LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN

Die Pflanze in ihrer Beziehung zur atmosphärischen Elektrizität.

Von

Rose Stoppel.

Der Titel dieser Arbeit ist vielleicht vielversprechender, als die Ergebnisse der Untersuchungen rechtfertigen. Ich begebe mich aber auf ein bislang wenig bebautes Gebiet und muß den theoretischen Betrachtungen daher einen größeren Raum gewähren.

Bei meinen Beobachtungen über die Schlafbewegungen der Laubblätter[47]) war ich zu dem Resultat gelangt, daß der Schlaf der Laubblätter von einem Außenfaktor abhängen müsse, der elektrischer Natur sei. Äußere Umstände bestimmten mich, diese Ansicht schon damals auszusprechen, obwohl das sehr umfangreiche Erfahrungsmaterial noch nicht als unwiderleglich überzeugend zu bezeichnen war. Logische Schlüsse ließen jedoch die aufgestellte Hypothese als sehr wahrscheinlich erscheinen. Ich zweifle aber nicht, daß mancher Skeptiker seine Stimme nur deshalb nicht erhoben hat, weil er keine bessere Theorie an die Stelle zu setzen hatte. Da die Zeitverhältnisse ohnehin das wissenschaftliche Arbeiten sehr lähmten, so haben sich überhaupt sehr wenige Stimmen für und gegen meine Ansicht ausgesprochen, so daß die angeschnittene Frage noch als eine offene zu bezeichnen ist.

Die größte Lücke, die in der erwähnten Arbeit[47]) geblieben war — der Nachweis der periodischen Schwankung der Leitfähigkeit der Atmosphäre in geschlossenen Räumen bei konstanten Licht- und Temperaturverhältnissen — habe ich inzwischen ausgefüllt durch die in den Berichten der Göttinger Akademie 1919[48]) erschienene Arbeit. Es ist hier der Nachweis erbracht worden, daß unter den gegebenen Bedingungen

DEC 16 1920

eine Periodizität der Leitfähigkeit der Atmosphäre besteht, die scharf hervortritt bei dauernder Dunkelheit, im dauernden Licht dagegen unregelmäßiger, verwischter ist. Die Dunkelkurve der Leitfähigkeit zeigt einen weitgehenden Parallelismus mit der Kurve der Schlafbewegungen der Bohnenblätter, nur machen sich bei der ersteren schnell vorübergehende Außeneinflüsse — Schnee- und Regenfall, Gewitter — geltend, die bei den Pflanzenkurven wenig oder gar nicht hervortreten [vgl. [47]) Abb. 1 S. 616 und [48]) Kurve III S. 14 vom Juni]. Auf die Beziehungen der Luftelektrizität zum Pflanzenleben ist in dieser Arbeit nur flüchtig hingewiesen. Die Beobachtungsresultate und ihre Besprechung liegen fast völlig auf rein physikalischem Gebiet und erfahren hoffentlich mit der Zeit noch von seiten eines geschulten Physikers Ergänzungen und Erweiterungen. Der theoretischen Deutung der gewonnenen Resultate stellen sich überdies noch einige Schwierigkeiten entgegen, doch können wir hoffen, daß bei der so schnell fortschreitenden Erkenntnis von Bau und Eigenschaften der Atome auch diese bald überwunden werden. —

Als Biologen brauchen wir uns zunächst an diesen Klippen nicht zu stoßen. Nachdem der Nachweis eines periodisch sich verändernden Faktors — der Leitfähigkeit der Atmosphäre — bei im übrigen konstanten Faktoren, im geschlossenen Raum erbracht worden ist, muß nun der Nachweis geführt werden, ob und in welcher Weise diese Schwankungen für das Pflanzenleben bestimmend sind, und ob sie periodische Erscheinungen bei der Pflanze auszulösen vermögen. Diese Beziehungen zu klären ist das Ziel der vorliegenden Arbeit. Sie stellt freilich nur den ersten Schritt in dieser Richtung dar. Da die Untersuchungen aber außerordentlich langwierig sind, so habe ich mich entschlossen, mit diesen ersten Resultaten nicht länger zurückzuhalten in der Hoffnung, dadurch das Interesse für dieses Gebiet anzuregen und auch zu diesbezüglichen Forschungen von anderer Seite anzuspornen.

Physikalische Vorbemerkungen.

Auf die physikalischen Verhältnisse bei den in Frage kommenden Erscheinungen will ich zunächst kurz ein-

gehen. Eine ausführlichere Darstellung der sehr schwierigen Probleme, die in mancher Hinsicht noch nicht als völlig gelöst zu betrachten sind, würde über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen. Ich verweise deshalb auf die einschlägige Literatur, die in den zusammenfassenden Werken von Höber[22]), Eichwald und Fodor[7]), Freundlich[12]) und Bernstein[4]) berücksichtigt worden ist. Im besondern sei auch auf die sehr eingehenden Ausführungen Nathansons[38]) verwiesen, mit denen ich mich noch weiter unten zu beschäftigen haben werde.

Die Existenz elektrischer Ströme in der Pflanze ist längst eine bekannte Tatsache, doch haben die Pflanzenphysiologen dieser Erscheinung, ihrer Ursache und ihren Folgen auffallend wenig Beachtung geschenkt. In erster Linie mag daran schuld sein, daß noch bis vor kurzem in der Physik die Mechanik der die übrigen physikalischen Gebiete beherrschende Wissenszweig war. Heute tritt die Mechanik zurück hinter den elektrisch-dynamischen Anschauungen des Naturgeschehens und nach den Untersuchungen und Theorien von Rutherford, Bohr und Einstein droht der Materie, vielleicht einstmals in elektrische Energie aufgelöst zu werden. Es muß nun Sache der Biologen sein, manche ihrer bisherigen Anschauungen den modernen Auffassungen der Physik anzupassen.

Noch ein anderer Umstand hat sicherlich zu der bisherigen Vernachlässigung der Elektrobiologie beigetragen. Die elektrischen Erscheinungen des Pflanzenkörpers zeigen sich in einer Mannigfaltigkeit, die der Erkenntnis des Gesetzmäßigen ziemlich viel Widerstand bietet. Die dabei in Betracht kommenden physikalischen Probleme sind besonders schwieriger Natur, und ihre Auffassung steht vielfach in engster Beziehung zu der allgemeinen Weltanschauung des betreffenden Menschen. Sie werden daher in sehr verschiedenartiger Richtung eine Deutung erfahren.

Endlich bietet sich die Schwierigkeit, daß die von der lebenden Pflanze oder von Teilen derselben abgeleiteten und gemessenen Ströme außerordentlich schwach, und daß bei ihrer Bestimmung große Fehlerquellen zu berücksichtigen sind. Häufig ändern diese Ströme anscheinend grundlos ihre Richtung, so daß man ihnen vom energetischen Standpunkt aus bisher nur eine beschränkte Bedeutung zumaß.

Man vergaß dabei aber die sehr wichtige Tatsache, daß der elektrische Strom, den man durch Anlegen zweier Elektroden an irgendwelche Stellen eines Pflanzenkörpers bestimmte, keine einheitliche Erscheinung ist, sondern daß er soviele oder noch weit mehr Potentialsprünge machen muß, als der abgeleitete Pflanzenteil Zellelemente hat.

Wir wissen durch die Untersuchungen von Ursprung und Blum[53]), daß der osmotische Druck nicht in allen Zellen eines Pflanzenkörpers der gleiche ist. Im allgemeinen weisen die distalen Partien einen höheren Druck auf als die zentral gelegenen, auch ist der gleiche Abfall in der Horizontalen zu beobachten, indem die äußeren Zellagen einen höheren Druck haben als die inneren. Durch diese Einrichtung — auf ihre Ursache will ich nicht eingehen — ist in der Pflanze ein System von Konzentrationsketten geschaffen, die nach den Untersuchungen Nernsts einen Potentialunterschied der Endlösungen ergeben, also damit elektrische Ströme in der Pflanze hervorrufen.

Solch ein elektrischer Strom hat jedoch beim Übergang von einer Zelle zur folgenden eine Grenzschicht zu durchlaufen, wodurch sich die Verhältnisse sehr kompliziert gestalten. Der elektrische Strom in Flüssigkeiten beruht auf einer Wanderung von Ionen. Nun fand aber schon Ostwald, daß in vielen Fällen semipermeable Membranen nicht nur halbdurchlässig sind für verschiedene Moleküle, sondern auch für verschiedene Ionenarten. Er konnte zeigen, daß oft nur das eine Ion — sagen wir das Kation — die Grenzschicht passieren kann, das Anion dagegen von der Membran zurückgehalten wird. Auf dieser Beobachtung fußend, stellte Bernstein[4]) seine Membrantheorie für die bioelektrischen Erscheinungen auf. Dieser Theorie zufolge muß an jeder halbdurchlässigen Membran ein Potentialsprung vorhanden sein, der nicht allein auf der Semipermeabilität der Membran für die verschiedenen Ionen, sondern auch auf deren verschiedener Wanderungsgeschwindigkeit beruht. Haben z. B. die Kationen die Membran zuerst erreicht, und sie können dieselbe passieren, so wird sich auf der inneren Membranseite ein Beleg dieser positiv geladenen Ionen so lange ansammeln, bis die elektrostatische Anziehung von seiten der zurückge-

bliebenen Anionen so groß ist, daß dem Diffusionsstrom der Kationen gerade das Gleichgewicht gehalten wird. Ist dieser Zustand erreicht, dann werden zunächst keine Ionenverschiebungen stattfinden, sondern es wird sich ein Gleichgewichtszustand im Pflanzenkörper einstellen. Die Membrantheorie gibt also keine Erklärung für das Auftreten elektrischer Ströme im Organismus.

Wird jedoch dieser Gleichgewichtszustand durch irgendeinen Umstand gestört, so werden sofort wieder Ionenverschiebungen eintreten. Ein Faktor, der dauernd für diese Störung des Gleichgewichtszustandes sorgt, ist nun die Existenz der oben erwähnten Konzentrationsketten, die wiederum durch die Differenzierung der Zellen, durch Oxydations- und Reduktionsvorgänge, durch Assimilation, Atmung und Transpiration der Zellen erhalten bleibt. Es wird sich also jede auch noch so kleine Veränderung am Pflanzenkörper auf weitere Strecken in demselben, eventuell im ganzen Organismus, bemerkbar machen, und die elektrischen Verschiebungen werden vielfach mit chemischen Veränderungen verbunden sein.

Damit sind die elektrischen Erscheinungen an den Grenzflächen aber durchaus noch nicht erschöpft. Die halbdurchlässigen Membranen sind nicht als ein homogenes Gebilde aufzufassen, sie sind vielmehr nach Freundlich[12]) anzusehen als ein System von Kapillaren. Es kommen daher die an Diaphragmen beobachteten kapillarelektrischen Erscheinungen auch bei den Membranen in Betracht.

Freundlich fand, daß sich im Innern einer Kapillare infolge des Lösungsdruckes und der Adsorption eine elektrische Doppelschicht bildet, indem die benetzende Schicht von der einen Ionenart — sagen wir den Kationen — gebildet wird und an der Wandung fest haftet, während die andere Ionenart, also die Anionen, in den Flüssigkeitsporen sich frei beweglich verschieben kann. Werden diese beiden Ionenschichten durch eine äußere Kraft gegeneinander verschoben, — in der Pflanze wird es sich hauptsächlich um eine elektromotorische Kraft handeln, — so tritt die als Elektrosmose bekannte Stoffwanderung in Erscheinung. Da es sich bei den semipermeablen Membranen der Pflanzen um Eiweißgebilde handelt, so braucht

die elektrische Doppelschicht nicht auf Adsorptionserscheinungen zu beruhen, sondern, da das Eiweiß zu den amphoteren Körpern gehört, kann die Ionenschichtung die Folge der elektrischen Dissoziation der Eiweißsubstanz sein.

Weiter ist zu beachten, daß die Membransubstanz selbst kein völliger Isolator ist, sondern sie besitzt eine bestimmte, wenn auch geringe Leitfähigkeit. Es werden sich daher in der Membran Lokalströme entwickeln, die durch die Poren hindurchgehen und dann durch die Membransubstanz selbst wieder zu ihrem Ausgangspunkt zurückkehren. Für eine dauernde Unterhaltung dieser Lokalströme ist es aber erforderlich, daß die auf beiden Seiten der Membran sich entwickelnden Produkte der Elektrolyse dauernd weggeschafft werden. Von diesen Erwägungen ausgehend ist Nathanson zu der Auffassung seiner elektrolytischen Atmungstheorie[38]) gelangt, der ich in den vorliegenden Versuchen von andern Gesichtspunkten ausgehend entgegenkomme. Wir werden uns also im theoretischen Teil mit seiner Arbeit noch zu beschäftigen haben.

Fassen wir die elektrischen Vorgänge im Pflanzenkörper noch einmal kurz zusammen, so sehen wir, daß die elektrischen Ströme, die auf der Existenz der Konzentrationsketten beruhen, an jeder Grenzschicht einen Potentialsprung zu machen haben. Die Membran selbst wird eine bestimmte Ladung annehmen, und durch das Porensystem der Membran werden noch die Lokalströme gehen. Durch dieses Ineinandergreifen der Prozesse ist ein äußerst labiler Gleichgewichtszustand im Organismus geschaffen, und jede Veränderung irgendeines Außenfaktors wird sich infolge der Störung dieses Gleichgewichtszustandes nicht nur auf weitere Strecken im Pflanzenkörper bemerkbar machen, sondern auch in verschiedenster Richtung die Lebensprozesse der Pflanze beeinflussen können. Dadurch ergibt sich für den Organismus eine erhebliche Regulationsfähigkeit, die für die Entwicklung und Erhaltung des Individuums von so ausschlaggebender Bedeutung ist. Denn jeder Lebensvorgang ist eine Veränderung, und derjenige Organismus wird am widerstandsfähigsten sein, der sich am leichtesten den äußeren Veränderungen anzupassen imstande ist, ohne einen inneren Schaden zu leiden.

Die dabei in Frage kommenden äußeren Veränderungen können der mannigfachsten Art sein. Auf einige Punkte werde ich im letzten Teil dieser Arbeit hinweisen, an dieser Stelle will ich nur einen Faktor, die Schwankungen der elektrischen Erscheinungen der Atmosphäre besprechen.

Sind wir schon über die elektrischen Vorgänge in der Pflanze schlecht unterrichtet, so gilt dies vielleicht noch in höherem Grade von den luftelektrischen Erscheinungen. — Die Atmosphäre galt früher als Isolator. Jetzt weiß man aber, daß sie eine und zwar nicht ganz unerhebliche Leitfähigkeit besitzt. Stellt man ein mit einem Zerstreuungskörper versehenes Elektroskop an einen elektrisch geschützten Ort, also innerhalb eines Hauses, unter Bäumen oder unter sonst einem leitenden Schutzdach auf, und ladet es auf, so werden die Elektroskopblättchen bald infolge eines Ladungsverlustes zusammenfallen. Die Geschwindigkeit dieses Vorgangs ist eine Funktion der Ionenmenge der Atmosphäre und ihrer Beweglichkeit.

Die Bestimmung der Ionenmenge geschieht meist mit Hilfe eines Ionenaspirators. Bei diesem Instrument saugt ein Windrad die Luft mit starker Geschwindigkeit an die geladene Elektrode des Elektroskops heran, die von einem geerdeten Zylindermantel in bestimmtem Abstand umgeben ist. Es wird angenommen, daß auf diese Weise alle in der Luft befindlichen Ionen, auch die trägen, schwer beweglichen infolge des Luftzuges an die Elektrode gelangen und diese entladen. Die Entladungsgeschwindigkeit wäre demnach nur abhängig von der Ionenzahl, ohne eine Funktion ihrer Beweglichkeit zu sein.

Bei der Zerstreuung der Elektrizität in der ruhenden Atmosphäre sind die trägen Ionen allerdings von unwesentlicher Bedeutung. Die Entladungsgeschwindigkeit eines freistehenden Zerstreuungskörpers wird hauptsächlich auf Rechnung der leicht beweglichen Ionen zu setzen sein. Diese Beweglichkeit der Elektrizitätsträger ist nach der verbreitetsten Ansicht abhängig von der Masse, an der das Elektrizitätsquantum haftet. Sehen wir von den Elektronen ab, so finden sich in der Atmosphäre als Elektrizitätsträger die Atom- und Molionen; auch an Staubteilchen lagert sich die Elektrizität an, oder sie bildet den Kern von Wassertröpfchen.

Nach anderer Auffassung soll die Trägheit der Ionen nicht durch ihre Masse, sondern vielmehr durch die Reaktion ihrer Ladung gegenüber andern, neutralen Molekülen hervorgerufen sein[10]).

Auf Grund mehrfacher Untersuchungen wird angenommen, daß die Beweglichkeit der Ionen keinen großen Veränderungen unterworfen ist. Nur Feuchtigkeit soll in geringem Maße beschleunigend wirken.

Die Ionenmenge ist bedingt durch den Emanationsgehalt der Atmosphäre und durch die Intensität der durchdringenden Strahlung. Ferner können Niederschläge die Ionenmenge in den Luftschichten verschieben, da Regen und Schnee Ionen aus den höheren Schichten mit herunternehmen. Überhaupt soll das Wasser auf die Luft eine ähnliche dissoziierende Wirkung haben, wie bei Salzlösungen[21]); so wird der Lenard-Effekt, der in der Nähe von Wasserfällen zu beobachten ist, auf die dissoziierende Wirkung der zerstäubten Wassertröpfchen zurückgeführt. — Den Emanationsgehalt der Atmosphäre führt Ebert auf den Vorgang der Bodenatmung zurück, der abhängig ist von den Barometerschwankungen. Ein Einfluß von Licht und Dunkelheit auf die im Ionenaspirator zu bestimmende Ionenmenge ergab sich aus meinen eigenen Versuchen, während ich keine Beziehung zu den Barometerschwankungen feststellen konnte. Es zeigten sich aber in meinen Versuchen tagesperiodische Schwankungen des Ionisationsgrades der Atmosphäre. Sie traten in dauernder Dunkelheit vielfach hervor, bei konstanter Belichtung wurden die Kurven unregelmäßiger, der Elektroskopabfall ein geringerer. Die Differenz zwischen den Maximal- und Minimalwerten war im Dauerlicht kleiner als in dauernder Dunkelheit.

Ganz anders scheinen hingegen die Beziehungen von Licht und Dunkelheit zur Leitfähigkeit, die im Gegensatz zur Ionenmenge im Licht zwar auch unregelmäßig wird, aber sehr hohen Wert annimmt und große Schwankungen zeigt. Die Kurve aus der Dunkelperiode ist flacher, zeigt aber die Tagesperiodizität sehr deutlich.

Vergleicht man nun die unter gleichen Verhältnissen zu gleicher Zeit festgestellten Werte der Ionenmenge und der

Leitfähigkeit, so müßte sich ein Maß ergeben für die Ionenbeweglichkeit. Nach den Resultaten meiner Untersuchungen zu urteilen, muß diese Ionenbeweglichkeit entweder großen Veränderungen durch die Belichtung unterworfen sein, oder aber die Beziehungen der Ionenmenge zur Leitfähigkeit der Atmosphäre sind komplizierterer Natur. Besonders während der Lichtversuche haben die Differentialquotienten der beiden Kurven bisweilen nicht nur sehr verschiedene, gleichsinnige Werte, sie können sogar entgegengesetzte Vorzeichen annehmen.

Die tagesperiodischen Schwankungen der Leitfähigkeit in dauernder Dunkelheit haben ihr Maximum in den frühen Morgenstunden meist zwischen 2 und 4 Uhr. Auch die Ionenmenge erreicht in dauernder Dunkelheit um dieselbe Zeit ihren höchsten Wert, soweit man überhaupt bei diesen Bestimmungen von einer regelrechten Periodizität reden kann. Im November und Januar trat sie jedoch deutlich hervor. Den gleichen zeitlichen Verlauf haben die Kurven verschiedener physiologischer Vorgänge, so daß ich mich nicht des Eindrucks erwehren konnte, daß hier Kausalbeziehungen bestehen. Entweder sind Leitfähigkeit und Ionenmenge der Atmosphäre in hohem Maß zeitlich regulierend für viele Lebensprozesse, wobei ich offen lassen muß, ob beide Faktoren oder nur die Leitfähigkeit dafür in Betracht kommen, oder aber die Periodizität der luftelektrischen Erscheinungen, für die die Erklärung bislang noch aussteht, beeinflußt nicht direkt die Organismen, sondern ein gleicher Grundfaktor wirkt auf die physikalischen und physiologischen Vorgänge in gleicher Weise.

Die Ionenbildung in der Atmosphäre wird hauptsächlich darauf zurückgeführt, daß die schnellbeweglichen Elektronen und Ionen auf ihrem Wege mit Gasmolekülen zusammenstoßen, daß diese infolge des Anpralls ein oder mehrere Elektronen verlieren und dann selbst positiv geladen zurückbleiben [11]). Wir wissen aber nicht, ob es Sache des Zufalls ist, von welcher chemischen Beschaffenheit die Moleküle sind, die zertrümmert werden, oder ob eine gewisse Gesetzmäßigkeit besteht hinsichtlich der ionisierten Menge eines chemisch bestimmten Bestandteils der Atmosphäre und der Menge, in der dieser Bestandteil in der Luft vorhanden ist. Es ist auch nicht ausgeschlossen,

daß die verschiedenen Außenfaktoren in verschiedenem Grade auf die Ionisation der einzelnen Luftbestandteile wirken. Nach Versuchen von Kučera[28]) ist die Ionisation, die durch die Sekundärstrahlung der β- und γ-Strahlen auf Blei bezogen in allen untersuchten Gasen gleich stark. Danach könnte man also annehmen, daß die Ionisation in der Atmosphäre dem Zufallsgesetz folgend die einzelnen Bestandteile erfaßt, also entsprechend ihren Mengenverhältnissen in der Atmosphäre sich verteilt. Die Erfahrungen Rutherfords über den Bau des Stickstoffatoms und das daraus hervorgegangene Bohrsche Atommodell lassen zurzeit jedoch für die Hypothese einen weiten Spielraum. Eine Klärung dieser Fragen wäre für den Biologen von großer Wichtigkeit. Zurzeit müssen wir uns leider noch mit der komplexen Größe der Leitfähigkeit und der Ionisation der Atmosphäre abfinden, deren Beziehung zu einem Lebensprozeß, der Atmung, festzustellen der Zweck der folgenden Untersuchungen war.

Versuchsanordnung.

Da die Differenz der bei der Atmung ausgeschiedenen Kohlensäure bei normaler und schwach gesteigerter Leitfähigkeit der Luft innerhalb einer kurzen Versuchszeit nur gering sein dürfte, die Konstanz der übrigen Außenfaktoren zudem sehr schwer zu halten gewesen wäre, um so mehr, als ich mich bemühte, unter möglichst normalen Verhältnissen zu arbeiten, so blieb mir nichts anderes übrig, als auf Absolutwerte bei der Atmungsbestimmung zu verzichten, und mich auf die Bestimmung von Relativwerten zu beschränken. Um geeignete Vergleichswerte zu erhalten, arbeitete ich stets mit zwei Versuchspflanzen gleichzeitig, wobei die eine Pflanze in einer Atmosphäre von künstlich gesteigerter Leitfähigkeit sich befand, während die andere Pflanze in der normalen Atmosphäre verblieb. Auf diese Weise erhielt ich am ersten Tag für jede Pflanze je einen Atemwert, wobei als einziger verschiedenartiger Außenfaktor der Gehalt der Luft an Emanation in Betracht kam. Am folgenden Tage wiederholte ich den Versuch, jedoch mit dem Unterschied, daß, wenn am ersten Tage Pflanze a unter Radiumwirkung gestanden hatte, während b unter normalen Verhältnissen geblieben war, am zweiten Tage die Sache um-

gedreht wurde, b mit Radium behandelt, a normal gehalten wurde. So wurde der Versuch bei stetem Wechsel der Radiumbehandlung fortgesetzt, so lange die Pflanzen es aushielten. Meist brach ich den Versuch nach etwa 5 Tagen ab, denn auch bei den Pflanzen, die keine merkbare Störung aufwiesen, ebbten die Differenzen allmählich stark ab, vielleicht infolge eines Emanationsniederschlages auf den Blättern.

Hatte ich nun auf diese Weise eine Reihe von Tagen die Atmungsintensität der beiden Pflanzen festgestellt, so konnte ich aus einem Vergleich der sich für beide Pflanzen an den aufeinanderfolgenden Tagen ergebenden Differenzen einen Schluß ziehen auf den Einfluß, den die Radiumatmosphäre auf die Atmungsintensität der Pflanzen gehabt hatte.

Das Protokoll, das ich auf diese Weise erhielt, entsprach etwa dem folgenden Schema, bei dem α, β, m und n Werte für die ausgeschiedene Kohlensäure bedeuten, und R besagt, daß die Pflanze an dem Tage unter dem Einfluß der Radiumatmosphäre gestanden hatte:

Ausgeschiedene Kohlensäure bei

Versuchstag	Pfl. a	Pfl. b
1	$\alpha + m$ (R)	β
2	α	$\beta + n$ (R)
3	$\alpha + m$ (R)	β
4	α	$\beta + n$ (R)

Die Pflanze a hatte am ersten und dritten Tag unter der Radiumwirkung eine um den Betrag m gesteigerte Atmungsintensität gezeigt, die Pflanze b am zweiten und vierten Tage um den Wert n. Hieraus ergab sich also, daß das Radium fördernd auf die Atmung gewirkt hatte. Wären die höheren Werte an den anderen Tagen erreicht, für a am zweiten und vierten, für b am ersten und dritten, so wäre daraus ein hemmender Einfluß der Emanation zu ersehen gewesen.

Nun waren die Protokolle natürlich nicht so einfach wie das obige Schema, bei dem ich angenommen habe, daß die übrigen Außenfaktoren und die Disposition der Pflanzen während der Versuchstage stets die gleichen geblieben waren. Die Außenfaktoren schwankten aber an den aufeinanderfolgenden Tagen jedoch für beide Pflanzen in gleicher Weise, so daß ich an-

nehmen muß, daß auch der Einfluß auf dieselben gleichartig, wenn auch vielleicht nicht immer gleich intensiv war. Es kam z. B. vor, daß beide Pflanzen am zweiten Tage eine geringere Atmungsintensität gehabt hatten, als am ersten Tage. Dann war der springende Punkt der, bei welcher der beiden Pflanzen die Abnahme der Kohlensäureausscheidung geringer war. Ließ sich eine bestimmte Gesetzmäßigkeit hierin finden derart, daß der Verlust an Atmungsintensität stets kleiner (oder die Zunahme größer) war im Vergleich zur zweiten Pflanze dann, wenn am ersten Tage normal geatmet war, am zweiten bei Radiumeinfluß, so ergab sich daraus eine Förderung der Atmung durch Radium, im umgekehrten Fall mußte das Radium ein Hemmungsfaktor gewesen sein. Der Einfluß der übrigen Außenfaktoren konnte also auf diese Weise richtig gewertet werden und verschleierte nicht die Resultate.

Zu diesen schwankenden Außenfaktoren gehörte auch die Konzentration der Kohlensäure in der Luft. Ich mußte die Gewißheit haben, daß dieselbe bei den beiden Parallelversuchen stets die gleiche war. Es war nicht angängig, die Luft, die der Pflanze zur Verfügung gestellt wurde, zuerst durch eine Waschflasche zu leiten, in der die Kohlensäure absorbiert worden wäre. Hierdurch wären auch die elektrischen Eigenschaften der Atmosphäre verändert worden. Es kam darauf an, die Luft möglichst direkt an die Pflanze gelangen zu lassen, ohne daß sie größere Röhrensysteme oder gar Flüssigkeiten durchstrich. — Da ich aber bei dem unvermeidlichen Übergang von Emanation in die Luft des Versuchsraumes eine gegenseitige Störung bei den Parallelversuchen befürchtete, arbeitete ich in der ersten Zeit in 2 Zimmern, die beide gasfrei sind, nebeneinander liegen, im Erdgeschoß mit den Fenstern nach Osten gerichtet. Die Versuche wurden fast ausschließlich bei weit geöffneten Fenstern ausgeführt. Dennoch zeigte es sich, daß die Kohlensäuremenge in den beiden Zimmern bisweilen nicht ganz übereinstimmte, und ich ging deshalb später dazu über, die beiden Versuche gleichzeitig im gleichen Raume anzustellen. Das dazu ausgesuchte physiologische Zimmer ist sehr groß und luftig mit 2 hohen je 3 teiligen Fenstern. Vor jedem derselben wurde ein Versuch aufgestellt, so daß die beiden Pflanzen etwa in 5 m

Abstand voneinander waren. Je einer der drei Fensterflügel war dann weit geöffnet. Auf diese Weise habe ich eine gegenseitige Störung der Versuche nicht feststellen können.

Für jede der beiden Versuchspflanzen stand ein Rundkolben von ca. 1 Liter Inhalt zur Verfügung. Diese Kolben hatten einen kurzen Halsansatz von ca. 3 cm Durchmesser und seitlich 2 sich gegenübersitzende Ansatztubuli. Sie wurden an einem Stativ so aufgehängt, daß der Halsteil nach unten wies. Durch diesen wurden die Blätter der Versuchspflanze sorgfältig kurz vor Beginn jedes Versuches in das Innere des Kolbens geschoben. Der Halsansatz wurde dann mit Hilfe eines doppelt durchbohrten Stopfens luftdicht abgeschlossen. Der Korken war quer durch das eine Bohrloch aufgespalten, damit der Stiel der Versuchspflanze zwischen die beiden Hälften eingepaßt werden konnte. Mit Hilfe von Watte und nötigenfalls etwas Kakaobutter ließ sich so ein ganz fester Verschluß erzielen. In dem zweiten Bohrloch endigte ein Glasrohr, das an seinem andern Ende an das Einleitungsrohr einer Pettenkoferröhre angeschlossen wurde. Das andere Ende der Pettenkoferröhre war mit einer Kontrollwaschflasche verbunden, und diese wiederum mit der Saugflasche von 20 Liter Inhalt. — Die beiden seitlichen Tubuli des Versuchskolbens dienten dazu, um entweder ein kurzes Glasrohr anzusetzen, damit eine Diffusion der Luft aus dem Innern des Kolbens nach außen vermieden wurde, oder aber ein weites, längeres Rohr, das teilweise mit einer radiumhaltigen Erde, Carnotid, angefüllt war. Diese Erde erhielt ich durch die Liebenswürdigkeit des Herrn Professor Walter aus dem physikalischen Institut in Hamburg, dem ich an dieser Stelle hierfür sowie für manche wertvolle Auskunft meinen herzlichsten Dank ausspreche. Nach seinen Angaben enthielt das Carnotid — es ist ein Vanadat des Urans und Kaliums — 2% Uranoxyd und dementsprechend 5—6 Milligramm Radium pro Tonne.

Wurde die Saugflasche abgelassen, so ging ein Luftstrom durch die seitlichen Tubuli des Kolbens, strich über die Blätter der Versuchspflanze, wurde durch die zweite Bohrung des nach abwärts gerichteten Halsteiles des Kolbens in die Pettenkoferröhre geführt und ging dann durch die Kontrollflasche in die Saugflasche. Je nach der Aufstellung strich die Luft zuerst durch das

Carnotidröhrchen und belud sich mit Emanation, oder sie gelangte durch das kurze Glasrohr im normalen Zustand an die Pflanze. Die Carnotidröhrchen waren nur durch Korkstopfen mit weiter Bohrung in den Tuben befestigt, damit keine Glasrohre passiert zu werden brauchten.

Die Pettenkoferröhre war mit 60 ccm einer möglichst konzentrierten Barytlösung beschickt und enthielt eine große Glasperle, die den Luftblasen den Durchtritt erschwerte. Auf diese Weise erzielte ich eine völlige Absorption der Kohlensäure. Im allgemeinen richtete ich es so ein, daß 17 Liter Luft im Laufe von 1¾—2 Stunden das System passierten. Bisweilen ging der Versuch etwas schneller, manchmal etwas langsamer. Es mußte aber stets Sorge getragen werden, daß in den beiden Parallelversuchen die gleiche Luftmenge in der gleichen Zeit den Pflanzen zur Verfügung gestellt wurde. Die Saugflaschen waren in Liter-Abständen kalibriert, so ließ sich durch häufigeres Kontrollieren die Gleichzeitigkeit gut erreichen.

Die Menge der ausgeatmeten Kohlensäure + der jeweiligen Luftkohlensäure in dem gegebenen Volumen wurde bestimmt durch Titration von 2 bis 3 Portionen à 10 ccm der Barytlösung mit etwa $^1/_{10}$ normaler HCl Lösung. Als Indikator diente Phenolphtaleïn. Da es mir nicht auf die Bestimmung der Absolutwerte ankam, so war eine genaue Einstellung der Lauge sowie der Säure nicht nötig. Ich mußte nur die Gewißheit haben, daß die Lösungen im Lauf einer Versuchsreihe ihre Konzentration nicht verändert hatten. Daß hier mit aller Vorsicht gearbeitet wurde, ist selbstverständlich. — Das Barytwasser der Pettenkofferröhre wurde nach beendetem Versuch in einen Glaszylinder mit eingeschliffenem und eingefettetem Glasstopfen gefüllt und erst am folgenden Tage, nachdem sich die Lösung ganz klar abgesetzt hatte, titriert.

Als Versuchspflanzen dienten Aesculus und Phaseolus. Bei beiden Objekten wurden Versuche mit eingetopften Exemplaren gemacht, außerdem bei Aesculus mit abgeschnittenen Zweigen und zwar grünen sowie ganz weißen chlorotischen Trieben. Diese traten reichlich als Stammausschlag an mehreren älteren Bäumen des botanischen Gartens auf. Sie enthielten gar kein Chlorophyll. Die Zweige wurden am Tage vor Beginn des

Versuches abgeschnitten, und es wurde täglich nach Beendigung des Versuches die Schnittfläche und das Wasser erneuert. Zur Vermeidung der Assimilation wurden die Versuchskolben mit großen schwarzen Tüchern dicht umhüllt.

Der Gang eines Versuches war folgender: Zuerst wurden die Saug- und Kontrollflaschen, dann die beiden Pettenkoferröhren für beide Versuche gefüllt, aufgestellt und durch eine Klemme von der Außenluft abgeschlossen. Darauf wurde die erste Pflanze in den Kolben eingeführt, der Halsteil abgedichtet, die Verbindung mit der Pettenkoferröhre hergestellt, die Kolben verdunkelt und sofort die Saugflasche angelassen. Dann erst wurde die zweite Pflanze aufgestellt. Die Differenz in dem Beginn der beiden Versuche betrug meist 3 Minuten, was natürlich am Schluß berücksichtigt werden mußte.

Während der Versuch im Gange war, erforderte der gleichmäßige Ablauf große Aufmerksamkeit. Dabei war ein längeres Verweilen in dem Versuchsraum wegen der Steigerung des Kohlensäuregehaltes möglichst zu vermeiden, obwohl dieser Fehler bei den geöffneten Fenstern nicht sehr ins Gewicht fallen dürfte. Es wurde natürlich auch Sorge getragen, daß die Sonne niemals die Versuchskolben beschien.

In den folgenden Protokollen habe ich niemals die tatsächlich ausgeatmete Kohlensäure berechnet. Da es mir ja nur auf die Relativwerte ankam, genügt die Angabe der für die Titration erforderlichen Salzsäuremenge. Der Übersichtlichkeit halber habe ich dann aber bei Berechnung der Differenz im Fall eines vermehrten Salzsäurebedarfs ein Minuszeichen gesetzt, bei Verminderung ein Pluszeichen. Diese Differenzwerte geben daher direkt die Relativdifferenz der ausgeatmeten Kohlensäuremenge an. Der Fettdruck weist auf den jeweils höheren Wert der beiden in Frage kommenden Differenzen hin. Ich gebe nur die ersten Protokolle ausführlich wieder, bei den späteren begnüge ich mich mit der Wiedergabe der Differenzen, da ja die zur Titration tatsächlich gebrauchte Salzsäuremenge für das Resultat belanglos ist.

Versuchsergebnisse.

Bevor ich mich den Ergebnissen meiner Versuche mit Pflanzen zuwende, muß ich einige physikalische Beobachtungen

voranschicken. Ich hatte die Leitfähigkeit der Atmosphäre in dem Versuchskolben dadurch erhöht, daß ich die Luft durch ein Carnotid enthaltendes Röhrchen streichen ließ. Es lag mir daran festzustellen, wie groß etwa die dadurch erzielte Veränderung der Atmosphäre auf elektrischem Gebiet wäre. Um dies zu ermitteln, stellte ich vier verschiedene Versuche an in demselben Raum, an derselben Stelle und unter den gleichen Bedingungen wie die Pflanzenversuche. Ich bestimmte:

1. die Leitfähigkeit der Atmosphäre mit einem Elektroskop, dem als Zerstreuungskörper ein Stift von 9 cm Länge aufgesetzt war, bei + und — Ladung des Elektroskops in einem Zeitraum, der dem für die folgenden Versuche erforderlichen ziemlich gleich kam.

2. den Elektrizitätsverlust, wenn dasselbe Elektroskop mit dem gleichen Zerstreuungskörper sich unter einer Glasglocke befand, die mit Fett verklebt, fest auf einer Glasunterlage aufsaß. Die Glasglocke hatte oben einen Tubus, der mit doppelt durchbohrtem Korken verschlossen war. Ich ließ einen starken Luftstrom durch die Glocke mit Hilfe der Saugflasche gehen. Diese war an ein langes Glasrohr angeschlossen, das in dem einen Bohrloch des Korkens steckte, während in dem anderen ein kurzes Glasröhrchen eingepaßt war. Während eines Versuches wurden jedesmal 17 Liter Luft in der angegebenen Zeit durch die Glocke gesaugt. Das Elektroskop wurde + und — geladen.

3. Derselbe Versuch mit verdunkelter Glocke. Zur Verdunkelung wurde dasselbe große schwarze Satintuch genommen, wie bei den Pflanzenversuchen; + und — Ladung.

4. Ehe die Luft in die Glasglocke gelangte, mußte sie eins der bei den Pflanzenversuchen verwendeten Carnotidröhrchen passieren. Wiederum + und — Ladung.

Die meisten Resultate sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Bei der Umrechnung in Volt habe ich mich auf die von der Firma Günther & Tegetmeyer zu dem Elektroskop gelieferte Eichtabelle gestützt. Die Bestimmungen mit Vorschaltung des Carnotidröhrchens wurden immer nur als letzte Versuche an dem betreffenden Tage gemacht, dann aber mehrere hintereinander. Da diese Resultate ziemlich schwankend waren, so

versuchte ich, ob ein Erneuern der Carnotidoberfläche durch Schütteln einen Einfluß hatte. Ich konnte jedoch keine gesetzmäßige Veränderung dadurch ermitteln. Es schien mir nur, als ob an jedem Tage der erste Versuch mit Carnotid etwas höheren Wert gab. Die Carnotidröhrchen wurden natürlich nur zu den Versuchen in das physiologische Zimmer gebracht, sonst in einem abseits liegenden Raum aufgehoben.

Tabelle 1.

Versuchs-Nr.	Ladungssinn	Versuchsart	Abstand der Elektroskopblättchen bei Beginn	Abstand der Elektroskopblättchen am Schluß	Elektrizitätsverlust in Volt	Versuchszeit in Min.	Elektrizitätsverlust 1. Volt berechnet für 10 Min.
5	+	freistehend	$27\frac{3}{4}$	$25\frac{1}{2}$	9,8	16	6,25
8	+	,,	$27\frac{3}{4}$	$24\frac{3}{4}$	13,2	14	9,45
4	+	Luft durchgesaugt, hell	$27\frac{3}{4}$	27	3,2	14	2,29
9	+	,, ,, ,,	$27\frac{1}{2}$	$26\frac{3}{4}$	4,2	15	2,8
10	+	,, ,, verdunk.	$27\frac{1}{4}$	$25\frac{1}{2}$	8,2	$14\frac{1}{2}$	5,7
6	+	,, ,, Carnotid hell	$27\frac{1}{2}$	$17\frac{1}{4}$	53,0	17	31,2
23	+	desgl.	$27\frac{1}{2}$	20	38,0	$11\frac{1}{4}$	38,2
24	+	desgl.	$27\frac{1}{2}$	$19\frac{1}{2}$	40,9	$14\frac{1}{2}$	28,3
25	+	desgl.	27	21	29,6	$13\frac{1}{4}$	22,3
3	—	freistehend	$28\frac{1}{2}$	27	6,3	16	3,9
15	—	,,	$27\frac{1}{2}$	$25\frac{1}{2}$	8,8	15	5,9
2	—	Luft durchgesaugt, hell	$28\frac{1}{2}$	$27\frac{2}{3}$	3,2	16	2,0
14	—	,, ,, ,,	$27\frac{1}{2}$	$25\frac{1}{2}$	8,8	16	5,5
16	—	,, ,, ,,	$27\frac{1}{2}$	$26\frac{1}{2}$	4,2	$13\frac{3}{4}$	3,1
17	—	,, ,, verdunk.	$27\frac{1}{2}$	$26\frac{1}{2}$	4,2	15	2,8
7	—	,, ,, Carnotid, hell	27	$25\frac{1}{2}$	6,7	14	4,1
21	—	desgl.	$27\frac{1}{2}$	$16\frac{3}{4}$	56,6	$13\frac{1}{2}$	41,9
22	—	desgl.	27	20	35,9	$14\frac{1}{2}$	24,8

Wir ersehen aus der Tabelle, daß die Zerstreuung bei freistehendem Elektroskop bei + Ladung etwas größer ist, als bei — Ladung, was auch bei Beobachtungen im Freien gefunden worden ist.

Steht das Elektroskop unter einer Glocke, so geht der Ladungsverlust trotz des starken Luftstroms auf weniger als die Hälfte, wenigstens bei + Ladung des Elektroskops, zurück. Dies Resultat ist sehr wichtig, da sich bei physiologischen Versuchen die pflanzlichen Objekte vielfach innerhalb von Glas-

gefäßen befinden, also unter erheblicher quantitativer Veränderung eines Außenfaktors.

Wird die Glocke verdunkelt, so scheint die Leitfähigkeit bei + Ladung, also λ_+ wieder zu steigen.

Nach Vorschalten des Carnotidröhrchens steigt die Zerstreuung stark, erreicht jedoch noch nicht den dritten Teil des Wertes, den ich in demselben Monat im Jahre 1918 bei meinen Untersuchungen im Keller des Hamburger Botanischen Institutes feststellte. Damals ergaben sich innerhalb 5 Minuten in dauernder Dunkelheit Abfallswerte, die zwischen 43,3 und 74,5 Volt lagen, bei dauernder Belichtung des Raumes mit zwei Osramlampen à 200 Kerzen Werte zwischen 46,5 und 81,7 Volt. Die Zerstreuung in meinem physiologischen Arbeitsraum im Erdgeschoß während der Nachtzeit habe ich nicht festgestellt. Die dort gefundenen Tageswerte bei freistehendem Zerstreuungskörper sind auffallend klein, was teilweise auf Rechnung der in den Versuchstagen herrschenden Wärme und Trockenheit zu setzen ist. Bei sämtlichen Versuchen sind die Werte von λ_+ weniger schwankend als von λ_-.

Aus diesen Untersuchungen geht hervor, daß der Emanationsgehalt der Luft und ihre dadurch hervorgerufene größere Leitfähigkeit und Ionisation in meinen Pflanzenversuchen nicht das Maß dessen übersteigt, dem die freistehende Pflanze häufig ausgesetzt sein wird.

Die mit Pflanzen angestellten Versuche stelle ich zusammen je nach der Art des verwendeten Versuchsmaterials:

1. Aesculus abgeschnittene Zweige, weißblättrige Sprosse.
2. „ „ „ grüne „
3. „ eingetopfte Pflanzen, grün,
4. Phaseolus multiflorus, Topfpflanzen.

Als einfachstes Versuchsobjekt sind die Kastanienzweige anzusehen, bei denen infolge der völligen Chlorose kein Chlorophyll ausgebildet war, die Assimilation daher als erschwerender Umstand nicht in Betracht kam. Ich habe trotzdem einige Versuchsreihen unter Verdunkelung des Kolbens durchgeführt, bei anderen wurde das schwarze Tuch fortgelassen. Ich gebe von zwei dieser Versuche das Protokoll in extenso wieder, im übrigen werde ich mich auf Wiedergabe der Resultate beschränken:

Tabelle 2.

Versuch 9. Aesculus hippocastanum, 2 weißblättrige abgeschnittene Sprosse, à 4 Blätter. Verdunkelt. 1919.

Pflanze a).							Pflanze b).						
		Zeit von bis	Zeitdauer	HCl gebraucht	im Mittel	Differenz			Zeit von bis	Zeitdauer	HCl gebraucht	im Mittel	Differenz
16. VII.		8,10—10,20	2h 10'	16,76 16,78	16,77	+ 4,5	16. VII.	Rad.	8,08—10,18	2h 10'	16,72 16,72	16,72	− 0,5
17. VII.	Rad.	8,14—10,16	2h 2'	16,72 16,73	16,725	+ 14,5	17. VII.		8,10—10,11	2h 2'	16,81 16,82	16,815	+ 19
18. VII.		1,25—3,56	2h 28'	16,57 16,59	16,58	− 11	18. VII.	Rad.	1,23—3,54	2h 28'	16,62 16,63	16,625	− 15
19. VII.	Rad.	1,17—3,22	2h 5'	16,69 16,69	16,69		19. VII.		1,14—3,19	2h 5'	16,77 16,78	16,775	

Versuch 11. Aesculus hippocastanum, 2 weißblättrige Sprosse, à 4 Blätter. Verdunkelt. 1919.

22. VII.	Rad.	1,47—3,40	1h 53'	19,52 19,52	19,52	− 11	22. VII.	Rad.	1,34—3,27	1h 53'	19,54 19,56	19,55	− 7
23. VII.		5,03—6,47	1h 44'	19,63 19,63	19,63	+ 12	23. VII.		5,01—6,45	1h 44'	19,62 19,62	19,62	+ 3
24. VII.	Rad.	12,59—3,03	2h 4'	19,51 19,51	19,51		24. VII.		12,55—3,05	2h 10'	19,59 19,59	19,59	

Bei beiden Versuchen ist der absolut höhere Wert der Differenz der Atemintensität der beiden Pflanzen stets bei derjenigen Pflanze erreicht, die am zweiten Tag unter Radiumeinfluß gestanden hatte, am ersten Tag nicht. Bei Berechnung dieser Differenz habe ich der Anschaulichkeit halber das Komma um 2 Stellen nach rechts gerückt, was ja belanglos ist, da es sich nur um Relativwerte handelt.

Ferner ist an Stelle eines —-Zeichens das +-Zeichen gekommen und umgekehrt, so daß die Differenzen direkt die Zu- und Abnahme der CO_2-Produktion durch die Pflanze anzeigen. Ich habe dann noch 2 Versuchsreihen mit unverdunkelten weißblättrigen Sprossen durchgeführt, von denen die eine innerhalb 4 Versuchstagen eine Steigerung durch die Emanationswirkung zeigt, die Resultate der zweiten Versuchsreihe sind unentschieden, die Zweige zeigten aber schon sehr bald Anzeichen einer Schädigung.

Zusammenfassend kann man sagen, daß von 4 Versuchsreihen mit weißblättrigen Sprossen 3 an 11 Tagen eine entschiedene Steigerung durch Radiumwirkung erkennen lassen, bei einer Versuchsreihe von 3 Tagen ist kein bestimmtes Resultat zu ersehen.

Mit abgeschnittenen Zweigen der grünen Form von Aesculus hippocastanum habe ich 7 Versuchsreihen durchgeführt, 3 im Jahre 1919, 4 1920. Die 7 Versuchsreihen beanspruchten 27 Arbeitstage, so daß ich im ganzen 20 Differenzenpaare berechnen konnte.

Von diesen ergab

Versuch	3, 1919,	an 6	Tagen	stets eine deutliche Förderung der Atmung durch Radium,
„	7, „ ,	„ 5	„	desgl.,
„	21, 1920,	„ 4	„	desgl.,
„	22, „ ,	„ 4	„	desgl.,
„	27, 1920,	„ 3	„	stets eine deutliche Hemmung der Atmung durch Radium,
„	5, 1919,	„ 2	„	das erste Differenzenpaar war gleich; wegen Verletzung einer Pflanze mußte der Versuch dann abgebrochen werden,

Versuch 26, 1920, an 3 Tagen Versuch unentschieden, da bei beiden Differenzen dieselbe Pflanze den höheren Wert hatte.

Zusammenfassend ergibt sich, daß von den 20 berechneten Differenzen 15 entschieden für eine Steigerung der Atemintensität durch die Emanation sprechen, 2 dagegen, 2 sind unentschieden.

Die Versuche mit eingetopften Pflanzen von Aesculus sind in ihren Resultaten nicht mehr so eindeutig.

Es ließen bei

Versuch	15,	1920,	6 Tage,	3 Differenzenpaare auf eine Förderung durch Emanation schließen, 2 Berechnungen sind unentschieden wegen eines Versuchsfehlers,
„	16,	„ ,	5 „	3 Differenzenpaare Förderung, 1 schwache Hemmung,
„	18,	„ ,	6 „	2 Differenzenpaare Förderung, 3 hemmend,
„	23,	„ ,	3 „	2 Differenzenpaare hemmend,
„	19,	„ ,	7 „	6 Differenzenpaare fördernd,
„	24,	„ ,	4 „	3 Differenzenpaare fördernd,
„	25,	„ ,	5 „	1 Differenzenpaar fördernd, 2 fraglich wegen Undichtigkeit einer Saugflasche bei 1 Versuch.

Im ganzen ergaben also nur 2 Versuchsreihen eine unbedingte Förderung durch die Emanation. Diese berechnete sich aus 9 Differenzenpaaren; 1 Versuchsreihe von 3 Tagen zeigte dauernd eine Hemmung, 2 Versuchsreihen wiesen 5 mal eine Förderung, 4 mal eine Hemmung auf, und 1 Versuchsreihe ergab nur 1 einwandfreies Resultat, das auch für Förderung spricht. So stehen 18 Werte mit einer Atmungssteigerung 6 Werten mit einer Verminderung gegenüber, ein Resultat, das erheblich mehr zu ungunsten der Radiumwirkung ist, als es bei den abgeschnittenen Zweigen der Fall war.

Noch ungünstiger fielen die Resultate mit Topfpflanzen von Phaseolus multiflorus aus. Auch liegen hier bislang nur wenige Untersuchungen vor. Im ganzen habe ich die Werte von 4 Versuchsreihen, die insgesamt 16 Versuchstage umfassen,

Bei 3 Versuchsreihen sind die Resultate schwankend, es scheint jedoch eher eine hemmende Wirkung vorhanden zu sein. Eine Versuchsreihe von 5 Tagen ergab bei allen 4 Differenzen eine Atmungsverminderung durch die Emanation. Da gerade diese Untersuchungen vom theoretischen Standpunkte aus interessante Schlüsse gestatten, so werde ich diese Untersuchungen voraussichtlich noch weiter fortsetzen[1].

Aus dem bei den Versuchen mit Aesculus gewonnenen Zahlenmaterial möchte ich noch zum Schluß einige vergleichende Zahlen anführen über die Atmungsintensität abgeschnittener Zweige und der Topfpflanzen. Ich wähle zu diesem Vergleich nur solche Zahlen, die bei Versuchen an dem gleichen Tage gewonnen wurden. Die Versuchsobjekte waren natürlich nicht ganz gleich ausgebildet, im Gegenteil, die abgeschnittenen Zweige hatten sowohl größere als auch meist mehr Blätter. Durch Beachtung dieses Umstandes wird das Resultat noch sprechender. Es kommen für diesen Vergleich die Pflanzen von 3 Versuchsreihen mit eingetopften Aesculus und von 4 Reihen mit abgeschnittenen Zweigen in Betracht. Über die Blattentwicklung der Versuchsobjekte habe ich folgende Angaben:

Eingetopfte Pflanzen:

Versuch 23 Pflanze a 4 kleine hellgrüne Blätter,
„ b 2 größere dunkelgrüne und 2 ganz kleine.
Versuch 24 „ a u. b. Jede Pflanze 2 Blätter.
„ 25 „ a u. b. „ „ 4 mittelgroße Blätter.

Abgeschnittene Zweige:

Versuch 21 Zweig a u. b je 3 große entwickelte und 2 junge Blättchen,
Versuch 22 Zweig a u. b je 2 große entwickelte und 2 junge Blättchen,
Versuch 26 Zweig a u. b je 4 ziemlich gleich große Blätter,
„ 27 „ a u. b je 3 große und 2 kleine Blättchen.

[1]) Inzwischen habe ich noch 3 Versuchsreihen mit eingetopften Phaseoluspflanzen durchgeführt mit folgenden Resultaten:

Versuch 1.	3 Tage	2 mal	Radium	fördernd.			
„ 2.	4 „	2 „	„	„	1 mal	hemmend.	
„ 3.	4 „	1 „	„	„	3 „	„	

Es steht also eine 5 malige Förderung einer 3 maligen Hemmung gegenüber.

Auch in dieser Tabelle gebe ich nur die zur Titration gebrauchte Salzsäure an, also entspricht die kleinere Zahl einer größeren Atemintensität. Diejenigen Versuche, bei denen Carnotid als Vorlage verwendet war, sind durch Fettdruck kenntlich.

Tabelle 3.
Verbrauch an Salzsäure zur Titration von 10 ccm $Ba(OH)_2$):

Tag	Bei eingetopfter Pflanze.			Bei abgeschnittenem Zweig.		
	Versuch	a)	b)	Versuch	a)	b)
25. V.	23	**14,10**	13,96	21	14,04	13,89
				22	**14,035**	14,05
26. V.	23	14,03	**13,92**	21	14,01	**13,80**
				22	14,09	14,07
29. V.	23	**14,04**	13,925	22	14,195	14,13
31. V.	24	**21,05**	21,03	26	**21,19**	21,14
	25	**20,99**	21,11			
1. VI.	24	20,98	**20,89**	26	21,19	**21,12**
	25	21,02				
3. VI.	24	**21,08**	21,095	27	21,26	21,185
	25	**21,055**	21,105			
4. VI.	24	21,095	**21,085**	27	21,195	21,175
	25	21,085	21,04			

Versuch 23. Die Pflanze a hat einen besonders niedrigen Atemwert und bleibt mit demselben hinter denen der abgeschnittenen Zweige vom Versuch 21 am 25. und 26. zurück.

Bei Versuch 21 wiederum hat Pflanze b besonders stark geatmet, so daß sie die beiden Pflanzen von Versuch 23 am 25. und 26. übertrifft.

Im übrigen aber haben die bewurzelten Pflanzen durchweg eine höhere Atemintensität gehabt, obwohl die Blattfläche der abgeschnittenen Zweige stets eine größere war. Dies trifft zu, nicht nur in den späteren Versuchstagen, wenn die abgeschnittenen Zweige vielleicht schon nicht mehr ganz frisch waren, sondern auch schon dann, wenn die Zweige tags zuvor abgeschnitten waren und zum ersten Versuch verwendet wurden, während die bewurzelten Pflanzen schon zu mehreren Versuchen gedient hatten.

Hieraus sehen wir also, daß die Atmungsintensität eine Funktion der ganzen Pflanze ist, und nur auf Grund von Atembestimmungen bei intakten Pflanzen läßt sich ein Schluß ziehen auf den Energieumsatz im Organismus. Untersuchungen an abgeschnittenen Organen und Berechnungen auf die Blatt-

flächeneinheit haben daher nur für die besonderen Umstände Gültigkeit. Denn die Atmungsdifferenz, die bei abgeschnittenen Zweigen gegenüber der bewurzelten Pflanze besteht, ist weit größer, als sie sich bei Berechnung auf das Volumen beider Pflanzen stellen würde.

Zusammenfassend läßt sich aus den Versuchen entnehmen, daß die Atemintensität bei Aesculus dadurch gefördert wird, daß die Luft, ehe sie an die Versuchspflanze herantritt, durch ein Röhrchen streicht, das mit Carnotid angefüllt ist. Dadurch werden die Leitfähigkeit und der Ionengehalt der Atmosphäre stark gesteigert, erreichen aber noch nicht die Hälfte des Wertes, den sie im Keller des Botanischen Instituts sowohl bei völliger Dunkelheit als auch bei dauernder Belichtung mit 2 Osramlampen von 200 Kerzen haben.

Diese Atem fördernde Wirkung der Emanation trat am deutlichsten hervor bei abgeschnittenen chlorotischen Zweigen von Aesculus hippocastanum. Bei grünen Zweigen waren einzelne Ausnahmen, von den eingetopften Kastanien war in $^2/_3$ der Fälle eine Förderung, bei $^1/_3$ eine Atmungshemmung wahrzunehmen.

Bei Topfpflanzen von Phaseolus multiflorus traten hauptsächlich Hemmungserscheinungen hervor. Siehe Fußnote S. 566.

Die Atemintensität einer Aesculuspflanze ist größer als die eines abgeschnittenen Zweiges, obwohl die Summe der Blattfläche bei letzterem wesentlich größer war als bei ersterer. Der größere Atemwert übertrifft sicherlich die Menge, die durch das Volumen des Wurzelsystems gegeben wäre.

Theoretisches.

Durch die dargestellten Untersuchungen ist nachgewiesen, daß eine Beziehung besteht zwischen der Leitfähigkeit der Atmosphäre und der Atmungsintensität. Wir wollen nun an die Frage herantreten, welcher Art wir uns diese Beziehung zu denken haben. Bei unsern lückenhaften Kenntnissen der luftelektrischen Erscheinungen bleibt jedoch für die Vermutung noch ein weiter Spielraum. Immerhin ist durch die Arbeit Nathanson's[38]): »Über kapillarelektrische Vorgänge in der lebenden Zelle« ein Weg gezeigt, der berechtigt, zu befriedigenden Resultaten zu führen. —

Nathanson führt die Atmung der Pflanzen auf stenolytische Wasserzersetzung an den semipermeablen Membranen zurück, die auf dem Vorhandensein der Membranströme beruht. Durch die Stenolyse wird auf den beiden Membranseiten elektrolytischer Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt. Um den Vorgang dauernd aufrecht zu erhalten, ist jedoch ein beständiges Fortschaffen der Elektrolytprodukte erforderlich. Der auf der Kathodenseite sich abscheidende $H^{\cdot}$ muß oxydiert, der auf der anodischen Seite entstehende Sauerstoff gebunden werden. Die anodische Depolarisation ist auf das Eingreifen von Traubenzucker, Oxy- und Aminosäuren zurück zu führen, während der nascierende Wasserstoff durch den atmosphärischen Sauerstoff gebunden wird. Die Konzentration der entstehenden Elektrolyte wird stets nur sehr gering sein, und die Depolarisationsvorgänge werden daher auch nur träge verlaufen, wenn nicht andere Faktoren beschleunigend eingreifen. In erster Linie ist hier auf die Tätigkeit der Fermente hinzuweisen, auch das $F^{\cdot\cdot}$-Ion, das ja in der Pflanze stets vorhanden ist, trägt zur Beschleunigung des Vorgangs bei. Dennoch hat es sich gezeigt, daß diese Faktoren allein die Geschwindigkeit der physiologischen Verbrennung, die eine entsprechende im chemischen Versuch weit übertrifft, nicht herbeiführen können. Es gehört noch ein wesentlicher Faktor dazu, den Nathanson in der Struktur des Protoplasmas sieht. Eben diese ist die Ursache des stetigen Auftretens des Wasserstoffs in Ionenform. Im status nascendi wird er aber einer viel beschleunigteren Oxydation unterliegen, als in molekularer Form.

Wenn nun aber der physiologische Verbrennungsvorgang durch das Vorhandensein elektrolytischen Wasserstoffes so gefördert wird, so muß in entsprechender Weise dieser Vorgang auch dadurch erleichtert werden, daß in der Atmosphäre ionisierter Sauerstoff reichlich vorhanden ist, und derselbe leicht an den Ort des Verbrauches herangeführt wird. Dies geschieht bei starker Ionisation und guter Leitfähigkeit der Atmosphäre. Es ist klar, daß der Energiegewinn für den Organismus ein weit höherer sein wird, wenn sich der Atmungsvorgang als Ionenreaktion und nicht in molekularer Form abspielt. Daraus würde also zu folgern sein, daß nicht nur der Atmungs-

prozeß selbst, sondern auch die Intensität anderer Lebensvorgänge einem rhythmischen Wechsel unterworfen wäre, der einen Parallelismus aufweisen müßte zu den luftelektrischen Erscheinungen. Wir wollen nun im folgenden sehen, ob das Erfahrungsmaterial Belege für diese Annahme bietet.

Hinsichtlich der Atmung glaubten Meyer und Deleano[35]) einen tagesrhythmischen Intensitätswechsel erkannt zu haben, kamen aber durch spätere Versuche[36]) an etiolierten Blättern von Beta vulgaris zu abweichenden Resultaten. Dieses Schlußergebnis besagt jedoch noch keineswegs, daß nicht doch unter normalen Verhältnissen ein periodisches Schwanken der Atmungsintensität vorhanden ist. Wir brauchen nur kritisch die Methodik der Atmungsbestimmungen zu betrachten. In weitaus den meisten Fällen wird die Atmungsintensität bestimmt durch den Nachweis der Menge der ausgeschiedenen CO_2. Der durch die atmosphärische Kohlensäure entstehende Fehler wird ausgeschaltet, indem die der Pflanze zugeführte Luft zuerst durch Waschflaschen, die eine absorbierende Lösung enthalten, geschickt wird. Die Luft passiert also zuerst eine Flüssigkeit, Glasröhren, Glasgefäße, sowie meist Gummiverbindungen. Ist dann aber noch anzunehmen, daß der eine Periodizität auslösende Faktor, die schwankende Menge der Ionen, und die wechselnde Intensität der Leitfähigkeit überhaupt auf die Pflanze wirken kann? Da Glas ein Isolator ist, so werden die Glasteile einer Kondensatorplatte ähnlich wirken, und elektrische Ladungen entgegengesetzten Vorzeichens sich an den Innen- und Außenflächen ansammeln. Schon ein einfacher Versuch lehrt, daß Atmosphäre, die zuerst ein Glasrohr durchstreicht, einen großen Teil Ionen einbüßt. So geht in einem Ionenaspirator die Geschwindigkeit des Elektroskopabfalles sehr zurück, wenn man die Luft zuerst durch ein Glasrohr von 2—3 cm Weite und 5—10 cm Länge gehen läßt. Auch meine oben angegebenen Versuche mit einem Elektroskop mit freiem Zerstreuungskörper, verglichen mit den unter einer Glasglocke ausgeführten, zeigen, daß auch bei rasch durchgesaugter Luft die Leitfähigkeit der Atmosphäre sich unter der Glocke auf ein Minimum verringert. Wir müssen demnach annehmen, daß alle Atmungsversuche, die in Glasgefäßen angestellt werden, sehr unnatür-

liche und unkontrollierbare Verhältnisse für die Versuchspflanze schaffen, und daß die Versuchsbedingungen um so anormaler werden, je weitläufiger die Verbindung des Versuchsgefäßes mit der freien Atmosphäre ist.

Andererseits sind tagesperiodische Schwankungen der Atmungsintensität durch Spoehr[44]) festgestellt worden, die der Verf., da alle übrigen Außenfaktoren konstant waren, auf Schwankungen der Ionisation der Atmosphäre zurückführt. Leider ist die Arbeit sehr knapp gehalten, der Verf. sieht den Mangel gleichzeitiger physikalischer Messungen selbst ein, er hofft die Lücke mit der Zeit auszufüllen. Bislang ist mir nicht bekannt geworden, daß eine derartige Erweiterung seiner Beobachtungen stattgefunden hätte. In der ersten Arbeit beruft sich der Verf. auf Bestimmungen der Ionisation der Atmosphäre durch Elster und Geitel, Gockel und v. Schweidler. Er gibt aber leider nicht an, ob er unter Ionisation die Leitfähigkeit der Atmosphäre versteht, oder die Menge der in der Volumeneinheit enthaltenen Ionen. Wie ich oben ausführte, ist dies etwas durchaus Verschiedenes. Nach seinen Untersuchungen ist die Atmungsintensität während der Tagesstunden am größten, aber nach seiner Meinung auch die Ionisation der Atmosphäre. Ich kann aus verschiedenen Gründen den Resultaten Spoehrs keine Beweiskraft zusprechen. Auf einige Mängel der sonst so interessanten Arbeit macht schon Harder in seinem Referat in der Zeitschr. f. Bot. 1919 aufmerksam.

Auch einer Arbeit von Knight und Priestley[25]) muß ich hier Erwähnung tun, obwohl gegen die Methodik der Arbeit aus verschiedenen Gründen Einwände zu machen sind, und sie ebenfalls an dem Mangel physikalischer Bestimmungen leidet. Die Verff. untersuchten die Atmungsintensität von Samen unter verschiedenen elektrischen Bedingungen und fanden, daß schwache Ströme, durch angequollenes Saatgut geleitet, die Atmungsintensität nicht beeinflussen. Befand sich dagegen eine geerdete Elektrode am Boden des zur Hälfte mit Saatgut beschickten Versuchszylinders, die + geladene in dem Luftraum darüber, so konnte beim Anlegen stärkerer Ströme eine Erhöhung der Atmungsintensität festgestellt werden, die jedoch von den Verff. auf die Steigerung der Temperatur durch den

elektrischen Strom zurückgeführt wird. Es läßt sich jedoch die Frage stellen, ob diese Temperatursteigerung die Folge der Erhöhung der Atmungsintensität ist, oder wirklich ihre Ursache. Auch konnte ich keine Angaben über die angelegten Spannungen finden, die für die Art, wie ich die Versuchsergebnisse deuten möchte, gerade von Wichtigkeit wären, sondern nur ungefähre Daten der erzielten Stromstärken. Eine eingehendere Diskussion der Arbeit ist also aus verschiedenen Gründen zwecklos.

Leider bietet eine genaue Bestimmung der Atemgröße einen längeren Zeitraum hindurch überhaupt ziemlich große Schwierigkeiten. Bei chlorophyllhaltigen Pflanzen greift die Assimilation störend ein, etiolierte Pflanzen sind pathologisch verändert. Bei kurzfristigen Versuchen ist die Atmungsintensität zu gering, um mit Sicherheit eine Differenz zu ergeben, die für die Bestimmung einer Periodizität nötig wäre. Werden die Stundenwerte aus langfristigen Versuchen durch Interpolation gefunden, so werden etwaige kleine Schwankungen höchstwahrscheinlich gar nicht hervortreten. Bei den Untersuchungen über die Atmung chlorophyllfreier Pflanzen verursachen die geringen Intensitäten ebenfalls Schwierigkeiten.

Nun könnte man glauben, daß das Problem leichter durch das Studium der Atmung der Tiere zu lösen wäre, denn es ist kein Grund anzunehmen, daß die tierische Atmung ein prinzipiell anderer Vorgang als die pflanzliche Atmung ist. Aber auch durch tierphysiologische Versuche ist das Problem durchaus nicht restlos gelöst, denn es treten beim Tierversuch andere Momente auf, die einen etwa vorhandenen tagesperiodischen Rhythmus der Atmungsintensität zu leicht überdecken. Hierfür kommen in Betracht die Folgen der Nahrungsaufnahme, Erregungen des Nervensystems und die nie völlig auszuschaltenden Muskelbewegungen. So sind denn auch meist die tagesperiodischen Schwankungen, die vielfach nachgewiesen worden sind, auf den Einfluß dieser Faktoren zurückgeführt worden [[39]), S. 172 und S. 516]. Am weitesten geht hierin wohl Johansson[[23]), obwohl er bei seinen Beobachtungen, die sich immer fortlaufend über 8 Stunden erstrecken, auch bei den größten Vorsichtsmaßregeln in der Periode von 12 Uhr nachts

bis 8 Uhr morgens eine CO_2-Ausscheidung feststellte, die 3,7 % unter dem Durchschnitt blieb, während die Periode von 8 Uhr morgens bis 4 Uhr nachmittags 3,5 % über den Durchschnitt kam, und die dritte Periode von 4 Uhr nachmittags bis Mitternacht den Durchschnitt ziemlich genau innehielt. — Auch bei seinen 2stündigen Beobachtungen bei Innehaltung völliger Muskelruhe war der niedrigste Respirationswert zwischen 2 und 4 Uhr morgens, also zu der Zeit, wo auch bei der Kurve der atmosphärischen Elektrizität der Wendepunkt zu liegen pflegt. Obwohl die Johanssonschen Versuche in den tierphysiologischen Hand- und Lehrbüchern meist als Beweis dafür angeführt werden, daß keine Periodizität der Respiration besteht, so scheint mir doch, daß sein Versuch, die nicht wegzuleugnende Periodizität zurückzuführen auf minimale Muskelbewegungen, auf Mangel an Selbstbeherrschung zur völligen Entspannung der Muskeln und auf mangelhafte Ausschaltung von Sinneseindrücken, nicht als geglückt zu bezeichnen ist. Es bleibt ein bislang unerklärter Rest von Periodizität auch bei seinen Untersuchungen. Noch deutlicher tritt dieselbe in Erscheinung bei den Beobachtungen von Sondén und Tigerstedt[43]), wo der $\frac{\text{Nacht-}}{\text{Tag-}}$Quotient = $\frac{100}{145}$ betrug. Auch hier war die geringste CO_2-Abgabe sowohl bei den Hungerversuchen als auch bei der gewöhnlichen Ernährungsweise stets in den frühen Morgenstunden. Dies ist sehr auffallend, da dies die Zeit des Kurvenwendepunktes für die Leitfähigkeit der Atmosphäre, den Pflanzenschlaf und weitere physiologische Prozesse ist. Da aber die Leitfähigkeit in jenen Stunden ihr Maximum erreicht, eine Erhöhung der Leitfähigkeit bei abgeschnittenen Zweigen fast immer, bei eingetopften Aesculus meist, eine Steigerung der Atemintensität verursacht, so wäre auch für den Menschen eine verstärkte Atmungsintensität nachts zu erwarten. Es scheint aber gerade das Umgekehrte der Fall zu sein. Da aber bei Phaseolus auch eher eine Atmungshemmung durch den gesteigerten Emanationsgehalt bewirkt zu werden scheint, so muß ich offen lassen, ob vielleicht diese Umkehr der Reaktion durch das Eingreifen anderer Faktoren, z. B. der Schlaftätigkeit, bewirkt wird, oder ob der Grund

der Leitfähigkeitssteigerung bei meinen Versuchen und der natürliche in der Nacht vorhandene verschieden ist. Untersuchungen an intakten Pflanzen und abgeschnittenen Zweigen zeigen ja, daß der Atmungsprozeß eine Funktion des ganzen Organismus ist, also wird er auch in Abhängigkeit von anderen Funktionen stehen.

Auf die Beziehungen der Atmung der Menschen zur Luftelektrizität ist auch schon hingewiesen worden, freilich, wie mir scheint, ohne näher auf den kausalen Zusammenhang dieser beiden Erscheinungen eingegangen zu sein. Nach den Angaben Oppenheimers[39]) S. 219 fanden Zuntz und Durig bei ihren Untersuchungen auf dem Monte Rosa bei ungewöhnlicher Ionisation der Luft ein Ansteigen der Atemvolumina bei beiden Versuchspersonen, eine deutliche Steigerung des Sauerstoffverbrauchs bei Durig. Diese Angabe stimmt also mit den Resultaten meiner Versuche darin überein, daß eine stärkere Ionisation eine Steigerung der Atmungsintensität bewirkt.

Entsprechende Angaben finden sich ferner in Arbeiten, die sich mit der Wirkung des Radiums und anderer Ionisatoren auf den menschlichen Organismus befassen. Leider fehlen dort, so weit ich eine Einsicht in diese Untersuchungen bekommen habe, verläßliche Angaben über die Intensität der erzielten Leitfähigkeitssteigerung. Man muß sich meist mit allgemeinen relativen Angaben wie »große« und »kleine« Dosen begnügen. So fanden Benczúr und Fuchs[2]) eine geringe Steigerung des Atemvolumens beim Inhalieren großer Emanationsdosen, ferner eine Steigerung des Sauerstoffverbrauchs und der CO_2-Abgabe, die auch im Verhältnis zur Zunahme des Atemvolumens auffällig groß war. Der respiratorische Quotient war jedoch nicht geändert. Loewy und Plesch[34]) hingegen fanden, daß die Emanation sowohl auf den respiratorischen Stoffwechsel, als auch auf den Sauerstoffgehalt des arteriellen und venösen Blutes keinerlei Einfluß hat. Dagegen gilt nach Falta und Schwarz[8]) die Steigerung des Gaswechsels und speziell des respiratorischen Quotienten durch die Inhalation von Emanation als erwiesen.

Aus diesen wenigen Stichproben ist also zu ersehen, daß

dem Einfluß der elektrischen Beschaffenheit der Atmosphäre auf die Atmung schon vielfach Beachtung geschenkt worden ist, doch haben wohl Mängel in der Methodik, vielleicht auch fest eingewurzelte Ansichten bisher keine einheitliche Anschauung über den inneren Zusammenhang der beiden Vorgänge aufkommen lassen. Ein weiteres Eingehen auf diese Frage von seiten der Mediziner, der Tier- und Pflanzenphysiologen bei gleichzeitiger Beobachtung der physikalischen Bedingungen wäre sehr erwünscht. Aus vergleichenden Tag- und Nachtuntersuchungen müßte es sich feststellen lassen, ob nachts vielleicht noch ein anderer Außenfaktor hinzukommt, der die Wirkung der gesteigerten Leitfähigkeit gerade umkehrt.

Die Untersuchungen Wintersteins[34], nach denen der H-Gehalt des Blutes maßgebend ist für die Atmungsintensität, sprechen dafür, daß bei der tierischen Atmung physikalisch-chemische Prozesse den Vorgang regulieren, ähnlich denen, wie Nathanson[35] sie für die Pflanzenatmung annimmt.

Eine künstliche Vermehrung der Sauerstoffspannung in den einzuatmenden Gasen dürfte für eine Klärung der Frage eine ungeeignete Methodik sein, worauf ich hier schon hinweisen möchte. Kučera[28]) fand nämlich, daß frisch bereitete Gase sehr viel geringer ionisiert zu sein pflegen als die Atmosphäre. Haben wir es aber bei der Atmung in erster Linie mit einer Ionenreaktion zu tun, so kann frisch bereiteter Sauerstoff unter Umständen ziemlich indifferent sein. Es sind daher physikalische Untersuchungen der einzuatmenden Luft von Fall zu Fall erforderlich.

Aus den angeführten Versuchsergebnissen und Beobachtungen muß man jedenfalls den Schluß ziehen, daß die atmosphärische Elektrizität für den Atemvorgang und damit für die gesamte Energiezufuhr nicht ohne Bedeutung ist, und die Frage ist daher nicht müßig, ob sich auch Beziehungen zu anderen Lebenserscheinungen ergeben.

Sollte solch ein Zusammenhang bestehen, so ist anzunehmen, daß derselbe sich am leichtesten an Organismen beobachten ließe, deren Regulationsfähigkeit etwas gestört ist, bei denen daher durch äußere Einflüsse, wie erheblichere luftelektrische Schwankungen, pathologische Zustände hervorgerufen werden.

Beobachtungen dieser Art liegen vor. Es ist ja eine bekannte Erscheinung, daß viele Menschen — besonders nervös beanlagte — auf meteorologische Vorgänge wie Gewitter, Föhn usw. erheblich, wenn auch verschiedenartig, reagieren. Der ursächliche Zusammenhang dieser Reaktionen mit den Außeneinflüssen ist unbekannt, denn wenn man auch eine direkte Wirkung auf das Nervensystem annimmt, so muß man — wenn man Mystisches ausschalten will — einen Energiefaktor gelten lassen. Der nächstliegende ist aber die Art und Menge der atmosphärischen Ionen. Hellpach[20]) geht in seinem Buch über die geopsychischen Erscheinungen ausführlich auf die Tatsache ein, erwähnt jedoch die Ionisation und Leitfähigkeit der Atmosphäre in seiner Diskussion nicht. Den Gewittereinfluß bringt er in Beziehung zu dem gesteigerten Ozongehalt der Atmosphäre. Damit kommt er aber den luftelektrischen Erscheinungen sehr nahe. Lind[31]) fand nämlich bei seinen Untersuchungen über die Ozonisierung der Luft durch α-Strahlen, daß die Zahl der entstehenden Ozonmoleküle von der gleichen Größenordnung ist, wie die der gebildeten Sauerstoffionen. Diese Beobachtung führte ihn zu seiner Theorie des Ozonisierungsprozesses.

Bei Epileptikern ist vielfach beobachtet worden, daß die Anfälle periodisch in gesteigertem Maße auftreten. Dieses zeitweise Anwachsen der Anfälle wird in Kausalzusammenhang gebracht mit den Erscheinungen der Luftelektrizität. In der medizinischen Literatur ließe sich weiter noch eine ganze Menge Material für die angeschnittene Frage zusammenbringen, so gehört u. a. das große Gebiet der Röntgen- und Radiumtherapie hierher, durch die schon eine Fülle von Versuchsmaterial geliefert worden ist. Über die eigentliche Wirkungsweise der stark ionisierenden Strahlen wissen wir aber noch fast gar nichts, und die Möglichkeit bleibt daher bestehen, daß die Wirkung auf den stark gesteigerten Ionenreaktionen beruht. Durch die Hautatmung wäre ja ein Angriffspunkt von seiten des Organismus gegeben. Doch ich will auf diese Gebiete nicht eingehen, da die sich daran anknüpfenden Gedanken sich zu weit in das Land der Hypothese verlieren.

Wenden wir uns nun dem gesunden Organismus zu, so finden wir bei demselben eine Reihe periodischer Erscheinungen,

für deren Erklärung in Ermangelung bewiesener Tatsachen die luftelektrischen Erscheinungen in Frage kommen. Zunächst muß ich auf die Schwankungen der Körpertemperatur besonders beim Menschen hinweisen. Die niedrigste Temperatur hat der normale Körper in den frühen Morgenstunden. Dann steigt sie schnell an, erreicht am Nachmittag ihren höchsten Wert, um mit der fortschreitenden Nacht bis zum Minimum abzusinken, das dann meist zwischen 2 und 4 Uhr wie bei allen erwähnten periodischen Erscheinungen erreicht wird. Benedict und Snell[3]) fanden nun (S. 72): »Nach 10 aufeinanderfolgenden Tagen, in welchen die Arbeit zur Nachtzeit ausgeführt und des Schlafs und der Ruhe am Tage gepflegt wurde, konnte keine wahrnehmbare Umkehrung der Temperatur beobachtet werden«. Die Autoren stellten zwar fest, daß Muskeltätigkeit einen starken Einfluß auf die Körpertemperatur hat, derselbe zeigte sich aber am Tage anders als in der Nacht, so daß sie (S. 70) zu dem Schluß kommen: »wir vermögen jedoch für das Steigen der Temperatur am Morgen, sowie für das Eintreten des absoluten Minimums in der Nacht keinen Grund anzugeben«. Gibson[15]) untersuchte die Temperaturschwankungen seines Körpers auf einer Reise von New Haven nach Manila und zurück und fand im Gegensatz zu den Beobachtungen von Benedict und Snell, daß der Reisende sich auf der Hin- und Rückreise sofort den veränderten Zeitverhältnissen anpaßte. Und schließlich beobachteten Toulouse und Piéron[50]) den Temperaturrhythmus bei berufsmäßigen Krankenpflegerinnen während kürzerer und längerer Perioden von Nachtwachen. Sie fassen ihre Resultate (S. 428) dahin zusammen: »En tout cas, il semble bien que, lorsqu'on impose subitement un renversement des conditions de vie, le cycle nycthéméral ne présente pas une inversion immédiate«. Dies Resultat, das mit demjenigen von Benedict und Snell übereinstimmt, ist auffallend im Vergleich zu demjenigen von Gibson und läßt darauf schließen, daß neben einem Gewöhnungsfaktor ein Außenfaktor regulierend eingreift, der sich mit dem Stand der Sonne zur Erde verschiebt. Johansson[23]) will die nächtliche Temperatursenkung auf eine Verminderung des Stoffwechsels zurückführen. Das ist ja auch sehr wahrscheinlich, eine Er-

klärung für das Auftreten der Periodizität ist damit aber nicht gegeben.

Den gleichen Rhythmus wie Temperatur und Atmungsintensität halten außerdem noch die Pulsfrequenz, der Blutdruck, die Intensität der Herztätigkeit und die Sauerstoffaufnahme ein. Das Minimum liegt stets in der Zeit zwischen 2 und 4 Uhr morgens. Es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, daß alle diese Funktionen von dem gleichen Außenfaktor abhängen, und als solcher kommt meiner Meinung nach hauptsächlich die Leitfähigkeit der Atmosphäre in Betracht, bei der die Wendepunkte der Kurve ziemlich genau zu den gleichen Zeiten liegen wie bei den physiologischen Vorgängen.

Und das Gleiche gilt auch für verschiedene Lebenserscheinungen des pflanzlichen Organismus, wobei in Frage kommen: die Wasseraufnahme, Transpiration, der Blutungs- und der osmotische Druck, die Kernteilungen, das Wachstum und die Schlaferscheinungen bei den Pflanzen, sowie letztere auch bei Tieren.

Über die Periodizität des Blutungsdruckes sind wir durch eine neuere Arbeit Romells[40]) unterrichtet. Er fand bei Pflanzen von Brassica oleracea, die im Dauerlicht erzogen worden waren, eine Periodizität des Blutungsdruckes, die derjenigen in normalen Verhältnissen erzogener Pflanzen kaum nachstand. Das Maximum der Blutung fiel in die Zeit zwischen 3 Uhr morgens und 3 Uhr nachmittags, jedoch fanden sich bei gleichzeitig registrierten Kurven keine so großen zeitlichen Differenzen. Niemals trat das Maximum ein zwischen 6 Uhr abends und 12 Uhr nachts. Die erheblichen zeitlichen Schwankungen der Maxima sind meiner Meinung nach kein Beweis gegen einen Kausalzuzammenhang mit den luftelektrischen Erscheinungen. Da es sich bei dem Blutungsdruck sicherlich um einen Vorgang handelt, der erst sekundär von einem Außenfaktor reguliert wird und bei dem wohl die meisten Funktionen des Körpers mit eingreifen, also nach Klebs viele innere Bedingungen mitsprechen, so sehe ich in den zeitlichen Verschiebungen keinen Grund gegen meine Hypothese.

Nach Eberdt (zitiert nach Bot. Centralbl. **39**, 1899, S. 257 bis 261) soll auch die Wasseraufnahme der Wurzeln bei kon-

stanten Außenbedingungen im Dunkeln einem tagesperiodischen Rhythmus unterliegen; höchstwahrscheinlich gilt auch dasselbe von der Transpiration. Leider ist aus dem Referat nicht die zeitliche Orientierung der Periodizität zu ersehen.

Gaßner[14]) stellte einen Einfluß der Elektrizität auf die Transpiration unabhängig von einer Tagesperiodizität fest. Er fand bei seinen Elektrokulturversuchen eine erheblich gesteigerte Transpiration bei denjenigen Gerstenkeimlingen, die einem Einfluß der Elektrizität ausgesetzt waren. Die Versuchsanordnung war derart, daß der eine Pol der Influenzmaschine mit der Erde des Topfes verbunden war, der andere, meist der +, zu Metallnadeln führte, die über den Versuchspflanzen angebracht waren. Die Entfernung zwischen den Metallnadeln und Pflanzen wechselte in den verschiedenen Versuchen. Durch diese Versuchsanstellung bewirkte Gaßner also nicht nur, daß ein elektrischer Strom von den Nadeln durch die Luft und die Pflanzen zur Erde strömte, sondern diese Strömung verursachte auch die Erscheinung des elektrischen Windes, und endlich muß durch das starke elektrische Feld um die Nadelspitzen eine vermehrte Ionisation der Luft erzielt worden sein. Die Vergrößerung der Transpiration allein auf Rechnung des elektrischen Windes zu setzen, wie Stern[46]) es tut infolge seiner negativen Befunde, dafür scheint mir kein zwingender Grund vorzuliegen. Auch ältere Beobachtungen über den Einfluß der Elektrizität auf die Transpiration liegen schon vor, über die Stern zusammenfassend berichtet. Wenn seine eigenen Versuche negativ ausfielen, so mag u. a. die Wahl des Versuchsmaterials schuld daran sein. Schon Gaßner gibt an, daß nicht alle Pflanzen gleich günstig für diese Untersuchungen sind. Stern arbeitete aber gerade mit der ohnehin so empfindlichen Bohne.

Ein Einfluß der atmosphärischen Elektrizität auf pflanzliche Lebensprozesse ist jedenfalls nicht mehr wegzuleugnen, und zu diesen gehört auch das Steigen des Saftes. Stern weist auf den Einfluß elektrischer Ströme auf das Saftsteigen bei seinen Betrachtungen über die elektroosmotischen Erscheinungen schon hin. Er findet zwar, daß das von Lemström beobachtete Steigen des Wassers in Kapillaren unter dem Einfluß von Elektrizität für die Erscheinungen bei Pflanzen wegen der

Größenordnung nicht in Betracht kommt. Seiner Auffassung kann ich mich jedoch auf Grund seiner Versuche nicht ganz anschließen. Er arbeitete mit relativ sehr starken Strömen und geht dann von der Voraussetzung aus, daß dadurch ein wenigstens einigermaßen entsprechend verstärkter Effekt erzielt werden müßte. Darauf kann er jedoch nicht rechnen, denn es greifen im lebenden Organismus sofort so viele andere Funktionen bei Gleichgewichtsstörungen ein, daß die eindeutige Reaktion nur immer innerhalb sehr enger Grenzen in Erscheinung treten wird. So interessant die Sternschen Untersuchungen sind, so ist durch sie das Problem der Elektrokultur theoretisch meiner Ansicht nach nicht gelöst.

Durch den elektrischen Strom werden natürlich Anhäufungen von Elektrolytprodukten an bestimmten Stellen stattfinden. Nur wenn für ein genügendes Fortschaffen dieser Produkte gesorgt werden kann, wird die Wirkung des Stromes stets die gleiche bleiben. Einer dauernden einseitigen Anhäufung stellt sich die elektrostatische Anziehung hindernd in den Weg, so daß über ein gewisses Gleichgewichtsmaß hinaus stärkere elektrische Einflüsse sicherlich eher schädigend als fördernd wirken werden. Da sich der elektrische Strom nicht nur, wie Gaßner meint, an der Oberfläche der Pflanze fortpflanzt, sondern vielleicht hauptsächlich durch ihre Gewebe geht, so muß sich in allen Zellen mehr oder weniger die Wirkung desselben zeigen. Wir können daher auch einen Einfluß desselben auf die osmotischen Erscheinungen annehmen. Diese Annahme fußt schon auf sehr zahlreichen rein physikalisch-chemischen Untersuchungen an semipermeablen Membranen.

Flusin[10]) machte schon 1908 darauf aufmerksam, daß der osmotische Wert einer Lösung abhängig ist von der vermutlich chemischen Verwandtschaft der Membransubstanz zu der osmierenden Flüssigkeit. Girard[17]) nimmt an, daß die Osmose auf den elektrostatischen Eigenschaften der Lösungen beruht, die die Membran gar nicht, schwach oder stark polarisieren können. Das Potentialgefälle kann dadurch gleichsinnig oder entgegen dem Gefälle der Konzentrationsketten gerichtet sein, so daß die Osmose unter Umständen stark verringert werden kann. Nach Bernstein[4]) regelt jede Zelle ihren Wassergehalt

nicht nur vermöge des osmotischen Druckes in ihrem Innern, sondern auch wesentlich durch die Wirkung des Potentialgefälles ihrer Plasmamembranen. Jacques Loeb[32]) beobachtete, daß, wenn man ein Organ beiderseits in Lösungen eintaucht, eine Potentialdifferenz entsteht, die sich mit der Konzentration der Lösung an der unversehrten Seite des Organs ändert. Je verdünnter diese Lösung ist, desto positiver wird die Seite. Die Membranen sind durchlässig für Kationen. Freundlich[13]) zeigte aber, daß bei einer solchen Halbdurchlässigkeit der Membran für eine Ionenart ein Potentialsprung auf beiden Seiten der Membran entsteht. Dadurch kommen die Lokalströme durch die Membranporen einerseits, durch die Membransubstanz andererseits zustande, die dann Flüssigkeit elektrosmotisch durch die Membranporen treiben. Auch Bethe und Toropoff[5]) fanden, daß eine Wasserbewegung von der Anodenseite der Membran zur Kathodenseite stattfindet, wobei dann gleichzeitig eine Neutralitätsstörung auf den beiden Membranseiten zu beobachten ist. Die Ursache dieser Erscheinungen schieben die Verfasser auf die elektrischen Ladungserscheinungen an der Wand kapillarer Räume. Hamburger[19]) lehnt die Auffassung Girards betreffend die Wirkung der Aufladung der Wand mit Bezug auf die Diffusion ab, hinsichtlich der Osmose kommt sie aber zu dem Resultat (S. 406), daß »So sehr also noch weitere Versuche zur Aufklärung der bisher beobachteten Erscheinungen erforderlich sind, so bleibt doch schon das . . . . . gesicherte Ergebnis bestehen, daß Größe und vor allem auch Richtung der Osmose durch kapillarelektrische Ladung der Membran zu beeinflussen sind«.

Die eingehenden Untersuchungen Fittings[9]) aus den letzten Jahren erlauben uns nun nachzuforschen, ob diese rein physikalischen Erscheinungen auch auf biologischem Gebiet ins Gewicht fallen. Da die osmotischen Koeffizienten, die Fitting nach der plasmolytischen Methode an Pflanzen ermittelt hatte, sehr schlecht mit den Resultaten übereinstimmen, die auf rein physikalisch-chemischem Wege bestimmt worden sind, so gelangte er zu der Überzeugung, daß diese Anomalie der Koeffizienten durch physiologische Ursachen und nicht durch physikalisch-chemische bedingt sei. So sagt der Verf. S. 65: »Durch

alle diese Befunde wird die . . . . . Einsicht vertieft, daß die osmotischen Koeffizienten bei den Pflanzen nicht physikalisch-chemisch, sondern physiologisch bedingt sind, daß sie also überhaupt nicht den van't Hoffschen Faktoren i der physikalischen Chemie entsprechen«. Dem zweiten Teil dieses Satzes ist wohl unbedingt beizustimmen, um den ersten Teil beurteilen zu können, muß man erst wissen, was Fitting unter physiologisch versteht. Eine Übereinstimmung mit den van't Hoffschen Faktoren ist dadurch schon kaum anzunehmen, weil bei der rein physikalisch-chemischen Bestimmung derselben nur die Lösungen selbst in Betracht kommen, bei Ermittlung von Grenzkonzentrationen auf plasmolytischem Wege aber auch die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Membran eine Rolle spielen, die, wie oben gezeigt, sehr vieldeutig sind und nicht zu niedrig eingeschätzt werden dürfen.

Um Fittings Auffassung eines physiologischen Vorganges zu rechtfertigen, müßten erst — wenn er damit einen spezifisch vitalen bezeichnen will — Untersuchungen an lebenden und toten Membranen angestellt werden. Soweit solche schon vorliegen, sind Abweichungen in den Werten der osmotischen Koeffizienten gegenüber denen, die durch Gefrierpunkts- und Siedepunktsbestimmungen festgestellt wurden, anzunehmen.

Fitting hat bei seinen Untersuchungen meist mit Nichtelektrolyten gearbeitet. Dennoch werden Membranladungen vorhanden gewesen sein, da ja im Inneren der Zelle sich Elektrolyte befinden, die die Membranen polarisieren können. Ein Zusatz der von Fitting verwendeten Nichtelektrolyte, wie Rohrzucker, Glyzerin, Harnstoff, haben nach Loeb keinen Einfluß auf die Potentialdifferenzen. Dennoch werden sie verschiedenartig wirken, infolge der ungleichen Quellbarkeit der Membranen in diesen Substanzen.

Fittings Resultate beruhen auf seinen Erfahrungen an Schnitten. Auch hierdurch können Fehler verursacht worden sein. Durch die Berührung mit dem Messer müssen sich die Membranladungen verändern, und der Verf. findet dann auch ein abweichendes Verhalten bei dicken und bei dünnen Schnitten. Auch die Beobachtung, daß das Verhalten der Randzellen im Präparat etwas abweicht von dem der Zellen im Inneren, daß

die Permeabilität der Membranen im Winter geringer ist als im Sommer, beweist, wie sehr empfindlich die Membran gegenüber jeder kleinen äußeren Veränderung ist, und die beobachteten Anomalien der osmotischen Koeffizienten brauchen daher nicht zu sehr zu überraschen.

Die abweichende Permeabilität der Zellen im Sommer und im Winter steht vielleicht in engem Zusammenhang mit anderen jahresperiodischen Erscheinungen. Ich neige sogar der Ansicht zu, daß sie nicht nur von den Beleuchtungsverhältnissen, wie Tröndle[52]) nachwies, sondern auch von den luftelektrischen Erscheinungen abhängig ist. Wir stehen also bei den osmotischen Erscheinungen der Pflanzen noch vor manchem ungelösten, aber wohl nicht ganz unlösbaren Rätsel.

An die Besprechung dieser Erscheinung ließen sich noch weitere Fragen aus dem Gebiet der Ernährungsphysiologie in ihrer Beziehung zur Elektrizität anschließen, doch auch hier will ich nicht weiter gehen, um der Hypothese keine zu große Macht in diesen Erörterungen zu geben. Wohl aber muß ich noch auf Wachstumserscheinungen hinweisen.

Karsten[24]) wies eine Periodizität der Kernteilungen, wenigstens für oberirdische Organe, nach. Im Dunkeln stieg die Anzahl der Kernteilungen von 2 Uhr nachts stark an, erreichte um 4 Uhr morgens ihr Maximum und sank dann schnell, um tagsüber nur in geringen Grenzen zu schwanken. Bei der Wurzel fand Karsten diese Zellteilungsperiodizität nicht. Diese Untersuchungen sind nun neuerdings von Stäffelt[45]) wiederholt worden. Auch er konnte keine für alle Versuchspflanzen gleichlaufende Periodizität der Kernteilungen in der Wurzel feststellen, nimmt jedoch einen festen Rhythmus bei jeder Pflanze an, dessen Periodenlänge und dessen Wendepunkte aus begreiflichen Gründen sich nicht direkt ermitteln lassen.

Stäffelt fand ferner, daß die Zahl der Kernteilungen durch ganz schwache elektrische Ströme stark gesteigert wird. Hiernach liegt also die Annahme einer Beeinflussung des Wachstums durch die Luftelektrizität sehr nahe. Ob auch die Periodizität des weiteren Wachstums in dieser Richtung eine Deutung erfahren kann, muß vorläufig ganz offen bleiben.

Es liegen noch eine Reihe von Beobachtungen vor über

den Einfluß des Radiums auf das Wachstum und einige andere Lebensprozesse, so von Koernicke[26], [27]) und anderen. In diesen Versuchen wurden aber meist eingeschlossene, ziemlich starke Radiumpräparate verwendet, wodurch die α-Strahlen und die Emanation als wirksames Agens ausgeschaltet wurden. Dadurch liegen die Verhältnisse bei diesen Versuchen anders. — Man kann jedoch sagen, daß sich bei schwächerer Reizung der Objekte eine Zunahme der Lebenstätigkeit, speziell auch des Wachstums beobachten ließ, bei stärkerem Reiz eine Schädigung. Diese Beobachtung würde der von mir vertretenen Auffassung durchaus entsprechen.

Zum Schluß muß ich nun noch auf einige reizphysiologische Probleme hinweisen. Diese Vorgänge werden meist als Erscheinungen besonderer Art behandelt und prinzipiell von den ernährungsphysiologischen Prozessen getrennt. Sollte es aber nicht eine Auffassung geben, die alle Lebenserscheinungen einheitlicher darstellt?

In dem bislang Dargelegten habe ich mich bemüht, verschiedene ernährungsphysiologische Prozesse und Wachstumserscheinungen auf die Verschiebung von Ionen in den einzelnen Pflanzenzellen zurückzuführen. Ich will nun kurz andeuten, wie sich auch die reizphysiologischen Probleme dieser Auffassung leicht unterordnen lassen, ohne dadurch diese Vorgänge völlig erklären zu wollen.

Zunächst wende ich mich den Erscheinungen des Schlafes zu. Auf den zeitlichen Parallelismus zwischen den Vorgängen bei Pflanzen und den Veränderungen der Luftelektrizität habe ich schon 1916[47]) hingewiesen. Wie aber könnte man sich das Zustandekommen dieses Parallelismus denken? Der Pflanzenschlaf besteht in Blattbewegungen, die durch Zellsaftverschiebungen in den Gelenken zustande kommen. Nehmen wir an, daß die Membranen der Zellen dieser Gelenke so eingerichtet sind, daß sie besonders leicht ihre Ladungen bei äußeren elektrischen Veränderungen verschieben, so brauchen wir nur daran zu denken, daß dann auch gleich elektroosmotische Vorgänge stattfinden werden, die genügen würden, um den Turgor der Gelenkzellen so zu verändern, daß eine Blattbewegung eintreten muß. So wäre eine Regu-

lation der Bewegungen durch luftelektrische Erscheinungen denkbar.

Auch den Schlaf der Tiere kann ich hier nicht ganz übergehen, leider nur, um auf die Schwierigkeiten dieses Problems hinzuweisen.

Da wir bislang noch nicht wissen, was der tierische Schlaf eigentlich für ein Vorgang ist, so sind wir auch nicht imstande, seinen zeitlichen Verlauf durch Bestimmungen seiner Intensität festzulegen, wie es uns die verschiedene Stellung der Blätter bei den Pflanzen erlaubt.

Bei den meisten Untersuchungen über die Schlaftiefe ist die Größe des eben erforderlichen Schall- oder elektrischen Reizes, der gerade zum Aufwachen führt, als Maß für die Intensität des Schlafes herangezogen worden. Auf diese Methode gründen Mönninghoff und Piesbergen[37]) ihre Untersuchungen. Damit stellen sie sich also auf den Standpunkt, den Schlaf nur als einen Zustand der herabgesetzten Sinnesempfindlichkeit anzusehen. Gegen diese Auffassung wendet sich Trömmer[51]), der (S. 40) sagt: »Der Begriff Weckreiz ist eine äußerst schwankende, stets vom Gesamtzustande der Konstellation des Bewußtseins abhängige Größe.« Und Laache[29]) spricht sich S. 11 über den Schlaf aus wie folgt: »Aller Wahrscheinlichkeit nach ist der Schlaf kein einfacher, sondern im Gegenteil ein höchst komplizierter Vorgang, an dessen Zustandekommen eine Reihe von Faktoren — teils aktiver, teils (und wesentlich) passiver Natur — mitbeteiligt sind.«

Es ist also nicht möglich, eine etwaige Periodizität des Schlafes zu bestimmen, wenn wir kein Maß haben für seine Intensität. Soweit aber schon Untersuchungen vorliegen, leiden dieselben fast immer darunter, daß keine genauen Zeitangaben gemacht wurden, sondern nur das Zeitintervall berücksichtigt worden ist, das verstrichen war seit dem Augenblick des Einschlafens. Nach meiner Auffassung über Schlaferscheinungen ist es aber nicht gleichgültig, ob die Versuchsperson etwa seit 10 Uhr abends oder erst seit Mitternacht schläft. Auch ist es nicht ausgeschlossen, daß sich der Schlaf qualitativ mit seiner Dauer ändert, daß z. B. in den ersten Stunden gerade eine besonders hohe Herabsetzung der Empfindlichkeit gegenüber Sinneseindrücken

sich geltend macht, während später andere Faktoren, etwa Stoffwechselerscheinungen, mehr den Zustand des Schlafs hervorrufen. Aus meinen persönlichen Erfahrungen bei den zahlreichen nächtlichen Untersuchungen kann ich angeben, daß sich stets am frühen Morgen, etwa von 2 Uhr an, eine Veränderung meines Zustandes bemerkbar machte, die besonders auf psychischem Gebiet (Erregbarkeit) sich zeigte. Leider fehlt uns aber auch für diese Erscheinungen eine Maßeinheit. Auf alle Fälle liegt der Gedanke nahe, geringe Veränderungen in dem Zustand der einzelnen Zellen auch für den tierischen Schlaf verantwortlich zu machen.

Bei ernährungsphysiologischen Erscheinungen sah ich einen wesentlichen Faktor für ihre Regulation in den elektrischen Eigenschaften der semipermeablen Membranen. Durch geringe Gleichgewichtsstörungen können auf diese Weise starke Reaktionen erzielt werden. Aber gerade in dem sehr ungleichen Energieverhältnis von Reizursache und Reaktion sieht man das Wesentliche eines reizphysiologischen Vorgangs. Ich kann dieselben nicht scharf von den ernährungsphysiologischen trennen[1].

Bei der Elektroosmose wird Flüssigkeit mit Hilfe der elektrischen Energie durch die festliegende Membran gepreßt. Man kann sich aber auch vorstellen, daß die Flüssigkeit ruht, und die festen Partikelchen in derselben wandern. Alsdann haben wir die Erscheinung der Kataphorese.

Bei solch einer kataphoretischen Wanderung verändern also elektrisch geladene Teilchen innerhalb der Zelle ihre Lage. Da-

[1]) Nach Abschluß des Manuskriptes erhalte ich die Arbeit von V. Grafe, der in seinen »Gedanken zur chem. u. physikal. Analyse der Reizerscheinungen« (Verh. d. k. k. zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien, Jahrgang 1919) im Separatabzug S. 2 sagt: »Denn die Erregungsleitung muß auf jeden Fall durch die entstandene Differenz oder Abänderung des im lebenden Organismus bestehenden stationären Gleichgewichtes entstanden sein. Jeder Anstoß, der die Pflanze von außen trifft, wenn dieser Anstoß überhaupt eine physiologisch wirksame Energieart vorstellt, muß dieses Gleichgewicht in irgendeiner Weise verschieben.« Grafe sieht als einen Hauptfaktor für die Störung dieses Gleichgewichtes die Quellungs- und Entquellungserscheinungen der Kolloide in den Pflanzenzellen an. Diese Ansicht steht der oben von mir vertretenen sehr nahe. Da die semipermeablen Membranen kolloider Natur sind, die Quellungserscheinungen verbunden sind mit dem Freiwerden von Ionenelektrizität, so werden durch diese Vorgänge gleichzeitig Störungen des elektrischen Gleichgewichtes an den Membranen herbeigeführt.

durch muß natürlich gleich wieder der Gleichgewichtszustand der ganzen Zelle gestört werden. Zudem ruft das Sinken kleinster Teilchen in einer Flüssigkeit ohnehin schon Potentialdifferenzen hervor, die in Anrechnung gebracht werden müssen.

Wird nun ein Organ geotropisch gereizt, so werden alle im Zellplasma suspendierten Teilchen ihre Lage gegeneinander und gegenüber der Membran verändern und dabei elektrische Energie verschieben. Es ist gleichgültig, welcher Art diese Einschlüsse sind, ob Stärkekörner, Zellkerne, Kristalle oder sonst irgendwelche geformte Bestandteile. Die Ionenverschiebungen werden sich zunächst an den Stellen bemerkbar machen, die durch die Umlagerung am meisten betroffen sind. Sie werden sich aber schnell der ganzen Zelle mitteilen und dadurch zu Stoffverschiebungen führen, die entweder in Turgorveränderungen oder sogar in Wachstumserscheinungen zum Ausdruck kommen. Nach Small[42]) treten bei Organen unter dem Einfluß geotropischer Veränderungen Störungen der elektrischen Leitfähigkeit auf. Die Untersuchungen, die mir leider nur im Referat bekannt geworden sind, wurden an der Wurzel von Vicia Faba gemacht.

Auch das bekannte Wandern von Kernen in der Richtung einer Verletzung kann auf Kataphorese zurückgeführt werden, aber auch die photischen Erscheinungen lassen sich mühelos dem gleichen Grundgedanken unterordnen.

Senn[41]) beobachtete das Wandern der Chromatophoren im gerichteten Licht. Ihre Bewegung muß wirken wie das Sinken von Teilchen unter dem Einfluß der Schwere. Aber welchen Anstoß zum Ortswechsel erhalten die Chromatophoren selbst? Hier müssen wir auf Erfahrungen der physikalischen Chemie zurückgreifen. Werden zwei gleiche Elektroden in gleiche Salzlösungen getaucht, die eine der Elektroden belichtet die andere nicht, so wird ein elektrischer Strom in dem Verbindungsdraht der beiden Elektroden auftreten. Swensson[49]), der neuerdings zahlreiche diesbezügliche Versuche anstellte, schaltete alle Fehlerquellen, so z. B. den Temperatureinfluß, sorgsam aus.

Übertragen wir diese Beobachtung auf den pflanzlichen Organismus: bei einseitiger Belichtung muß die belichtete Membranseite — denn eine semipermeable Membran wirkt wie eine Elektrode — ihre Ladung gegenüber der weniger belichteten

Seite verändern, das Gleichgewicht ist dadurch gestört, und Ionen werden wandern. Dies kann dann zu Turgorveränderungen, Wachstumserscheinungen oder Bewegungsreaktionen führen.

Daß die Reaktionen auf einseitig wirkende chemische, thermische oder gar elektrische Reize durch dieselbe Grundvorstellung »erklärt« werden können, ist selbstverständlich, aber auch ein Stimmungswechsel durch allseitigen Reiz könnte auf ähnlichen Vorgängen beruhen.

Ich bin mir wohl bewußt, daß in meinen Ausführungen noch sehr viel Hypothese steckt, die für den Wissenschaftler verschwinden muß. Es sind eben Arbeitshypothesen. Auch habe ich absichtlich das Eingreifen anderer Faktoren in die besprochenen Vorgänge unerwähnt gelassen um der klaren Durchführung des Gedankenganges willen. So halte ich z. B. die Existenz und das Eingreifen eines mit dem Stand der Sonne sich ändernden, bisher unbeachtet gebliebenen Außenfaktors für das Zustandekommen mancher periodischen Erscheinungen für möglich, so daß die Luftelektrizität nicht der einzige Regulator wäre. Aber alle diese Gedanken entbehren noch der experimentellen Basis, und ich bin daher auf Widerspruch gefaßt. Mit demselben muß man aber rechnen, wenn man an festgewurzelten, wissenschaftlichen Anschauungen zu rütteln wagt. Die in der Zukunft wachsende Erkenntnis muß den rechten Weg zeigen.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Sommer 1919 und 1920 im Institut für Allgemeine Botanik in Hamburg ausgeführt. Ich danke Herrn Professor Winkler hiermit herzlich für das weitgehende Entgegenkommen und Verständnis, das ich stets bei ihm fand.

Hamburg, Juni 1920.

Literatur.

1. Asher-Spiro, Ergebnisse der Physiologie II, 1.
2. Benczúr, Dr. J. v., und Fuchs, Dr. D., Über die Wirkung der Radiumemanation auf den respiratorischen Stoffwechsel. Zeitschr. f. exp. Pathol. u. Therapie. 1913. **12**, 364—367.
3. Benedict, F. G., und Snell, J. T., Körpertemperatur-Schwankungen mit besonderer Rücksicht auf den Einfluß, welchen die Umkehrung der täglichen Lebensgewohnheit beim Menschen ausübt. Arch. f. Phys. 1902. **90**, 33—72.

4. Bernstein, J., Elektrobiologie. Braunschweig 1912.
5. Bethe, A., und Toropoff, T., Über elektrolytische Vorgänge an Diaphragmen. Zeitschr. f. phys. Chem. 1914. **88**, 686—742.
6. Blum, Gebhard, Zur Kenntnis der Größe und Schwankung des osmotischen Wertes. Diss. Freiburg i. Schweiz 1916.
7. Eichwald, E., und Fodor, A., Die physikalisch-chemischen Grundlagen der Biologie. Berlin 1919.
8. Falta, Dr. W., und Schwarz, Dr. G., Wachstumsförderung und Radiumemanation. Berl. klin. Wochenschrift. 1911. **14**, 605/606.
9. Fitting, Hans, Untersuchungen über die Aufnahme und über anomale osmotische Koeffizienten von Glyzerin und Harnstoff. Pringsh. Jahrb. 1919. LIX, 1—170.
10. Flusin, G., Recherches sur le rôle de l'imbibition dans l'osmose des liquides. Ann. de chim. et de phys. 1908. **13**, 480—522.
11. Franck, J. und Hertz, G., Über Kinetik von Elektronen und Ionen in Gasen. I. II. Phys. Zeitschr. 1916. XVII, 409 u. 430.
12. Freundlich, H., Kapillarchemie. Leipzig 1909.
13. —, Über abnorme Osmosen. Kolloid Zeitschr. 1916. **18**, 11—16.
14. Gaßner, G., Zur Frage der Elektrokultur. Ber. d. deutsch. bot. Gesell. 1907. **25**, 26—38.
15. Gibson, Robert Banks, The effect of transpositions of the daily routine on the rhythm of temperature variation. Americ. Journ. of Medical Sciences. 1905. **129**, 1048—1059.
16. Girard, Pierre, Rôle de l'électrisation dans la perméabilité des membranes aux électrolytes. Comp. rend. 1909. **148**, 1047—1050.
17. —, Mécanisme électrostatique de l'osmose. Comp. rend. 1910. **150**, 99—102.
18. —, Mécanisme électrolytique de l'hémiperméabilité des tissus vivants aux électrolytes. Comp. rend. 1910. **150**, 1446—1449.
19. Hamburger, Toni, Diffusion und Osmose unter der Wirkung kapillarelektrischer Kräfte. Zeitschr. f. phys. Chem. 1918. **42**, S. 385—420.
20. Hellpach, W., Die geopsychischen Erscheinungen. II. Aufl. Leipzig 1917.
21. Himstedt, F., Über die Ionisierung der Luft durch Wasser. Ann. d. Phys. 1903. **12**, 107—123.
22. Höber, Physikalische Chemie der Zelle und Gewebe. Engelmann. IV. Aufl. 1914.
23. Johansson, Über die Tagesschwankungen des Stoffwechsels und der Körpertemperatur in nüchternem Zustande und vollständiger Muskelruhe. Skand. Arch. f. Phys. 1898. VIII, 85—142.
24. Karsten, G., Über embryonales Wachstum und seine Tagesperiode. Zeitschr. f. Bot. 1915. VII, 1—34.
25. Knight und Priestley, The respiration of plants under various electrical conditions. Ann. of Bot. 1914. **28**, 135—161.
26. Köernicke, Max, Die Wirkung der Radiumstrahlen auf die Keimung und das Wachstum. Ber. d. deutsch. Bot. Gesellsch. 1904. **22**, 155—166.

27. Koernicke, Max, Über die Wirkung von Röntgen- und Radiumstrahlen auf pflanzliche Gewebe und Zellen. Ber. d. deutsch. Bot. Gesellsch. 1905. **23,** 404—415.
28. Kučera, Dr. Gottlieb, Über die Ionisation, welche in verschiedenen Gasen durch die Sekundärstrahlung der β- und γ-Strahlen des Radiums hervorgerufen wird. Bull. international de l'Acad. d. l. Emp. François Joseph I. Classe des sc. math. et de la méd. IX. 1905. II, 42—59.
29. Laache, Dr. S., Über Schlaf und Schlafstörungen, ihre Ursachen und ihre Behandlung. Stuttgart 1913.
30. Lenard, Probleme komplexer Moleküle I. Verdampfung und osmotischer Druck. Sitzungsber. der Heidelberger Akademie d. Wiss. 1914. Abh. 27.
31. Lind, S. C., Ozonisierung des Sauerstoffs durch α-Strahlen. Monatsschr. f. Chemie. 1912. **33,** 295—310.
32. Loeb, Jacques u. Beutner, Reinhard, Über die Potentialdifferenzen an der unversehrten und verletzten Oberfläche pflanzlicher und tierischer Organe. Biochem. Zeitschr. 1912. **41,** 1—26.
33. Loeb, L. B., Referat in Nature. 1916. XLVII, 506.
34. Loewy und Plesch, Berl. klinische Wochenschrift. 1911. **14,** 606—609.
35. Meyer, A., und Deleano, T., Die periodischen Tag- und Nachtschwankungen der Atemgröße im Dunkeln befindlicher Laubblätter und deren vermutliche Beziehung zur Kohlensäureassimilation. Zeitschr. f. Bot. 1911. III, 657—701.
36. —, —, Die periodischen Tag- und Nachtschwankungen der Atemgröße im Dunkeln befindlicher Laubblätter und deren vermutliche Beziehung zur Kohlensäureassimilation. II. Teil. Zeitschr. f. Bot. 1913. V, 209—320.
37. Mönninghoff, O. und Piesbergen, F., Messungen über die Tiefe des Schlafs. Zeitschr. f. Phys. 1883. XIX, 114—128.
38. Nathanson, A., Über kapillarelektrische Vorgänge in der lebenden Zelle. Kolloidchem. Beih. 1919. XI, 261—321.
39. Oppenheimer, Handbuch der Biochemie des Menschen und der Tiere. Jena 1911. Bd. IV, I.
40. Romell, Lars-Gunnar, Eine neue anscheinend tagesautonomische Periodizität. Svensk. Bot. Tidskrift. 1918. **12,** 446—463.
41. Senn, Gestalt und Lageveränderungen der Pflanzen-Chromatophoren. Leipzig 1908.
42. Small, James, Changes of electrical conductivity under geotropic changes. Proc. Roy. Soc. London. 1918. **90,** 349—363. Referat: Bot. Abstracts. 1919. **2,** 61.
43. Sondén, K., und Tigerstedt, R., Untersuchungen über die Respiration und den Gesamtstoffwechsel des Menschen. Skand. Arch. f. Phys. 1895. VI, 1—224.
44. Spoehr, H. A., Variations in respiratory activity in relation to sunlight. Bot. Gaz. 1915. **59,** 366—386.
45. Stäffelt, Über die Schwankungen in der Zellteilungsfrequenz bei den Wurzeln von Pisum sativum. Svensk Bot. Tidskrift. 1919. **13,** 61—70.

46. Stern, Kurt, Über elektroosmotische Erscheinungen und ihre Bedeutung für pflanzenphysiologische Fragen. Zeitschr. f. Bot. 1919. XI. 561—609.

47. Stoppel, R., Die Abhängigkeit der Schlafbewegungen von Phaseolus multiflorus von verschiedenen Außenfaktoren. Zeitschr. f. Bot. 1916. **8.** 609—684.

48. —, Leitfähigkeit und Ionengehalt der Atmosphäre im geschlossenen Raum bei konstanten Licht- und Temperaturverhältnissen. Nachricht. d. k. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen. Math. phys. Kl. 1919.

49. Swensson, Torsten, Lichtelektrische Untersuchungen an Salzlösungen. Diss. Upsala 1919.

50. Toulouse, Ed., et Piéron, H., Le mécanisme de l'inversion chez l'homme du Rhythme nycthéméral de la température. Journ. de phys. et de pathol. générale. 1907. IX. 425—440.

51. Trömmer, Ernst, Das Problem des Schlafs. Biologisch und physiologisch betrachtet. Wiesbaden 1912.

52. Tröndle, A., Der Einfluß des Lichts auf die Permeabilität der Plasmahaut. Pringsh. Jahrb. 1910. **48.** 171—252.

53. Ursprung und Blum, Über die Verteilung des osmotischen Wertes in der Pflanze. Ber. d. deutsch. Bot. Gesellsch. 1916. **34.** 88—104.

54. Winterstein, Hans, Neue Untersuchungen über die physikalisch-chemische Regulation der Atmung. Biochem. Zeitschr. 1915. **70.** 46—73.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Zeitschrift für Botanik

Jahr/Year: 1920

Band/Volume: 12

Autor(en)/Author(s): Stoppel Rose

Artikel/Article: Die Pflanze in ihrer Beziehung zur atmosphärischen Elektrizität. 539-575