosse. Klar ersichtlich ist der schädigende Teil der Kurve bei 0,5 und 1,0 MA Stromdichte. Der ziemlich hohe Wert von 106 % für das Längenwachstum bei 0,1 MA beruht auf den bei Versuch VII bereits angeführten unterschiedlichen Wärmeverhältnissen der Aufstellungsorte der Gefäßreihen. Daher liegen die

Werte der Stromdichten 0,1 bis 0,01 etwas höher wie sonst üblich über der 100 Prozentlinie der unbehandelten Sproßlängen. Es war bei den Wechselstromversuchen nur mit einem niedrigen spezifischen Widerstand des Bodens gearbeitet worden. Daher mußten auch die Auswirkungen des biologischen Einflusses auf das Wachstum schwächer sein. Es besteht jedoch ohne weiteres die Möglichkeit, diese Werte bei höherem spezifischen Widerstand des Bodens zu berechnen auf Grund des gefundenen Gesetzes:

Bei Erhöhung des spezifischen Widerstandes des Bodens um 100 % wird die gleiche hemmende Wirkung durch eine Stromdichte hervorgerufen, deren Wert nur 50 % der Ausgangsdichte beträgt.

Zusammenfassend muß man feststellen, daß die untersuchten

Tabelle 22



elektrophysiologischen Grundlagen der Elektro-Kultur sowohl für Wechsel- wie auch für Gleichstrom die gleichen sind (spezifischer Widerstand des Bodens, Spannung des Stromes). Bei Wechselstrom jedoch konnte eine geringere biologische Wirksamkeit beobachtet werden, weil die sekundären indirekten Wirkungen bei Wechselstrom nicht auftreten.

Schlußbetrachtungen

Aufbauend auf den Arbeiten anderer Forscher, deren Versuche infolge nicht einwandfreier Versuchsmethoden mit aller Deutlichkeit gezeigt hatten, daß der exakte Nachweis der Wirkung oder Wirkungslosigkeit der Elektrizität auf das Pflanzenwachstum mit großen Schwierigkeiten verknüpft ist und daß nur solche Versuche Anspruch darauf erheben können, einwandfrei zu sein, deren Resultate jederzeit reproduzierbar sind, wurden die eigenen Versuche unter dem Gesichtspunkt einer den modernen Anforderungen ent-

sprechenden exakten Versuchsanstellung und der Schaffung klar definierter, jederzeit wieder herstellbarer elektrischer Versuchsbedingungen ausgeführt. In diesem Bestreben sind die Gefäße einheitlich mit Glassand beschickt worden, gleiche Ernährungs- und Feuchtigkeitsverhältnisse geschaffen und letztere während der Versuchsdauer konstant gehalten worden. Zur Aussaat gelangte gut sortiertes hochkeimfähiges und möglichst gleichwertiges Saatgut. Die Zahl der ausgelesenen Samen je Gefäß wurde sobald als möglich von 50 auf 100 erhöht. Die Temperaturverhältnisse sämtlicher Gefäße standen unter dauernder Beobachtung. Auf gleiche Lufttemperatur und Lichtverhältnisse für sämtliche Gefäße im Treibhaus mußte ebenfalls großer Wert gelegt werden. Neben diesen Versuchsbedingungen, die verhältnismäßig leicht herzustellen waren, bestand die Hauptaufgabe in der Schaffung gleicher und reproduzierbarer elektrischer Bedingungen. Hierzu war es auch notwendig gewesen, eine klare Definition derselben festzulegen. Der Begriff der Stromdichte wurde der physikalischen Definition entsprechend übernommen; auf die Bedeutung des spezifischen Widerstandes des Bodens mußte hingewiesen werden. Die Konstanzhaltung der Werte der Stromdichte während der Versuchsdauer erforderte größte Aufmerksamkeit. Auf Grund der so gewonnenen genauen Kenntnis der elektrischen Versuchsdaten ist eine Reproduktion unter gleichen Versuchsbedingungen möglich. Um jedoch alle diese Faktoren vollkommen in der Hand zu haben, war es zunächst notwendig gewesen, eine geeignete Versuchsmethode und ein zweckmäßiges, den Bedürfnissen voll entsprechendes Schaltschema zu entwickeln, sowie die dazu gehörigen Meßinstrumente und Maschinen zu beschaffen und zweckentsprechend einzubauen.

Nur solche Versuche, die eine Wiederholung des Versuches und Nachprüfung seiner Ergebnisse unter denselben Bedingungen gestatten, ermöglichen auch unser Bestreben, in eine kritische Betrachtung der gewonnenen Ergebnisse einzutreten. Die Resultate der bisherigen Versuche — lauteten diese günstig oder ungünstig — waren oder mußten bisher zum allergrößten Teil kritiklos hingenommen werden. Die Registrierung der Auflaufgeschwindigkeit und der Triebkraft, die Beobachtung der Pflanzen während der Vegetation, die Feststellung der mittleren Längenmaße der Wurzeln und Sprosse, sowie ihrer Trockensubstanzgewichte, die Bonitierung der Wurzelsysteme und die Überprüfung der gewonnenen Ergebnisse nach der Fehlerrechnung erleichterten bei Benutzung der während des Versuches gemachten Aufzeichnungen über das Verhalten der

Stromdichte, des spezifischen Widerstandes und der Temperatur des Bodens eine kritische Verwertung und Beurteilung der gemachten Feststellungen. Das Auftreten von außer der Reihe liegenden Werten konnte meistens an Hand der Versuchsprotokolle mit Erfolg begründet werden.

Die Elektro-Kultur will durch eine Behandlung der Pflanzen mit elektrischer Energie ihre Lebenstätigkeit anregen, die Zellfunktionen steigern und somit die Wachstumsgeschwindigkeit beschleunigen und den Gesamtstoffwechsel erhöhen. Hierdurch mußte natürlich auch die Entwicklung der Pflanze begünstigt werden und ein kräftigeres Individuum entstehen. Man erwartet dadurch eine höhere Ertragsfähigkeit. Beachtung in diesem Bestreben scheint man dem Saftsteigen in der Pflanze zuwenden zu müssen, welches ja bekanntlich zu den wichtigsten Lebensvorgängen in der Pflanze zu rechnen ist; denn es bewirkt die Aufnahme des Wassers durch die Wurzel aus dem Boden und seine Weiterleitung in alle Pflanzenteile, führt den Zellen anorganisches Nahrungsmaterial zu für den Aufbau neuer Zellen und Wasser, um den Turgor und dadurch das Wachstum und die Lebensbewegungen der Zellen aufrecht zu erhalten. I. CH. BOSE¹⁾ hat nun durch seine Versuche über die Physiologie des Saftsteigens gezeigt, daß das Saftsteigen auf rhythmischen Pulsationen der Zellen, z. B. bei den Dikotyledonen der innersten Rindenschicht beruht und daß diese Pulsationen durch den Einfluß von Temperaturveränderungen, durch die Wirkung elektrischer Reize, sowie durch andere physikalische und chemische Reize gehemmt oder gefördert werden können. Pulsierende Zellen sind sowohl in der absorbierenden Wurzel, wie auch in dem weiterleitenden Stengel vorhanden. Da Reize, die von den Wurzelzellen perzipiert werden, zu den pulsierenden Zellen der oberirdischen Organe der Zellen weitergeleitet werden und sämtliche pulsierenden Zellen, auf deren wohlgeordneter Tätigkeit das Saftsteigen beruht, untereinander in Verbindung stehen, verdient die Frage des Studiums einer elektrischen Reizung pulsierender Wurzelzellen durch die Methode der Bodendurchströmung erhöhte Beachtung. Es liegt hier auf Grund der Arbeiten BOSES eine Möglichkeit vor, zielbewußt die Methode der Elektrokultur in ihrem Einfluß auf das Pflanzenwachstum zu prüfen. Neben der Beeinflussung der Zellpulsation vermag die durch eine Behandlung von außen zugeführte Elektrizität auch andere physiologische Wirkungen hervorzurufen. So kann

¹⁾ I. C. BOSE, Die Physiologie des Saftsteigens, übersetzt von PRINGSHEIM 1925.

durch elektroosmotische und kataphoretische Erscheinungen die zugeführte elektrische Energie in der Pflanze in mechanische Energie und osmotische Energie umgewandelt werden. Konzentrationsänderungen an den Phasengrenzen in der Zelle sind die Folge, die wiederum einen der zugeführten EMK entgegengesetzt gerichteten Polarisationsstrom entstehen lassen. Diese Erscheinung tritt hauptsächlich nur bei Arbeiten mit Gleichstrom auf. Schließlich muß noch die Umwandlung elektrischer Energie in chemische Energie durch Elektrolyse erwähnt werden, welche ebenfalls in erster Linie bei einer Gleichstrombehandlung in Frage kommt. Als Folge der Wasserzersetzung in der Zelle ist durch Ansammlung von Elektrolysen-Produkten die Entstehung eines Polarisationsstromes in den Zellen möglich. Auf Grund der Arbeiten der Elektro-Physiologen sind diese Umwandlungen meistens mit hemmenden und schädigenden Wirkungen auf die Zellen verbunden.

Zellen stellen bekanntlich die Bausteine einer Pflanze dar und können an Hand unserer bisherigen Kenntnis als Leiter II. Klasse angesehen werden, wobei jedoch für den Einfluß des elektrischen Stromes auf die Bestandteile einer Zelle und den Zustand, in welchem sich die eingelagerten Stoffe befinden, wiederum ganz besondere variable Verhältnisse maßgebend sind. Infolge der Kompliziertheit ihres Aufbaues lassen sich allgemein gültige Angaben über die Wirkung eines Stromdurchganges bei der Elektrokultur nicht machen. Die Elektro-Physiologie, die sich mit diesen Fragen besonders befaßt, vermag bisher auch nur Untersuchungen und Ergebnisse an Einzelzellen anzuführen. Da jedoch in einer Pflanze, einem Zellenstaat, den einzelnen Zellen verschiedene Funktionen zufallen, und ihre Struktur demnach differenziert ist, so kann man diesen Einzelbeobachtungen natürlich keinen allgemein gültigen Wert zusprechen. Infolge der großen Schwierigkeiten sind wir von einer Erklärungsmöglichkeit der sich bei der Elektrokultur abspielenden Vorgänge noch weit entfernt und zur Zeit leider immer noch auf empirische Feststellungen unter möglichst genauer Beobachtung der Versuchsbedingungen angewiesen.

An Hand dieser skizzenhaften Aufzeichnungen der bei der Elektrokultur auftauchenden physiologischen Probleme sollte die Kompliziertheit des gesamten Fragenkomplexes dargelegt werden und die derzeitige Unmöglichkeit, über Einzelercheinungen, die bei der Behandlung von Pflanzen auftreten, einwandfreie Erklärungen abgeben zu können. Die verschieden stark hemmende und schädigende biologische Wirksamkeit des Gleichstromes und

Wechselstromes, die bei unseren Arbeiten mit höheren Stromdichten auftrat, läßt sich zugunsten des Wechselstromes in einem Fehlen der durch den Gleichstrom bedingten elektrolytischen Vorgänge in den Zellen, der Konzentrationsveränderungen und der darauf fußenden Folgeerscheinungen leicht erklären.

Die bisherigen elektrophysiologischen Untersuchungen sind fast ausnahmslos bei direkter Reizung der Pflanze, d. h. durch Anlegen von Elektroden an Teile der Pflanzen selbst ausgeführt worden. Welche Vorgänge sich in den Pflanzenwurzeln abspielen, wenn nur der Erdboden, in welchem sich die Wurzeln befinden, durchströmt wird, darüber liegen fast keine Beobachtungen vor. Lediglich Bose hat einen Versuch dieser Art mit Reis-Keimlingen ausgeführt und auch eine Wachstumsbeschleunigung als Folge einer Steigerung der Wasserbewegung feststellen können. Er führt diese Wachstumsbeschleunigung als indirekten Reizerfolg auf ein Überwiegen des kathodischen Erregungseffektes über den depressiven Effekt an der Anode zurück. Welche Wachstumsförderung durch eine konstante Reizung, d. h. durch konstanten Stromfluß im Erdboden, herbeigeführt werden kann und ob hierdurch eine dauernde Reizwirkung überhaupt möglich ist, diese Frage bleibt auch bei Boses Versuch offen.

Es war bereits eingangs darauf hingewiesen worden, daß von einer großen Zahl Versuchsansteller begünstigende Wirkungen der Elektrokultur und in gleicher Zahl hemmende oder indifferente Wirkungen festgestellt worden sind. So glaubte LÖWENHERZ auf Grund seiner Versuche an eine das Wachstum beschleunigende Wirkung der Elektrizität, besonders des Wechselstromes. Unsere Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß durch Temperaturerhöhungen des Bodens sehr leicht Wachstumssteigerungen herbeigeführt werden können, die auch bei jenen Versuchen auf eine Steigerung der Bodentemperatur beruhen. LÖWENHERZ stellte ferner fest, daß der elektrische Strom dann leicht schädigend wirken kann, wenn er zur Zeit des Auflaufens die jungen Pflanzen durchströmt. Kontrollversuche in dieser Richtung, die ich ebenfalls mit Erbsen ausführte, bestätigen diese Ansicht nicht. Die als schädlich wirkende Stromdichte von $0,01 \text{ MA}$ bei einem spezifischen Widerstand des Sandes von $41 \cdot 10^9$ bis $55 \cdot 10^9$ Ohm wurde sowohl sofort nach der Aussaat, wie auch erst nach dem Auflaufen der Sprosse angelegt. Die ersteren Gefäße zeigten bei der Bearbeitung des Pflanzenmaterials genau denselben Schädigungsgrad von 10 % wie die letzteren. Diese ließen somit den erwarteten günstigen Stand der

Pflanzen nicht erkennen. Über das Verhältnis der Intensität des Wechselstromes zu der Zeit seiner Wechsel nach LÖWENHEZRGASSNER ist bereits berichtet worden. Die anschließend geäußerten Bedenken über die Gültigkeit dieses Gesetzes wurden dabei näher begründet. Die Feststellung GASSNERS, daß erst ein Batteriestrom von über 110 V Spannung biologische Wirkungen und dann schädigende auslösen kann, ist als solche nicht richtig. Wir vermochten bereits bei 40 V Gleichstrom Schädigungen des Pflanzenwachstums nachzuweisen, hatten jedoch die Bedeutung der Stromdichte und des spezifischen Widerstandes des Bodens vorher erkannt.

Unsere Versuche wurden im Hinblick auf völlige Nährstoffgleichheit sowohl mit Leitungswasser als auch mit KNOPScher Nährlösung durchgeführt. Die hierbei gefundenen Werte des spezifischen Widerstandes des Sandes sind in Tabellen, die zum größten Teil leider nicht beigelegt werden konnten, zusammengestellt worden. Um sich nun einen Überblick darüber verschaffen zu können, wie sich die Werte des spezifischen Widerstandes des Ackerbodens bei verschiedenen Sättigungsgrad seiner Wasserkapazität verhalten, und um die bei den geprüften Stromdichten erzielten Ergebnisse mit den bei seiner Versuchsanstellung im Ackerboden zu erwartenden Resultaten vergleichen zu können, wurde der spezifische Widerstand verschiedener Böden gemessen und der vorliegende Sättigungsgrad ihrer Wasserkapazität bestimmt. Bei entsprechender Sättigung der Wasserkapazität des Hohenbockaer Glassandes wurde ebenfalls dessen spezifischer Widerstand bei Anfeuchtung sowohl mit Leitungswasser als auch mit KNOPScher Nährlösung festgestellt. Durch Vergleich der so gefundenen Widerstandswerte des Sandes und der Ackerböden lassen sich wertvolle Rückschlüsse für die Übertragbarkeit unserer Versuchsergebnisse auf natürliche Verhältnisse im Felde gewinnen. Zur Untersuchung wurden fünf Böden herangezogen, die seit Herbst 1926 in großen Haufen im Freien aufbewahrt worden waren. In der Tabelle 23 sind die Werte der Wasserkapazität und ihrer Sättigung zur Zeit des Widerstandsmessungen eingetragen, desgleichen für den Sand. Es folgen die Angaben über den festgestellten spezifischen Widerstand der Böden und des Sandes. In gleicher Versuchsanordnung wurden die Werte für c bei 100 % Sättigung der Wasserkapazität ermittelt. — Siehe Tabelle 23.

Vergleicht man die c -Werte der fünf Bodenarten miteinander, so kann man feststellen, daß die an abschlämmbaren Teilchen reicheren Bodenarten, die beiden Lehm Böden und der Moorboden.

Tabelle 23
*Der spezifische Widerstand verschiedener Böden
im Vergleich zu Hohenbockaer Glassand*

Bodenart	Wasser- kapazität %	Sättigung der Wasserkapazität %	Spezifischer Wider- stand des Bodens = c in Ohm
Dahlem Feld IV	29,2		331 · 10 ⁶
Sand + Leitungswasser	25,1	37,9	140 · 10 ⁶
Sand + KNOP. Lösung	25,1		52 · 10 ⁶
Hertefeld	157,3		28 · 10 ⁶
Sand + Leitungswasser	25,1	43,6	123 · 10 ⁶
Sand + KNOP. Lösung	25,1		44 · 10 ⁶
Streckenthin	25,7		357 · 10 ⁶
Sand + Leitungswasser	25,1	37,0	146 · 10 ⁶
Sand + KNOP. Lösung	25,1		52 · 10 ⁶
Neudorf	34,4		26 · 10 ⁶
Sand + Leitungswasser	25,1	51,7	100 · 10 ⁶
Sand + KNOP. Lösung	25,1		37 · 10 ⁶
Gießhof	41,0		35 · 10 ⁶
Sand + Leitungswasser	25,0	54,3	95 · 10 ⁶
Sand + KNOP. Lösung	25,0		36 · 10 ⁶

Tabelle 23

Sättigung der Wasser- kapazität %	Spezifischer Widerstand des Bodens = c in Ohm	Bodenbeschaffenheit
100	51 · 10 ⁶ 47 · 10 ⁶ 15 · 10 ⁶	humoser, schwach lehmiger Sand
100	13 · 10 ⁶ 47 · 10 ⁶ 15 · 10 ⁶	Niederungsmoorboden
100	49 · 10 ⁶ 47 · 10 ⁶ 15 · 10 ⁶	humoser, schwach lehmiger Sand
100	18 · 10 ⁶ 47 · 10 ⁶ 15 · 10 ⁶	schwach sandiger Lehm
100	25 · 10 ⁶ 47 · 10 ⁶ 15 · 10 ⁶	Tonboden

nur einen geringen spezifischen Widerstand besitzen, während dieser bei den Sandböden ziemlich hoch ist. Bringt man dann die gefun-

denen c-Werte der Böden mit denjenigen des Hohenbockaer Glassandes bei gleichem Sättigungsgrad der Wasserkapazität zueinander in Beziehung und vergleicht man jedesmal den spezifischen Widerstand des Ackerbodens mit den beiden entsprechenden Widerständen des Sandes, so zeigt sich, daß die beiden Sandböden aus Dahlem und Streckenthin einen noch höheren spezifischen Widerstand besitzen als der nur mit Leitungswasser angefeuchtete Glassand, und daß die Lehm Böden und der Moorboden ungefähr den gleichen spezifischen Widerstand aufweisen wie der mit Knopscher Nährlösung angefeuchteten Glassand. Hierdurch erlangen sowohl unsere Versuche mit Leitungswasser als auch mit Knopscher Nährlösung praktische Bedeutung. Die gefundenen Unterschiede in der Höhe des spezifischen Widerstandes der Sand- und Lehm Böden erlauben auf Grund unserer bereits gewonnenen Kenntnis über die Bedeutung des spezifischen Widerstandes des Bodens jetzt über die sich widersprechenden Ergebnisse früherer Versuchsansteller folgende Betrachtung anzustellen. Gesetzt der Fall, ein Versuch wird mit einer Stromdichte ausgeführt, die auf besseren Böden infolge deren geringerem spezifischem Widerstand eine Schädigung des Pflanzenwachstums noch nicht auszulösen vermag, sich jedoch dicht an der Grenze befindet, so ist bei einem Kontrollversuch auf leichterem Boden das plötzliche Sichtbarwerden einer schädigenden Wirkung der Behandlung an Hand unserer Beobachtungen und Feststellungen jetzt ohne weiteres erklärlich.

Im Verlauf unserer Ausführungen ist bereits des öfteren darauf hingewiesen worden, daß neben den bereits geprüften Stromdichten auch schwächere absolute Stromstärken in Höhe von 10^{-8} bis 10^{-12} Ampere sowohl bei Gleichstrom wie auch bei Wechselstrom zur Untersuchung herangezogen werden müssen. Zeit, Art und Dauer der Behandlung bedürfen hierbei ebenfalls einer näheren Untersuchung. Hierzu ist natürlich das Vorhandensein geeigneter Meßinstrumente eine notwendige Voraussetzung. Die Beschaffung ausreichender Arbeitsmöglichkeiten, die natürlich mit größeren Kosten verbunden ist, bildet erst den Grundstock einwandfreier Untersuchungen. Ohne die notwendigen Hilfsmittel läßt sich auch hier nichts erreichen. Hoffnungsvolle Ansätze zur Arbeit auf dem Gebiete der Elektrokultur sind schon häufig durch den Mangel an Apparaten und Maschinen zum Stillstand gekommen. Aufbauend auf den Arbeiten Boses über die periodisch hydraulischen Wellen der Wasserführung erscheint z.B. die Untersuchung des Einflusses von Wechselströmen verschiedener Periodenzahl und von Hoch-

frequenzströmen lohnend. Neben den Untersuchungen nach der Methode der Bodendurchströmung verlangen auch die Vorgänge bei einer Verwendung der atmosphärischen Elektrizität und anderer hochgespannter Energieformen, durch Bestrahlung der Pflanzen nach Aufklärung, wobei jedoch Gefäßversuche anzustellen sind, um sämtliche Faktoren ständig überprüfen zu können. In enger Verbindung mit den Forschungen und Ergebnissen der Elektrophysiologie wird eine zunehmende Erkenntnis der in der Pflanze während der elektrischen Behandlung ablaufenden Vorgänge dazu beitragen, diese alte Streitfrage, die der Landwirtschaft bisher immer nur Kosten, aber noch nie Nutzen gebracht hat, aufzuklären. In vielen Staaten wird zur Zeit eifrig an der Lösung dieses Problems gearbeitet. Ich brauche nur an das Elektrogenetische Laboratorium von Belgirate in Italien, an die Arbeiten der Sonderkommission am englischen Landwirtschaftsministerium und diejenigen der Amerikaner zu erinnern.

Bei fast sämtlichen Naturkräften ist es bisher durch den Geist des Menschen im Laufe der Zeit gelungen, diese Kräfte, soweit sie als Vegetationsfaktoren für die Pflanzen in Frage kommen, in ihrer physiologischen und biologischen Wirkung auf das Pflanzenwachstum zu erkennen und durch geeignete Maßnahmen zu steigern. So kann der natürliche Nährstoffvorrat des Bodens durch die künstliche Düngung ergänzt werden, das Wasserbedürfnis der Pflanzen in Notzeiten durch künstliche Beregnung befriedigt, das Wachstum der Pflanzen bei mangelndem Tageslicht durch künstliche Bestrahlung aufrecht erhalten werden u. a. m. Lediglich die Naturkraft Elektrizität, auf welche sämtliche Lebenserscheinungen und Naturvorgänge von der modernen Naturwissenschaft ursächlich zurückgeführt werden, hat der Mensch in ihrem Einfluß auf das Pflanzenleben noch nicht erfassen können. Daß ihr als einzige Kraft ein positiver Anteil an der Förderung des Pflanzenwachstums nicht zukommen soll, dies ist leicht behauptet, aber schwer einwandfrei zu beweisen. Vorliegende Ausführungen und Untersuchungen hatten den Zweck, das durch die zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten willkürlich abgegrenzte Arbeitsgebiet zu erforschen und den Einfluß der Elektrizität auf das Pflanzenwachstum nach der Methode der Bodendurchströmung unter den vorliegenden Versuchsbedingungen reproduzierbar festzulegen und einen Beitrag zu dem zur Zeit noch recht kleinen Wissensgebiet der Elektrokultur der Pflanzen hinzuzufügen.

Literatur-Verzeichnis

1. BERTHOLON: De l'électricité des végétaux. Paris 1783. — 2. BOSE: Die Physiologie des Saftsteigens. Übersetzt von PRINGSHEIM 1925. — 3. BRONOLT: Über elektrische Pflanzkulturversuche. Zeitschrift des landwirtschaftlichen Vereins in Bayern 1884. Heft 1, Seite 16—18, ref. in Biedermanns Zentralblatt 1885, Band 14, Seite 142. — 4. FICHTNER & Söhne: Agronomische Zeitung 1861, Seite 550. — 5. GASSNER: Pflanzenphysiologische Fragen der Elektrokultur. Mitteilungen der D. L. G. 1909 Stück 1 Seite 5. — 6. GASSNER: Der Galvanotropismus der Wurzeln. Botanische Zeitung 1905. — 7. GASSNER: Zur Frage der Elektrokultur. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft. Band 25, 1907, Seite 26—38. — 8. GIGLIOLI: Annali della R. Scuola Sup. di agricolt. in Portici. 1900, Seite 58, ref. in Biedermanns Zentralblatt 1902, Band 31, Seite 138. — 9. HELMERT: Zeitschrift für deutsche Landwirte 1859, Seite 371. — 10. HERMANN und MATTHIAS: Der Galvanotropismus der Larven von *Rana temporaria* und der Fische. PFLÜGERS Archiv Band 57, 1894. — 11. HOLDEFLEISS: Elektrische Kulturversuche. Magdeburger Zeitung 1885, Nr. 207, ref. in Biedermanns Zentralblatt 1885, Band 14, Seite 392—393. — 12. INGENHOUSZ: Versuche mit Pflanzen. Deutsch von SCHERER, Wien, 1790. — 13. LEICESTER: Die Einwirkung elektrischer Ströme auf das Wachstum von Samen und Pflanzen. Chemisches Zentralblatt 1892, Band 1, Nr. 11, Seite 486. — 14. LÖWENHERZ: Versuche über Elektrokultur. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten, Band 15, 1905, Seite 137—151, 205—225 und Band 18, 1908, Seite 28, 336—360. — 15. MÄRCKER und BRAUNE: Elektrische Kulturversuche. Magdeburger Zeitung 1885, Nr. 539, ref. in Biedermanns Zentralblatt 1886, Band 15, Seite 131—133. — 16. E. PAQUE: Électro-culture, hiér et aujourd'hui. Bull. Soc. roy. Belgique, Band 48, Nr. 2, Seite 27. — 17. ROSS: Annales agronomiques T. VI. Paris 1880, Seite 43. — 18. SCHEMINSKY: Über den Einfluß dauernder elektrischer Durchströmung auf Lebewesen (Elektrokultur). Archiv für mikroskopische Anatomie und Entwicklungsmechanik, Band 98, Seite 315—378. 1923. — 19. SHEPPARD: Allgemeine Gartenzeitung von OTTO und DIETRICH 1847, Seite 46. — 20. SOLLY: The Journal of the hortikultural Society of London, Vol. I, 1846. — 21. STERN: Kritisches zur Elektrokultur. Umschau 1919, Seite 75. — 22. STERN: Elektrophysiologie der Pflanzen, 1924. — 23. TSCHINKEL: Einwirkung der Elektrizität auf das Pflanzenwachstum. Wiener landwirtschaftliche Zeitung, 1882, Nr. 41, Seite 327. — 24. WOLLNY: Elektrische Kulturversuche. Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik, 1888. Band 11, Seite 88—112. — 25. WOLLNY: Über die Anwendung der Elektrizität bei der Pflanzkultur, 1883, München.

ABSTRACT.

By the ingeniousness of man it has been possible, gradually to know nearly all natural powers which serve as vegetation factors to plants, and to increase their physiological and biological effect on the growth of plants by proper measures. Thus the natural store of nutrient material in the soil may be supplemented by artificial manures, the need of water during dry periods may be satisfied by artificial rain arrangements, the growth of plants in defi-

cient daylight can be maintained by artificial lighting etc. — The natural power electricity only, though to it according to modern natural science all life appearances and natural occurrences are related causally, has not yet fully been comprehended by man in its influence on the life of plants. That electricity alone among all natural powers should not have a positive influence on the promotion of plant growth, may be easily asserted but is very difficult to prove. The preceding investigations had the object, to examine into this by technical possibilities arbitrary limited territory and reproductively to state the influence of electricity on the growth of plants after the method of soilflowing, under the conditions of the research in question, and to add a contribution to the knowledge of the electroculture of plants.

As far as electric currents showed an influence altogether on the growth of the roots, it has proved unfavorable.