Untersuchungen über die periodischen Bewegungen der Laubblätter.

Von

Hans Cremer.

Mit 19 Kurven im Text.

I. Teil.

Einleitung.

Die im I. Teil vorliegender Arbeit angeführten Untersuchungen beziehen sich auf die Frage, ob die Schlafbewegungen der etiolierten Blätter von Phaseolus multiflorus durch eine autonome tagesperiodische Bewegungstätigkeit zustande kommen oder ob dieselben durch einen tagesperiodisch sich verändernden äußeren Reiz hervorgerufen werden. Letztere Meinung wurde erstmalig von Stoppel in ihrer Arbeit: »Die Abhängigkeit der Schlafbewegungen von Phaseolus multiflorus von verschiedenen Außenfaktoren (1916)« vertreten. Auf Grund von vielfältigen Untersuchungen kam Stoppel zu dem Schluß, daß die tägliche Periodizität bei den etiolierten Blättern von Phaseolus multiflorus nicht autonomer Natur sei, sondern daß dieselbe von einem äußeren Reiz abhänge. Stoppel sprach die Elektrizität wegen der weitgehenden Übereinstimmung der Periode der Leitfähigkeit der Atmosphäre mit der Periode der Blattbewegungen als den maßgebenden Reiz an. Die Folgezeit brachte zunächst keine bestimmte Entscheidung, wenn auch einige Forscher dazu neigten, der Meinung Stoppels beizutreten. Erst im Jahre 1922 veröffentlichten Schweidler und Sperlich eine Arbeit, welche sich mit der gleichen Frage beschäftigt. Diese beiden Forscher hielten eine Nachprüfung der Stoppelschen Arbeit vom physiologischen Standpunkte aus für wichtig, zumal es sich hier sowohl um die allgemeine

Frage der Abhängigkeit der rhythmischen Lebensvorgänge von äußeren Faktoren, als auch um eine Einengung des Pfefferschen Begriffes der Autonomie der periodischen Erscheinungen handele. Um eine Nachprüfung im eigentlichen Sinne des Wortes handelt es sich jedoch bei der Arbeit von Schweidler und Sperlich[1] nicht, da sich beide bei ihren Untersuchungen auf eine Veränderung der elektrischen Leitfähigkeitsperiode beschränkten. Sie folgten also lediglich der Anregung Stoppels »durch ein periodisch wechselndes Herauf- und Herabsetzen der Leitfähigkeit der Atmosphäre, die Blätter zu dem entsprechenden Bewegungsrhythmus zu veranlassen« (S. 664). Eine Ausdehnung ihrer Experimente hielten Schweidler und Sperlich nach erzielten negativen Resultaten nicht für erforderlich. Aus den Versuchen der beiden Forscher geht mit Deutlichkeit hervor, daß ein Zusammenhang der Periode der Leitfähigkeit mit den rhythmischen Bewegungen von Phaseolus multiflorus nicht besteht. Sie kommen daher zu dem Resultat, daß die periodischen Bewegungen »als autonome Vorgänge im Sinne Pfeffers gut gekennzeichnet seien« (S. 597).

Die zahlreichen Versuche, die Stoppel ausführte, und bei denen die Pflanze entweder isoliert oder geerdet behandelt wurde, oder innerhalb eines Faradayschen Käfigs aufgestellt war, ließen Schweidler und Sperlich unbeachtet. Gerade diese unter den gegebenen Bedingungen erzielten Abweichungen des normalen Bewegungsganges der Blätter verdienen unbedingt Beachtung. Die hierbei aufgetretenen Störungen können nicht auf Versuchsmängel zurückgeführt werden. Um so mehr also ist gerade eine Nachprüfung dieser Experimente angebracht, was zunächst der Gegenstand dieser Arbeit ist.

Methodik.

Bei meinen Versuchen lehnte ich mich an die Versuchsmethodik Stoppels nach Möglichkeit an. Ich darf daher darauf verzichten, eine detaillierte Beschreibung der Methode wiederzugeben. Es standen mir für die Ausführung der Ex-

[1]) Schweidler und Sperlich, 1922, S. 588ff.

perimente zwei Dunkelzimmer mit elektrischer Ventilation zur Verfügung. Die Dunkelzimmer konnten das ganze Jahr hindurch benutzt werden. Im April war die Heizung nicht mehr im Gange. Infolgedessen herrschte eine Temperatur von 15,6 bis 16°, welche mit vorschreitender Jahreszeit bis 19° anstieg. Die täglichen Schwankungen betrugen kaum mehr als 1,2°. In den meisten Fällen blieben sie unter 1°. Die relative Luftfeuchtigkeit hielt sich zwischen 65 und 70%. Zur Registrierung der Bewegungen standen mir vier Apparate zur Verfügung, von welchen zwei nach dem System Stoppel, zwei weitere von unserem Institutsmechaniker gearbeitet waren. Außerdem wurde für einzelne Fälle zur Aushilfe ein Thermograph als Registrierapparat benutzt. Die Längen der beiden Hebelarme wurden den jeweiligen Verhältnissen angepaßt und sind besonders vermerkt. Sie sind bei den einzelnen Kurven angegeben. Die Anzucht der Samen geschah je nach Bedarf wöchentlich, zunächst mit Vorquellung, später dem Hinweis von Schweidler und Sperlich[1] folgend, sowohl mit als ohne Vorquellung. Es wurde unter Bezugnahme auf die Erfahrungen Stoppels darauf Wert gelegt, daß sich nur eine Bohne in jedem Topf befand. Ebenfalls wurde, sobald sich die Primärblätter zwischen den Kotyledonen zeigten, die Plumula zwischen den Blättern beseitigt. Nach spätestens drei Wochen zeigten die Blätter gute tagesperiodische Bewegungen und waren zum Versuch brauchbar. Im übrigen konnte durch die von Stoppel angegebenen Kulturbedingungen stets mit einem brauchbaren Material gerechnet werden. Die Kulturen wurden teils in Dunkelkisten im Gewächshaus, teils sofort in der Dunkelkammer vorgenommen. Im ersten Falle wurden die Pflanzen nach Eintritt der Dunkelheit begossen. Die Kisten wurden ebenfalls nachts gelüftet. Ob und inwieweit Unterschiede in bezug auf die Kulturbedingungen vorhanden waren, soll im Laufe der Arbeit entschieden werden.

Was die Beurteilung der Kurven betrifft, so bedeutet ein Anstieg der Kurve ein Senken des Blattes, ein Abfall das Heben desselben. Von den Zeitkurven sind die Mitternachts- und Mittagsstunden in die Kurven eingetragen. 12 Uhr mittags ist durch das Datum gekennzeichnet.

Ausführung.

A. Versuche mit im Dunkeln kultivierten Pflanzen.

Den eigentlichen Versuchen sei zunächst eine statistische Übersicht über den Zeitpunkt des Senkungsmaximums an 128 Tagen vorangeschickt.

Kurve 1*[1] zeigt uns, daß die Senkungsmaxima sich auf die Zeit zwischen 10 Uhr abends bis 1 Uhr nachmittags verteilen. Die meisten Pflanzen erreichen zwischen 2 und 5 Uhr vormittags ihr Senkungsmaximum. Es handelt sich bei Kurve 1, wie oben erwähnt, um das Ergebnis von 128 Tagen. Dieser Zahl liegen 25 ganze Kurven zugrunde. Ziehe ich das Mittel dieser 25 Kurven in bezug auf das Senkungsmaximum, so erhalte ich die Kurve Nr. 2*. Es zeigt sich, daß sich nun die Senkungsmaxima auf die Zeit zwischen 12 Uhr nachts und 8 Uhr vormittags verteilen, wobei mit Deutlichkeit ersichtlich ist, daß sich das Senkungsmaximum vorwiegend zwischen 3 und 6 Uhr vormittags findet. Die Behauptung Stoppels, daß die meisten Pflanzen in den frühen Morgenstunden ihre tiefste Stellung erreichten, kann also nur bestätigt werden. Auf die Unterschiede, welche Schweidler und Sperlich bei ihren Untersuchungen erzielten, soll später eingegangen werden. Wir können es als eine Gesetzmäßigkeit auffassen, daß das Senkungsmaximum am Vormittag zu finden ist. Es seien nun zwei Kurven erwähnt, von welchen die eine im Winter, die andere im Sommer von kräftigen Pflanzen geschrieben wurde. Unterschiede in bezug auf den Zeitpunkt des Senkungsmaximums liegen nicht vor. Die Bewegungsbilder weichen zwar im großen und ganzen dadurch voneinander ab, daß bei der Winterkurve die Hebung allmählich vor sich ging, während die Sommerkurve eine stärkere Hebung zeigt und dadurch sich mehrere Stunden auf der Tageshöhe hält. Es handelt sich hier aber nicht um einen durchgreifenden Unterschied zwischen Winter- und Sommerkurven, denn es gibt auch im Sommer Kurven, welche einen sanften Anstieg zeigen. Auf diese Fälle soll im

[1]) Die Kurven konnten der hohen Unkosten wegen nicht sämtlich veröffentlicht werden. Die am Ende wiedergegebenen Abbildungen sind im Text mit * versehen. Die übrigen Kurven können vom botanischen Institut Würzburg jederzeit leihweise bezogen werden.

Laufe der Arbeit noch näher eingegangen werden. Vorläufig halten wir fest, daß der Zeitpunkt des Senkungsmaximums in den verschiedenen Jahreszeiten nicht abweicht. Das Hebungsmaximum wird meistens am Vormittage, in wenigen Fällen in den ersten Nachmittagsstunden erreicht.

Es sollen nun die Ergebnisse der Nachprüfung der Stoppelschen Arbeit folgen.

Stoppel ging bei ihren Untersuchungen von der Überlegung aus, daß, wenn eine Regulation der Bewegungen der Blätter durch die Leitfähigkeit der Atmosphäre vorliege, die Pflanze auf einem Potential sich befinden müsse, das verschieden von dem der Atmosphäre sei. Wie die Abweichung des Potentials der Pflanze von dem ihrer Umgebung zustande kommt, suchte sie nicht zu entscheiden. Für diesen Vorgang sind nämlich sowohl physikalisch-chemische wie physiologische Prozesse verantwortlich zu machen. In ihrer Auffassung über die Bedeutung der Elektrizität fand Stoppel zunächst eine Stütze in der Tatsache, daß durch Anfassen, selbst durch Verweilen in der Nähe der Pflanzen »Entladungen« stattfanden, die teils eine vorübergehende Störung in der Bewegungstätigkeit der Blätter nach sich zogen, teils alsbald zu Deformationen führten. Abgesehen davon, wie die elektrischen Ströme in der Pflanze zustande kommen, stellte sich Stoppel die Frage, ob die Tätigkeit der Wurzel dabei eine Rolle spiele. Da sich die Frage aber wegen der Unmöglichkeit des dauernden Ausschaltens der Wurzel nicht beantworten ließ, untersuchte Stoppel, ob eine Hemmung der elektrischen Vorgänge in der Erde Störungen im Organismus der Pflanze zur Folge hätten. Eine Hemmung wurde von Stoppel durch eine isolierende Schicht zwischen Topf nnd Erdoberfläche erzielt. Stoppel beobachtete bei dieser Versuchsanordnung stets eine deutliche Störung in den Bewegungen, aber nur in den wenigsten Fällen hörten die periodischen Bewegungen ganz auf[1].

Es soll nun der Einfluß der Isolation geprüft werden. Versuch vom 13. 3.—17. 3. 22 (Kurve 5). Die Versuchspflanze hatte einen normalen Bewegungsgang. Am 13. 3., mittags 12 Uhr, wurde sie auf Isolation gesetzt. Die Isolation bestand aus zwei

[1]) Stoppel, 1916, S. 643.

dicken Glasplatten von je 1 cm Dicke und aus vier Korkfüßen von 4 cm Höhe. Am 16. 3. nachts 12 Uhr wurde die Isolation wieder entfernt. Kurve 5 zeigt uns, daß der normale Bewegungsgang trotz der Isolation erhalten blieb. Die Isolation brachte in diesem Falle keinerlei Beeinflussung. Der Versuch wurde wiederholt.

Versuch vom 12. 5.—17. 5. 22 (Kurve 6). Diese Versuchspflanze zeigte ebenfalls eine regelmäßige Bewegungstätigkeit. Am 13. 5., nachmittags 4 Uhr, wurde sie ebenfalls auf Isolation gesetzt. Die Art der Isolation war wie bei dem vorhergehenden Versuche. Am 16. 5., vormittags 6 Uhr, wurde die Isolation wieder entfernt. Auch in diesem Falle ist ein Einfluß der Isolation durchaus nicht ersichtlich.

Bei diesen wenigen Versuchen blieb es nicht, sondern bei späteren Untersuchungen wurde stets gleichzeitig eine Prüfung auf Isolation vorgenommen. Dies wird jeweilig bei den Versuchen angegeben werden. Wie aus den Kurven von Stoppel[1] hervorgeht, traten infolge einer isolierenden Schicht vielfach Verflachungen des Bewegungsbildes ein. Wie später noch ausgeführt werden soll, treten derartige Bewegungsbilder auch natürlich auf. Selbst wo Störungen in der Bewegungstätigkeit bei den Stoppelschen Versuchen mit Isolation auftraten, lassen sich meistens mit Deutlichkeit Kulminationspunkte erkennen. Es sei z. B. auf die Kurven 101a und 101b, S. 643 verwiesen. Es erscheint also fraglich, ob durch Isolation irgendwelche Störungen in der Bewegungstätigkeit der Blätter hervorgerufen werden können. Damit soll nun keineswegs gesagt werden, daß durch eine isolierende Schicht zwischen Erde und Pflanze keine Störung im elektrischen Gleichgewicht der Pflanze verursacht werden könne. Dies wird man ohne weiteres annehmen dürfen, da die Isolation das Abfließen der Elektrizität der Pflanze oder eine Zufuhr von der Erdoberfläche verhindert. Darauf macht Stoppel[2] besonders aufmerksam. Daß aber derartige Störungen im elektrischen Gleichgewicht auch in den Bewegungen der Blätter zum Ausdruck kommen, erscheint nach den vorhergegangenen Kurven nicht wahrscheinlich. Eine etwa mangelhafte

[1]) Stoppel, 1916, S. 643, Abb. 23, S. 647, Abb. 26.
[2]) —, 1916, S. 641.

Isolation kann für die Abweichungen von den Ergebnissen Stoppels nicht verantwortlich gemacht werden.

Die Kurven verlaufen nun keineswegs alle so gleichmäßig wie die bisher angegebenen. Als Gegenstück sei auf die folgenden Kurven verwiesen. Kurve 7* zeigt uns z. B. ein unregelmäßiges Bild, und zwar trat die Unregelmäßigkeit am 15. 6. ein. Die Pflanze befand sich nicht auf Isolation. Wir sehen, daß der Ausschlag der Bewegung vom 15. 6. sich verringerte, um am 16. 6. wieder das ursprüngliche Maß anzunehmen. Leider war an diesem Tage nur diese eine Pflanze zum Versuche angesetzt, so daß ich nicht entscheiden kann, ob die Unregelmäßigkeit bei anderen Pflanzen, welche gleichzeitig arbeiteten, auch eingetreten wäre. Wir haben also hier eine unregelmäßige Kurve ohne Isolation, wie man sie mit Isolation nicht besser hätte wünschen können. Daß irgendwelche Versuchsmängel für das Zustandekommen dieser Unregelmäßigkeit verantwortlich zu machen sind, halte ich für ausgeschlossen. Um so mehr also ist man gezwungen, sich nach anderen Ursachen umzuschauen. Es ist mir nun aufgefallen, daß gerade zur Zeit des Auftretens der Unregelmäßigkeit eine starke Veränderung in der Witterung vor sich ging. Am 15. 6. gingen starke Regenfälle nieder, welche am 16. 6. aufhörten. Diese Tatsache gibt allerdings der Meinung Vorschub, daß die Luftelektrizität im Spiele sei. Denn es ist bereits von Stoppel[1] festgestellt worden, daß in einem geschlossenen Kellerraum eine Periode der Leitfähigkeit der Atmosphäre besteht. Von Schweidler und Sperlich wurde diese Feststellung bestätigt und von Schlenk[2] noch erweitert durch die Beobachtung, daß unperiodische Änderungen der Leitfähigkeit (z. B. Erhöhung bei Föhn oder Westwettereinbruch oder Erniedrigungen bei anticyklonalen dunstigem Wetter oder Nebel) wider Erwarten in geschlossenem Raume ohne merkliche Verspätung und in überraschend großen absolutem Betrage sich einstellten. Ich selbst kann auf Grund noch später zu erläuternder Messungen über die Leitfähigkeit bestätigen, daß sich Witterungseinflüsse sehr bald der Dunkelkammer mitteilen, so daß man an den verschiedenen Tagen ein sehr verschiedenes

[1]) Stoppel, Göttinger Nachr., 1919, S. 397—415.

[2]) Angabe bei Schweidler und Sperlich, 1922, S. 593.

Bild der Leitfähigkeit der Atmosphäre erhält. Man könnte nun in dem vorliegenden Falle für die Unregelmäßigkeit des Bewegungsbildes eine Veränderung der Leitfähigkeit als Ursache annehmen. Dies scheint aber nicht der Fall zu sein, da ich an sehr vielen Regentagen eine durchaus regelmäßige Bewegung der Pflanzen beobachtete. In diesen Fällen hätten sich auch Unregelmäßigkeiten zeigen müssen. So z. B. traten bei der Kurve 8, welche die Fortsetzung der Kurve 7 darstellt, am 18. und 19. 6. Regenfälle auf. Eine Veränderung des normalen Bewegungsganges ist nicht zu ersehen.

Unregelmäßige Kurven traten nicht sehr häufig auf. Im ganzen erhielt ich ihrer 9. Die meisten unregelmäßigen Kurven ließen mehr oder weniger Kulminationspunkte erkennen, nur bei wenigen war von diesen nichts zu sehen. Kurve 9* zeigt ebenfalls ein sehr unregelmäßiges Bewegungsbild an zwei Tagen. Das Wetter war während dieser Zeit durchaus klar. Die Ursache für diese Unregelmäßigkeit ist mir nicht bekannt. Auch in diesem Falle können Versuchsmängel nicht im Spiele gewesen sein. Aus den nachfolgenden Kurven 10 und 11 geht hervor, daß es überhaupt fraglich erscheint, ob wir für das Zustandekommen von Unregelmäßigkeiten äußere Faktoren in Anspruch nehmen dürfen. Kurve 10 hat einen unregelmäßigen Gang an zwei Tagen, während die gleichzeitig geschriebene Kurve 11 eine Unregelmäßigkeit nicht aufweist. Wodurch also die Unregelmäßigkeit in dem einen Falle auftrat und in dem anderen unterblieb, vermag ich nicht zu entscheiden.

Versuch vom 18. 2. — 23. 2. 22 (Kurve 12). Es war mir nun an dem Einfluß der Erdung gelegen. Zu diesem Zwecke wurde die Pflanze auf Isolation gesetzt und innerhalb eines Drahtkorbes aufgestellt. Am 20. 2. wurde der Korb geerdet, am 22. 2. wurde die Erdung beseitigt. Die Kurve 12 zeigt, daß ein Unterschied nicht besteht. Der regelmäßige Verlauf der Bewegungen erhält sich.

Stoppel[1] erzielte bei dieser Versuchsanordnung durch Erdung des Gitters ein Nachlassen der Regelmäßigkeit der Bewegungen. Aus Kurve 148 ihrer Arbeit geht hervor, daß bereits kurze Zeit nach der Erdung von einer Periodizität nichts

[1]) Stoppel, 1916, S. 645.

mehr zu merken ist. Dieselbe zeigte sich jedoch wieder, nachdem die Pflanze aus dem Gitter herausgenommen wurde. Bei genauer Betrachtung besagter Kurve fällt aber auf, daß ein regelmäßiger Ausschlag bereits wiederkehrte, während die Pflanze sich noch im Gitter befand. Es können bei St. also die Unregelmäßigkeiten in der Bewegung nicht allein auf die jeweiligen Versuchsanordnungen zurückzuführen sein, zumal wir gesehen haben, daß es unregelmäßig verlaufende Kurven normalerweise auch gibt.

Auf Grund der durch Isolation erzielten Abweichungen war es für Stoppel wahrscheinlich gemacht, daß ein Ausgleich der Elektrizität zwischen Boden und Atmosphäre für das regelmäßige Bewegungsbild erforderlich war. Damit schien allerdings noch kein Beweis gegeben, daß die periodischen Schwankungen der Luftelektrizität die Periode bei den Blättern bedingten. Um hierüber Aufklärung zu erhalten, wurden die Pflanzen von St. von der Luftelektrizität durch Gitter und Zinkkasten abgesperrt. Ein besonders schlagender Beweis für die Bedeutung der Luftelektrizität bei den Blattbewegungen schien Stoppel[1] der Versuch zu sein, bei welchem die Pflanze in einem Zinkkasten aufgestellt war. Es zeigte sich dabei, daß die Periode unter dieser Bedingung zeitweise ausbleiben kann. St. gibt zwar selbst an, daß dies der einzige Versuch war, der so ausfiel. Sie hat die Versuche mit einem Zinkkasten vielfältig wiederholt, aber keine einheitlichen Resultate erzielt. Eine Störung in den Bewegungen konnte sie zwar ausnahmslos beobachten. Die Versuche mit dem Zinkkasten wurden von mir wiederholt.

Versuch vom 22. 5. — 27. 5. 22 (Kurve 13). Die Versuchspflanze schrieb eine regelmäßige Bewegung, trotzdem sie dauernd auf Isolation stand. Am 22. 5. kam die Pflanze in einen Zinkkasten. Der Zinkkasten selbst stand auf Glas und Korkfüßen isoliert. Der Kasten wurde mit der Wasserleitung verbunden und so geerdet. In der Tat zeigte sich vom zweiten Tage nach dem Ansetzen des Versuches eine Unregelmäßigkeit, die darin bestand, daß die ursprüngliche Bewegungstätigkeit sich verflachte. Am 25. 5. wurde der Zinkkasten wieder ent-

[1]) Stoppel, 1916, S. 639.

fernt. Die Ausschläge nehmen von diesem Tage an zu. Die Pflanze bleibt von diesem Tage an auf der Isolation stehen, welche in diesem Falle ebenfalls keinen Einfluß nach sich zog. Die Versuche mit dem Zinkkasten wurden verschiedentlich wiederholt.

Versuch vom 17. 5.—21. 5. 22 (Kurve 14). Am 18. 5. kam die Versuchspflanze, welche bis dahin eine regelmäßige Bewegung aufzeichnete, unter den bei dem vorhergegangenen Versuche angegebenen Bedingungen in den Zinkkasten. Am 19. 5. wurde der Rhythmus unterdrückt, kam aber am 21. 5., nachdem der Zinkkasten entfernt worden war, wieder zum Vorschein. Eine Nachwirkung wurde nicht erzielt.

Wir sehen also, daß in dem Zinkkasten Störungen auftreten. Die Ursache für letztere scheint jedoch eine andere zu sein. Es ist bekannt, daß das Zink einen charakteristischen Geruch aufweist. Um also die Möglichkeit, daß irgendwelche gasförmigen Produkte von den metallenen Wänden, etwa »Metallstrahlen«, die bekanntlich auf Wasserstoffsuperoxydbildung beruhen, eine Beeinflussung hervorrufen könnten, auszuschalten, wurde die Pflanze erst von einem Glaskasten umgeben, und dieser in einen Zinkkasten, ebenfalls mit nochmaliger Isolation, gesetzt. Der folgende Versuch gibt über das Ergebnis Auskunft.

Versuch vom 17. 1.—22. 1. 23 (Kurve 15). Die Versuchspflanze zeigte einen regelmäßigen Gang. Sie wurde am 17. 1. auf Isolation gesetzt. Am 18. 1., mittags 12 Uhr, wurde sie mit einem Glaskasten umgeben und in einem Zinkkasten aufgestellt. Der Glaskasten hatte in seiner Decke eine kleine runde Öffnung zur Durchführung der Schreibvorrichtung. Entsprechend wies der Zinkkasten eine Öffnung auf. Die Pflanze blieb bis zum 21. 1. in dieser Apparatur, ohne irgendeine Beeinflussung in der Bewegungstätigkeit zu zeigen. Am 21. 1. wurde die Pflanze aus dem Glaskasten wie aus dem Zinkkasten herausgenommen und auf den Boden gesetzt. Kurve 15 gibt darüber Auskunft, daß der normale Rhythmus an allen Versuchstagen in vollem Maße erhalten blieb. Wir haben es aller Wahrscheinlichkeit nach bei den vorhergegangenen Versuchen, bei welchen im Zinkkasten Unregelmäßigkeiten auftraten, mit anderen Vorgängen zu tun. Ob es sich hier um

rein chemische Einflüsse oder um Strahlen gleich welcher Natur gehandelt hat, bleibt für vorliegende Arbeit ohne Bedeutung. Es steht jedenfalls fest, daß auch bei Wiederholung dieses Versuches unter den angegebenen Bedingungen die Regelmäßigkeit der Bewegungen nichts zu wünschen übrig ließ.

Stoppel[1] hat nun das Auftreten von Unregelmäßigkeiten, die durch Isolation hervorgerufen wurden, durch gleichzeitiges konstantes Aufladen des Topfes zu beseitigen gesucht. Zu diesem Zwecke stand St. ein Element von 1 Volt Spannungsdifferenz und die Stadtleitung von 110 Volt zur Verfügung. Da ich durch Isolation keine Beeinträchtigung der Bewegungen bemerken konnte, war obige Aufgabe hier nicht am Platze. Immerhin schien es von Interesse zu sein, den direkten Einfluß der Elektrizität (1 Volt) auf eine flache Normalkurve festzustellen.

Versuch vom 4. 6.—9. 6. 22 (Kurve 16). Die Kurve zeigte bis zum 5. 6. eine geringe Bewegungstätigkeit. Das Senkungsmaximum ist zwar mit Deutlichkeit zu ersehen. Am 5. 6., nachm. 6 Uhr, wurde der + Pol eines schwachen Elementes in der Nähe des Blattgelenkes befestigt, während der — Pol in die Erde gesteckt wurde. Eine Beeinflussung der Elektrizität macht sich alsbald bemerkbar. Am 6. 6. erreichte die Pflanze ein tieferes Senkungsmaximum als an den Vortagen, ebenfalls lag das Senkungsmaximum am 7. 6. bedeutend tiefer als sonst. An diesem Tage ging der Anstieg mit größter Geschwindigkeit vor sich. Am 7. 6., nachts 12 Uhr, wurden die Pole wieder entfernt. Die Ausschläge werden alsbald wieder geringer. Dies deutet darauf hin, daß es sich in diesem Falle wohl um einen elektrischen Reiz gehandelt hat. Die umgekehrte Anordnung der Pole wurde nicht untersucht. Das Aufladen der Pflanzen mit + bzw. — 110 Volt Spannung bringt die Pflanze in kurzer Zeit zum Absterben. Es erübrigt sich daher, die Kurven an dieser Stelle vorzuführen.

Stoppel[2] führte schließlich Versuche aus, bei denen die Pflanze innerhalb eines dauernd auf + 220 bzw. — 220 Volt geladenen Gitters sich befand. Das — geladene Gitter brachte bei Stoppel meistens Schädigungen für die Pflanze mit sich.

[1]) Stoppel, 1916, S. 646.
[2]) —, 1916, S. 650.

Im + geladenen Gitter ließen die Bewegungen nichts zu wünschen übrig. Diese Untersuchungen wurden ebenfalls nachgeprüft. Bei ihrer Ausführung bin ich insofern von der Methode Stoppels abgewichen, als ich die Versuche in dem + bzw. — geladenen Gitter gleichzeitig vornahm.

Versuch vom 18. 6.—23. 6. 22 (Kurve 17 und 18). Die Versuchspflanzen waren gut entwickelt und standen dauernd auf Isolation. Am 19. 6. wurden die Pflanzen innerhalb eines + bzw. — geladenen Gitters aufgestellt. Am 22. 6., mittags 12 Uhr, wurden die Gitter wieder entfernt. Zu Unregelmäßigkeiten kam es, wie die Kurven dartun, in keinem Falle.

Wenn man die bisherigen Resultate meiner Nachprüfungen mit denen von Stoppel vergleicht, so dürfte es gewagt sein, für die Regulation der Blattbewegungen die Elektrizität in Anspruch zu nehmen. Daß elektrische Vorgänge auf der Grenze zwischen Pflanze—Atmosphäre und zwischen Wurzel—Erde stattfinden, soll nicht bezweifelt werden. Für das Zustandekommen der Blattbewegungen scheinen sie jedoch keine Bedeutung zu haben.

Es folgen nun zwei Kurven, welche den Einfluß eines elektrischen Feldes dartun.

Versuch vom 24. 2.—26. 2. 22 (Kurve 20*). Die Versuchspflanze zeigte eine normale Bewegungstätigkeit. Am 24. 2. vormittags wurde sie auf Isolation innerhalb eines mit dem — Pol der Stadtleitung verbundenen Gitters, welches ebenfalls isoliert war, aufgestellt. Der Topf wurde mit der Erde verbunden. In diesem Falle floß also ein Strom durch die Pflanze. Der Einfluß ist deutlich sichtbar. Die Regelmäßigkeit der Bewegungen läßt alsbald nach, sie kehrt wieder, nachdem die Pflanze am 26. 2. aus dem elektrischen Felde herausgesetzt wurde. Nachwirkungen zeigten sich nicht. Die Regelmäßigkeit des Bewegungsbildes blieb auch an den folgenden Tagen erhalten.

Versuch vom 16. 7.—19. 7. 22 (Kurve 19*). Es handelt sich ebenfalls hier um eine gut entwickelte Versuchspflanze, welche ebenfalls dem Einfluß eines elektrischen Feldes ausgesetzt wurde. Der Versuch wurde nur in der Weise abgeändert, daß das Gitter mit dem + Pol der Stadtleitung verbunden

wurde. Im übrigen war die Versuchsbedingung dieselbe. Auch in diesem Falle zeigte sich eine deutliche Unregelmäßigkeit der Bewegungen. Der normale Rhythmus kehrte nicht wieder. Die Pflanze rollte sich am 19. 7. auf.

Elektrische Felder haben also einen deutlichen Einfluß auf die Bewegungstätigkeit. Für das Zustandekommen der Schlafbewegungen kommen sie aber normalerweise nicht in Betracht.

Ionisationsversuche ohne Messung.

Bei den folgenden Versuchen wurden Erhöhungen der Leitfähigkeit durch ionisierende Mittel hervorgerufen. Es konnten zunächst in Ermangelung der dazu nötigen Apparate Messungen nicht vorgenommen werden. Dieselben wurden später nachgeholt.

Stoppel[1] erblickte das experimentum crucis darin, durch ein willkürliches Verändern der Leitfähigkeit eine entsprechende Veränderung im Bewegungsbilde der Blätter hervorzurufen. Die ersten Versuche, welche sie zur Erreichung dieses Zieles mit Hilfe von Radiumpräparaten bei etiolierten Blättern unternahm, schlugen wegen einer schädlichen Einwirkung der Radiumstrahlen fehl. Bessere Resultate erzielte sie durch die Glühstrumpfreste eines Auerbrenners, welche sie auf das Blatt und den Topf brachte. Diese Versuche wurden von Stoppel nur mit grünen Pflanzen angestellt. Stoppel[2] beobachtete auf die erhöhte Ionisation hin eine vertiefte Senkung der Versuchspflanzen, während der normale Rhythmus aber durchaus erhalten blieb. Ob es sich hier um die Wirkung der Ionisation gehandelt hat, oder ob eine direkte Strahlenwirkung den Erfolg brachte, untersuchte Stoppel nicht weiter. Im Verlaufe dieser Arbeit soll dieses näher entschieden werden. Gegen die Annahme eines Zusammenhanges der Periode der Leitfähigkeit der Atmosphäre und der Periode der Blattbewegungen lassen sich a priori berechtigterweise Einwände erheben. Die Leitfähigkeit der Atmosphäre einerseits, und das von der Pflanze erzeugte Potentialgefälle anderseits sind derartig geringfügig, daß die daraus sich ergebenden Vitalströme, geschweige ihre

[1]) Stoppel, 1916, S. 664.
[2]) —, 1916, S. 661.

täglichen Schwankungen nur sehr kleine Werte erreichen können. Im Freien liegen die Verhältnisse günstiger, da man in diesem Falle annehmen kann, daß die Pflanze an dem Ausgleich der elektrischen Spannungsunterschiede zwischen Luft und Erde beteiligt ist. Bei Zimmerversuchen ist dies jedoch nicht der Fall. Im Laboratorium sind keine meßbaren Potentialunterschiede vorhanden. Immerhin schien es wichtig, den natürlichen Gang der Leitfähigkeit zu verändern und damit die Blattbewegungen zu vergleichen. Die Erhöhung der Ionisation wurde vorgenommen durch ein Thoroxydpräparat, das in einer Kristallisierschale untergebracht wurde. Ferner standen mir zu den Ionisationsversuchen eine Höhensonne und eine Röntgenröhre zur Verfügung.

Nehmen wir an, daß ein elektrischer Reiz die Blattbewegungen von Phaseolus hervorruft, so ist zu erwarten, daß, wenn eine erhöhte Ionisation auf die Pflanze einwirkt, der Erfolg verschieden ausfallen muß, je nachdem die sich aus beiden Reizen ergebenden Bewegungen des Blattes gleichlaufend oder entgegengesetzt, also widersinnig sind, natürlich unter Berücksichtigung der Intensität. Man müßte also erwarten, daß eine erhöhte Ionisation, die widersinnig wirkt, die Bewegungstätigkeit verändert wird, und zwar so, daß sie sich dem stärkeren Reiz anpaßt; wirkt eine widersinnige Reizung täglich in rhythmischen Abständen auf die Pflanze ein, so müßte dieser neue Rhythmus, wenn auch nicht sofort, so doch mit der Zeit vorwiegen, und die Blattbewegungen sich entsprechend anpassen. Wirkt die Erhöhung der Ionisation dagegen gleichsinnig, so könnte man eine Beschleunigung der normalen Bewegungen erwarten. Darauf macht bereits Pfeffer[1] aufmerksam. »Anderseits ist bereits darauf hingewiesen, daß eine in Gang befindliche Bewegung durch eine gleichsinnig gerichtete Reizreaktion beschleunigt wird.«

Wenden wir uns nun den Ergebnissen der Versuche mit erhöhter Ionisation zu. Ich darf gleich vorwegnehmen, daß sie negativ ausfielen. Sie bringen also im Wesen nichts anderes als was auch von Schweidler und Sperlich festgestellt wurde, nämlich daß Erhöhung der Leitfähigkeit den normalen Gang

[1]) Pfeffer, 1907, S. 323.

der Blattbewegungen nicht beeinflußt. Immerhin kann ich einige Versuche im Zusammenhang kurz erwähnen.

Versuch vom 17. 7.—21. 7. 22 (Kurve 21). Die Pflanze schrieb bis zum 18. 7. ihre normalen Bewegungen im Versuchsraume auf. Am 18. 7., nachts 12 Uhr, wurde die Leitfähigkeit der Atmosphäre durch ein Thoroxyd-Präparat erhöht. Letzteres war in einer Kristallisierschale untergebracht und befand sich in 80 cm Entfernung von der Pflanze. Das Präparat wurde 4 Stunden im Versuchsraume gelassen. Am 20. 7., mittags 12 Uhr, wurde das gleiche vorgenommen. Kurve 21 zeigt, daß die Bewegungen keinerlei Veränderungen erlitten. Wir haben es also hier sowohl mit einer gleichsinnigen wie widersinnigen Beeinflussung zu tun.

Versuch vom 22. 7.—24. 7. 22 (Kurve 22). Die Versuchspflanze zeigte eine regelmäßige Bewegungstätigkeit. Am 22. 7., mittags 12 Uhr, wurde die Leitfähigkeit ebenfalls durch Thoroxyd in der oben erwähnten Weise erhöht, ebenfalls am 23. 7., nachts 12 Uhr, am 24. 7., nachmittags 2 Uhr. In allen Fällen blieb das Präparat 3 Stunden im Versuchsraume. Die Regelmäßigkeit der Bewegungen blieb sowohl bei dem Versuche wie auch nachher erhalten.

Versuch vom 13. 1.—16. 1. 23 (Kurve 23). Bei diesem Versuche wurde als ionisierendes Mittel eine Höhensonne benutzt. Da die Pflanze eine normale Bewegungstätigkeit zeigte, ist der dem Versuche vorangehende Teil der Kurve weggelassen. Am 13. 1., nachts 12 Uhr, wurde die Pflanze 1 Stunde bestrahlt. Ebenso am 15. 1., mittags 12 Uhr. Eine auffallende Beeinflussung ist in der Kurve 23 nicht wahrzunehmen.

Versuch vom 16. 1.—20. 1. 23 (Kurve 24). Als ionisierendes Mittel wurde eine Röntgenröhre benutzt. Die Pflanze wurde vor einer direkten Bestrahlung durch eine Bleiplatte geschützt. Die Röhre wurde in einem Abstande von 1 m von der Versuchspflanze in Tätigkeit gesetzt. Die Pflanze zeigte ein normales Bewegungsbild. Am 17. 1., mittags 12 Uhr, am 18. 1., nachts 12 Uhr, am 19. 1., nachmittags 6 Uhr, wurde die Röhre jeweilig 1 Stunde in Gang gebracht. Auch dieser Versuch verlief negativ. Die Regelmäßigkeit der Bewegungen blieb durchaus erhalten, obwohl es sich hier um eine bedeutend

erhöhte Leitfähigkeit gehandelt hat. Dieser Versuch zeigt gleichzeitig, daß eine chemische Einwirkung durch das sich entwickelnde Ozon ebenfalls nicht besteht.

Ionisationsversuche mit Messung.

Nachdem mir ein Elektroskop zur Verfügung gestellt worden war, konnte ich einige Messungen über die Luftelektrizität nachträglich machen. Die ersten Messungen über die Leitfähigkeit der Atmosphäre mit Bezug auf die Schlafbewegungen wurden von Stoppel in ihrer Arbeit »Leitfähigkeit und Ionengehalt der Atmosphäre im geschlossenen Raum bei konstanten Licht- und Temperaturverhältnissen« (1919) angestellt. Stoppel stellte in dieser Arbeit fest, daß die Intensität der Leitfähigkeit bei dauernder Dunkelheit einem tagesperiodischen Wechsel unterliegt. In den frühen Morgenstunden, meist zwischen 2—4 Uhr, ist die Zerstreuung am größten, im Laufe des Tages zeigen sich die niedrigsten Werte. Stoppel sucht eine Erklärung für den rhythmischen Gang der Leitfähigkeitskurve zu geben und kommt zu folgendem Resultat: »Da unter den bei meinen Versuchen herrschenden Umständen weder die Schwankungen der Temperatur noch der Feuchtigkeit den rhythmischen Gang der Zerstreuung verursacht haben können, der Luftdruck ohne wesentlichen Einfluß zu sein scheint und das Licht des Tageswechsels sogar im entgegengesetzten Sinne wirken müßte, als es der Tageskurve entspricht, so müssen wir zugeben, daß die Ursache der Rhythmik der Zerstreuung noch ganz ungeklärt ist, und daß wie wir möglicherweise noch einen unbekannten kosmischen Faktor oder eine unbekannte Kombination von Faktoren vor uns haben, die vielleicht auf für rhythmische biologische Erscheinungen (Schlaf) von dem maßgebendsten Einfluß ist. Jedenfalls liegt hier noch ein weites Feld für den Forscher offen, und die ausstehenden Resultate können auch biologisch von der weitgehendsten Bedeutung sein« (S. 14). Wir sehen also, daß Stoppel in dieser Arbeit andere Faktoren als Ursache für das Zustandekommen der Schlafbewegungen vermutet.

Schweidler und Sperlich haben ebenfalls genaue Messungen über die Leitfähigkeit gemacht, so daß es unnötig

scheint, einen weiteren Beitrag zu geben. Nur der Vollständigkeit halber seien einige Messungen angegeben.

Der Arbeitsraum, in dem die Messungen vorgenommen wurden, war der gleiche, in welchem die Versuche mit Phaseolus angestellt wurden. Zur Messung diente ein Elektroskop der Firma Günther & Tegetmeyer, Braunschweig. Die Beobachtungen wurden alle 2 bzw. 20 Minuten vorgenommen. Zur Regulation der Zeit diente eine Stoppuhr. Das Meßinstrument befand sich auf Isolation. Das Aufladen des Elektroskops geschah mit einem eigens dazu gelieferten Pinsel. Die Anfangspotentiale wurden immer möglichst auf die gleiche Höhe gebracht, was zwar nur innerhalb gewisser Grenzen gelang. Die Anfangsladung betrug 210—220 Volt. Die Temperatur hielt sich um 16° herum und schwankte täglich kaum um 1°. Die Luftfeuchtigkeit hielt sich zwischen 65—70%. Die Untersuchungen wurden nur bei dauernder Dunkelheit vorgenommen. Messungen über den Gang der durchdringenden Strahlung wurden nicht angestellt, da sich dies nach den Beobachtungen Stoppels erübrigte. »Soviel kann aber gesagt werden, daß, wenn überhaupt eine Periodizität der durchdringenden Strahlung existierte, so kann es sich nur um ein Minimum in den frühen Morgenstunden handeln. Diese Annahme bekommt darin den Wert einer Wahrscheinlichkeit, weil diese Beobachtung auch von anderer Seite gemacht worden ist. Auf alle Fälle sind die Schwankungen auch außerordentlich gering.« (S. 5.) Auf Grund der von mir ausgeführten Messungen wurden die folgenden Kurven aufgestellt. Die Zeiten sind auf der Abszisse aufgetragen, der Ladungsverlust in Volt auf der Ordinate. Die Temperatur wurde nicht eingetragen, da die Schwankungen sehr gering waren. Wir sehen aus Kurve 25, daß ein ausgesprochener periodischer Rhythmus in der Leitfähigkeit existiert. Das Maximum der Zerstreuung liegt um Mitternacht bzw. in den frühen Morgenstunden. Die Periodizität ist zwar nicht immer streng ausgesprochen, die Messung am 8. 5. (Kurve 25*) zeigt ein weniger ausgesprochenes tagesperiodisches Leitfähigkeitsbild, das durch meteorologische Faktoren bedingt sein dürfte.

Während der Zeit, in welcher die Messungen vorgenommen wurden, schrieb eine Versuchspflanze im gleichen Raum ihre

Bewegungen auf. Kurve 26* zeigt das Ergebnis. Die Bewegungen lassen an Regelmäßigkeit nichts zu wünschen übrig. Der Verlauf ist an allen Tagen ungefähr der gleiche, während Kurve 25 zeigt, daß das Bild der Leitfähigkeitskurve ein bewegtes ist. Die Maxima finden sich zwar in der gleichen Zeit.

Gehen wir nun zu den Messungen über die Erhöhung der Ionisation über.

Versuch vom 12. 5.—17. 5. 23 (Kurve 27* u. 28*). Die Versuchspflanze zeigte eine regelmäßige Bewegung. Am 12., 13., 15., 17. 5., mittags 12 Uhr, wurde die Leitfähigkeit im Versuchsraume durch Thoroxyd in bereits erwähnter Weise erhöht. Kurve 27 zeigt das Ergebnis der gleichzeitig vorgenommenen Messung. Wir sehen, daß dem jeweiligen Maximum der Leitfähigkeitskurve das Minimum der Blattbewegungskurve entspricht. Auch hier fand eine Beeinflussung durch das ionisierende Präparat nicht statt. Die Vermutung Stoppels, nach welcher eine Ähnlichkeit der Kurven der Leitfähigkeit mit denen der Blattbewegungen bestehen soll, ist nicht haltbar. Es besteht kein sichtbarer Zusammenhang der beiden Perioden.

Direkte Strahleneinwirkungen.

An dieser Stelle sollen einige Versuche über den Einfluß der direkten Strahlung mit radioaktiven Präparaten besprochen werden. Bemerken möchte ich, daß sich meine Untersuchungen nur auf die physikalische Seite dieser Frage beziehen, also darauf, welche äußeren Umstände für die Wirkung verantwortlich zu machen sind, nicht auf die physiologische, wieso sie auf die Pflanze wirken.

Bei diesen Versuchen wurde das vorerwähnte Thoroxydpräparat benutzt.

Versuch vom 15. 5.—20. 5. 22 (Kurve 29). Die Versuchspflanze zeigte einen normalen Bewegungsgang. Am 17. 5., abends 8 Uhr, wurde Thoroxyd auf die Gelenke und die Blätter gestreut. Am 19. 5., nachmittags 4 Uhr, wurde das Präparat so gut wie möglich wieder beseitigt. Kurve 29 zeigt, daß das Bewegungsbild sehr bald nach der Beeinflussung unregelmäßig wurde. Kulminationspunkte lassen sich zwar noch erkennen.

Nach Entfernung der Bestrahlung trat die Regelmäßigkeit der Kurve ab 19. 5. wieder auf.

Versuch vom 14. 5.—19. 5. 22 (Kurve 30). Diese Versuchspflanze bewegte sich ebenfalls normal bis 16. 5. An diesem Tage wurde sie mittags 12 Uhr in der oben erwähnten Weise behandelt. Die Ausschläge der Kurve lassen alsbald deutlich nach. Zu Unregelmäßigkeiten kam es bei diesem Versuche nicht. Die Periode bleibt, wenn auch geschwächt, erhalten. Am 18. 5., vormittags 11 Uhr, wurde das Präparat beseitigt. Die ursprüngliche Bewegungstätigkeit kehrte aber nicht zurück, sondern im Laufe des 19. 5. rollte sich die Pflanze wohl infolge der Strahlenwirkung auf.

In den Wintermonaten wurden keine Versuche in dieser Richtung unternommen. Ob daher in den verschiedenen Jahreszeiten auch verschiedene Resultate erzielt werden, vermag ich nicht zu entscheiden. Nach Molisch fällt eine günstige Radiumwirkung in die Monate November, Dezember, während im Januar die Bestrahlung bei längerer Zeit schädlich wirkt. Ebenso verhält es sich in den Sommermonaten. Mehr Versuche über den Einfluß einer direkten Bestrahlung mit radioaktiven Präparaten wurden nicht ausgeführt. Der Reaktion geht, wie die Kurven zeigen, eine gewisse Latenzzeit voraus. Die Wirkung der direkten Bestrahlung der Pflanze zeigte sich nur während der Dauer der Bestrahlung an, obwohl eine Nachwirkung angenommen werden könnte. Inwieweit die Wirkung von der benutzten Menge der radioaktiven Präparate abhängt, wurde nicht entschieden. Bei dieser Feststellung würde man auf besondere Schwierigkeiten stoßen, da die Empfänglichkeit der Pflanzen für die Bestrahlung eine wesentliche Rolle spielt und sich von Pflanze zu Pflanze ändern dürfte. Exakt können die Versuche nicht genannt werden, da das radioaktive Präparat ein Gemisch von α-, β- und γ-Strahlen aussendet. Dabei unterscheiden wir wieder zwischen harten und weichen, β- und γ-Strahlen. Während die α-Strahlen von der äußeren Schicht des Gewebes absorbiert werden, dringen die β-Strahlen tiefer ein, und zwar wächst die Tiefe von den weichen zu den harten Strahlen. Die γ-Strahlen penetrieren am tiefsten. Somit dürften bei meinen Versuchen wohl in erster Linie die β- und γ-Strahlen

in Betracht kommen, was durch Filtration entschieden werden müßte. Darauf wurde nicht näher eingegangen, da über die Wirkung der γ-Strahlen mit Hilfe einer Röntgenröhre besondere Untersuchungen ausgeführt wurden, wovon im zweiten Teil dieser Arbeit Mitteilung gemacht werden wird. Es ist noch zu bemerken, daß Schweidler und Sperlich[1] ebenfalls den direkten Einfluß der radioaktiven Präparate auf die Bewegungen der Blätter von Phaseolus prüften, aber keinen Erfolg feststellen konnten. Der Unterschied dürfte wohl in einer zu kurzen Bestrahlungszeit zu suchen sein. Im Anschluß an diese Versuche sei noch auf einen Versuch hingewiesen, bei welchem sich eine Pflanze in einem Bleikasten befand (Kurve 31). Der Bleikasten sollte den Zweck haben, eine etwaige Wirkung der durchdringenden Strahlung auszuschalten. Es erübrigt sich eine nähere Erläuterung des Versuches, da in dem Bleikasten die Bewegungen erhalten blieben.

B. Versuche mit grünen Pflanzen.

Im allgemeinen gestalten sich die Versuche mit den grünen Pflanzen einfacher als die Dunkelversuche, obwohl man bei der Deutung derselben besondere Rücksicht auf die hinzutretende Assimilation nehmen muß. Zur Ausführung dieser Versuche stand mir ein Gewächshaus zur Verfügung, in welchem die Temperatur mitunter starken Schwankungen unterworfen war. Außerdem wurden in der Dunkelkammer mit künstlicher tagesperiodischer Beleuchtung Versuche angestellt. Die grünen Versuchspflanzen zeigen gegenüber den etiolierten insofern einen Unterschied, als die Bewegungen kräftiger und schneller vor sich gehen, wodurch die Pflanze ein längeres Verweilen auf der Tageshöhe gewinnt. Auch bei diesen Versuchen lehnte ich mich an die Versuchsmethodik Stoppels nach Möglichkeit an. Die Gelenke der Versuchspflanzen wurden nach der Methode Pfeffers verdunkelt. Es wurden zunächst die Versuchsergebnisse Stoppels nachgeprüft.

Versuch vom 19. 1.—23. 1. 22 (Kurve 32). Die Versuchspflanze zeigte eine normale Bewegung. Am 20. 1., mittags 12 Uhr, wurde dieselbe auf Isolation gesetzt. Die Art der Iso-

[1]) Schweidler und Sperlich, 1922, S. 585—588.

lation ist von den früher erwähnten Versuchen bekannt. Am 23. 1., mittags 12 Uhr, wurde die Isolation wieder beseitigt. Auch bei den grünen Pflanzen machte sich ein Einfluß der Isolation nicht bemerkbar.

Die grünen Versuchspflanzen zeigen auch zuweilen einen unregelmäßigen Verlauf der Bewegungen, besonders wenige Tage vor dem Absterben der Pflanzen. Kurve 33 zeigt uns ein solches Bild. Wir sehen, daß die tagesperiodischen Bewegungen schwinden, um in kurzperiodische überzugehen und von dem Eingehen der Pflanze gefolgt zu werden.

Versuch vom 26. 11.—30. 11. 21 (Kurve 34). Die Versuchspflanze zeigte ein regelmäßiges Bewegungsbild. Am 27. 11. wurde sie auf Isolation innerhalb eines negativ geladenen Gitters nach der Methode Stoppels aufgestellt. Am 29. 11. wurde die gesamte Apparatur wieder beseitigt. Der regelmäßige Gang der Bewegungen blieb auch während des Versuches erhalten.

Versuch vom 10. 12.—14. 12. 21 (Kurve 35). Diese Pflanze bewegte sich ebenfalls regelmäßig. Am 11. 12., vormittags 6 Uhr, wurde dieselbe innerhalb eines positiv geladenen Gitters auf Isolation gesetzt. Am 13. 12. wurde das Gitter entfernt. Auch in diesem Falle ist von einer Unregelmäßigkeit nichts zu sehen.

Versuch vom 22. 1.—26. 1. 22 (Kurve 36). Bei diesem Versuche wurde die Leitfähigkeit der Atmosphäre durch Thoroxyd in oben erwähnter Weise erhöht. Am 23. 1., mittags 12 Uhr, am 25. 1., vormittags 1 Uhr, wurde das Präparat je 3 Stunden in die Nähe der Versuchspflanze gebracht. Kurve 36 zeigt, daß eine Beeinflussung nicht stattfand.

Dieser Versuch wurde des öfteren wiederholt, jedoch erspare ich mir die Kurven wiederzugeben, da sie nichts anderes aussagen. Es wurden ebenfalls in dieser Richtung Versuche mit Phaseolus vulgaris angestellt, welche für gewisse Reize empfänglicher ist als Phaseolus multiflorus. Jedoch auch bei diesen wurde, wie Kurve 37 zeigt, kein Erfolg erzielt.

Direkte Strahleneinwirkung.

Auch bei den grünen Pflanzen wurden direkte Bestrahlungsversuche vorgenommen. Was die näheren Erörterungen anbelangt, so gilt das bei den etiolierten Pflanzen Gesagte.

Versuch vom 21. 11.—25. 11. 21 (Kurve 38). Es handelte sich um eine gut gewachsene, normal arbeitende Pflanze. Am 23. 11. wurde Thoroxyd auf die Gelenke und Blätter gebracht. Am 25. 11. wurde das Präparat wieder entfernt. Wie aus Kurve 38 hervorgeht, ließen die normalen Bewegungen alsbald deutlich nach. Die Periode ist zwar am 24. 11. noch gut sichtbar. Es handelt sich hier um eine schädliche Einwirkung der direkten Bestrahlung, da die Versuchspflanze im Laufe des 25. 11. abstarb.

Versuch vom 22. 3.—27. 3. 22 (Kurve 39). Diese Versuchspflanze zeigte eine gute normale Bewegung. Am 23. 3. wurde Thoroxyd auf Gelenke und Blätter gebracht, am 25. 3., mittags 12 Uhr, nach Möglichkeit wieder entfernt. Die Ausschläge ließen während der direkten Bestrahlung sichtbar nach. Der normale Rhythmus blieb zwar während des Versuches erhalten. Nach Entfernung des Präparates wurden die ursprünglichen Ausschläge wieder voll und ganz hergestellt. Von einer Nachwirkung war an den darauffolgenden Tagen nichts zu sehen.

Versuch vom 23. 6.—27. 6. 22 (Kurve 40). Diese Versuchspflanze wurde ebenfalls am 25. 6., mittags 12 Uhr, der gleichen Bedingung 2 Stunden ausgesetzt. Vom anderen Tage ab ließen die Bewegungen sichtbar nach. Der normale Gang kommt nicht mehr zustande, wie die Kurve 40 zeigt. Die Pflanze geht infolge der Bestrahlung zugrunde. Es wurden also hier dieselben Erfolge erzielt, wie wir sie bei den etiolierten Pflanzen bereits kennengelernt haben.

Bei Gelegenheit dieser Untersuchungen wurden öfters Beobachtungen über die Nachwirkungen der Schlafbewegungen im Dunkeln angestellt. Während die Aktionsfähigkeit der grünen Blätter von Phaseolus vulgaris durch Starre-Erscheinungen sehr bald beeinträchtigt wird, hält sie bei Phaseolus multiflorus in ganz verschiedenem Maße an. Zur Erläuterung sei auf folgenden Versuch hingewiesen.

Versuch vom 13. 6.—3. 7. (Kurve 42 u. 43). Diese Versuchspflanze bewegte sich kräftig und normal. Am 14. 6. wurde sie mittags in das Dunkelzimmer gesetzt. Die Ausschläge lassen zwar vom 15. 6. an bedeutend nach. Der normale Rhythmus bleibt aber bei dauernder Dunkelheit und durchaus gleicher Temperatur

bis zum 2. 7. erhalten, wie aus den erwähnten Kurven hervorgeht. Die Kurve vom 18. 6.—28. 6. ist nicht wiedergegeben, da sie die gleichen normalen Bewegungen zeigt. Die Bewegungen hielten also volle 18 Tage an. In anderen Fällen habe ich feststellen können, daß die Aktionsfähigkeit 14—16 Tage ungeschwächt anhielt, in einem Falle war dies 19 Tage der Fall. Stets verliefen die Bewegungen tagesperiodisch mit einem Senkungsmaximum in den Morgenstunden. Ob es sich hier lediglich um Nachwirkungen handelt, erscheint mir zweifelhaft, vielmehr werden wir es hier mit denselben Erscheinungen wie bei den etiolierten Pflanzen zu tun haben. Wie sich derartige Pflanzen anderen Einflüssen gegenüber, wie direkte Bestrahlung, verhalten, wurde nicht festgestellt. Auf diese Beobachtungen über das Verhalten der grünen Pflanzen im Dunkeln sei besonders aufmerksam gemacht, da sich, wie aus späteren Versuchen im Bergwerk hervorgehen wird, Abweichungen zeigen.

Über die bisher erwähnten Versuche sei ein zusammenfassendes Wort gesagt. Es hat sich bisher bei meinen Untersuchungen gezeigt, daß die Blätter von Phaseolus auf Störungen des elektrischen Gleichgewichtes der Pflanze mit Veränderungen in der Bewegungstätigkeit nicht antworten. Eine Störung des Gleichgewichtes wurde durch das Dazwischenschieben einer Isolation bzw. durch Zufuhr von statischer Elektrizität hervorgerufen. Somit erscheint es also zweifelhaft, daß es elektrische Vorgänge sind, die bei dem Zustandekommen der Schlafbewegungen eine maßgebende Rolle spielen. Eine gewisse Übereinstimmung einer Normalkurve der Schlafbewegungen mit der Kurve der Leitfähigkeit besteht zwar, was die Kulminationspunkte anbetrifft, an den meisten Tagen, aber die Kurvenbilder weichen recht voneinander ab. Trotz dieser negativen Resultate sollen die bisherigen Beobachtungen über elektrische Erscheinungen im Pflanzenreiche an Bedeutung nicht verlieren. Es liegen bekannterweise sehr viele Beobachtungen über eine elektrische Beeinflussung vor. Aber man wird sich nicht der Meinung verschließen können, daß die meisten Arbeiten auf dem Gebiete der Elektrobiologie, wenigstens soweit Pflanzenversuche in Frage kommen, herzlich wenig Greifbares bieten. Was den Austausch der Elektrizität zwischen Pflanze und Atmosphäre

betrifft, so dürfen wir ihn als vorhanden annehmen, aber für die Regulierung der Schlafbewegungen ist er ohne Bedeutung. Aus meinen Versuchen geht ferner hervor, daß man bei der Beurteilung eines derartigen Problems nicht vorsichtig genug sein kann, zumal es Unregelmäßigkeiten im Bewegungsbilde gibt, die nicht durch eine entsprechende Versuchsmethodik hervorgerufen werden.

Erklärungsversuch für die von Stoppel erzielten Resultate.

Die Abweichungen, die Stoppel bei ihrer Arbeit erzielt hat, können wir unmöglich auf Versuchsmängel zurückführen. Wir haben gesehen, daß es unregelmäßige Kurven gibt, ohne durch Isolation verursacht zu sein. Bei Stoppel dürften solche Fälle auch vorgekommen sein. Ferner lernten wir den Einfluß eines Zinkkastens als Ursache für Unregelmäßigkeiten des normalen Bewegungsganges kennen, was bei Stoppel auch eine Rolle gespielt haben wird. Dies geht mit Deutlichkeit aus dem ersten Versuch Stoppels hervor (S. 639), bei welchem die gesamte Apparatur mit einer Versuchspflanze in einem großen Zinkkasten untergebracht war. Wie verhält es sich nun mit den durch geladene Gitter erzielten Resultaten? Bei meinen Versuchen mit Aufladungen der Pflanzen konnte ich auch nicht den geringsten Einfluß feststellen. Vergleichen wir mit meinen Ergebnissen die Feststellungen Stoppels, so zeigt sich, daß bei Stoppel, wenn auch nicht schlagende, so doch durchaus zu beachtende Erfolge erzielt wurden. Ich versuchte nun, dieser Frage auf einem anderen Wege beizukommen. Ein Vergleich der elektrischen Verhältnisse in Würzburg mit denjenigen in Basel zeigte, daß bedeutende Unterschiede in bezug auf die Emanationsmenge der Atmosphäre vorhanden sind. Während nach Angabe von Gockel[1] die Emanation in Würzburg eine ganz geringe ist, weist sie in Basel erhebliche Werte auf. Ich ging daher dazu über, besondere Versuche mit Emanation anzustellen. Die Untersuchungen gestalteten sich verhältnismäßig einfach, da es in der Hauptsache galt, den natürlichen Emanationsgehalt zu erhöhen.

[1]) Gockel, Luftelektr., 1920, S. 164.

Physikalisches.

Auf die physikalische Seite der Emanation brauche ich nicht sonderlich einzugehen. Emanation ist ein unelektrisches Gas, das aus den drei Elementen: Radium, Thorium und Actinium entsteht. Die Emanation erzeugt in der Luft um sich ständig + und — Träger, sie ist also ebenfalls radioaktiv. Sie zerfällt weiter in feste radioaktive Bestandteile, »Induktionen« genannt. Die Induktionen setzen sich an allen Gegenständen, z. B. an den Wänden, fest und machen die Luft leitend. Besonders gehen sie an — geladene Drähte heran. Die Halbwertszeit beträgt für Radium-Emanation 3,9 Tage. Der natürliche Emanationsgehalt unterliegt täglichen und jährlichen Schwankungen. Die tägliche Schwankung hat meistens eine doppelte Welle, tiefste Werte sind kurz nach Mitternacht, höchste Werte 6 Uhr morgens. An verschiedenen Orten finden sich große Verschiedenheiten. Es besteht eine Ähnlichkeit des normalen Ganges der Emanation mit dem Gang der Luftdruckschwankung.

Methodisches.

Zur Ausführung der Versuche diente ein »Emanatorium« der Radiogen-Gesellschaft Berlin, wie es zu therapeutischen Zwecken Verwendung findet. Dasselbe wurde mir durch die Liebenswürdigkeit des Würzburger Arztes Dr. Nürnberg zur Verfügung gestellt, wofür demselben an dieser Stelle bestens gedankt sei. Das Emanatorium stand in einem geschlossenen kleinen Zimmer aufgestellt. Die Apparatur besteht aus 14 metallenen Büchsen, in welchen die Radium-Emanation entwickelt wird. Diese Büchsen werden Emanatoren genannt. Aus diesen Emanatoren läßt sich die Emanation durch eine Pumpe oder Sauerstoffbombe austreiben. Die übrigen zum Emanatorium gehörenden Teile brauchen nicht näher beschrieben zu werden, da sie nur für die Emanationstherapie eine allgemeine Bedeutung haben. Der Emanationsgehalt wurde ebenfalls einer Messung unterworfen. Die einfachste Methode zur Messung des Emanationsgehaltes ist die elektroskopische. Hierzu diente ein Elektroskop der Firma Günther & Tegetmeyer, Braunschweig. Die Messungen sind in Macheeinheiten ausgedrückt und bei den Versuchen jeweilig angegeben.

Versuche.

Versuch vom 6. 3.—12. 3. 23 (Kurve 44). Eine etiolierte Phaseolus multiflorus befand sich innerhalb einer ringsrum geschlossenen Glasglocke. Der Boden besaß 2 Öffnungen, die der Durchleitung der Emanation dienten. Das Begießen wurde ebenfalls durch eine Öffnung im Boden durch eine Glasröhre vorgenommen. Die Versuchspflanze hielt den Aufenthalt in dieser Glocke 7 Tage, ohne irgendeine Beeinträchtigung zu zeigen, aus. Dies geht aus Kurve 44 hervor.

Versuch vom 15. 3.—28. 3. 23 (Kurve 45 und 46). Eine gut arbeitende Versuchspflanze befand sich in der vorerwähnten Apparatur. Die Bewegungen verliefen durchaus regelmäßig. Da dieser Versuch in dem mit Tageslicht versehenen Zimmer, in welchem das Emanatorium aufgestellt war, stattfand, wurde die Glasglocke lichtdicht mit schwarzen Tüchern verhängt. Am 18. 3., nachmittags 2 Uhr, wurde Emanation eingeleitet. (7200 Mache-Einheiten.) Die Kurve wurde daraufhin ein wenig unregelmäßig. Der Zeitpunkt des Senkungsmaximums blieb aber erhalten. Vom 19. 3. ab wurde der Charakter der Kurve geändert. Die Bewegungen verstärkten sich erheblich. Die zeitliche Lage derselben blieb wie an den Vortagen. Am 21. 3. wurde die Pflanze aus der Glasglocke entfernt und in normale Verhältnisse gebracht. Die verstärkten Ausschläge zeigten sich auch weiterhin. Am 28. 3. rollte sie sich auf.

Versuch vom 6. 3.—12. 3. 23 (Kurve 47 und 48). Bei diesem Versuche handelte es sich um eine kräftige grüne Versuchspflanze. Der Versuch wurde in dem Emanationsraume ausgeführt, da in diesem Falle von der Glasglocke wegen der assimilierenden Tätigkeit der grünen Pflanzen kein Gebrauch gemacht werden konnte. Die Bewegungstätigkeit der Versuchspflanze war eine normale. Am 7. 3., mittags 2 Uhr, wurde Emanation eingeleitet (3600 Mache-Einheiten). Das Senkungsmaximum war am folgenden Tage vertieft. Eine Unregelmäßigkeit in den Bewegungen trat nicht auf. Die zeitliche Lage blieb ebenfalls erhalten. Am 8. 3. wurde die Pflanze wieder in normale Verhältnisse gebracht. Eine Nachwirkung zeigte sich nicht.

Versuch vom 7. 3.—11. 3. 23 (Kurve 49). Die benutzte grüne Pflanze schrieb eine regelmäßige Bewegung auf. Am 9. 3., mittags 12 Uhr, wurde Emanation eingeleitet. Der Erfolg zeigte sich auch hier alsbald. Das Senkungsmaximum lag am 10. 3. bedeutend tiefer als an den Vortagen. Von einem sonstigen Einfluß war nichts zu sehen.

Versuch vom 12. 3.—16. 3. 23 (Kurve 50). Die bei dem vorhergehenden Versuche benutzte Pflanze wurde einem periodistischen Steigern des Emanationsgehaltes des Versuchszimmers unterworfen. Am 12., 13., 14. 3., mittags 2 Uhr, wurde jeweilig Emanation in den Versuchsraum eingeleitet (3600 Mache-Einheiten). Zu einer Verschiebung des Rhythmus kam es nicht. Die Pflanze erreichte nur eine tiefere Nachtstellung. Am 15. 3. wurde die Pflanze wieder in normale Verhältnisse gebracht. Das Senkungsmaximum blieb auch an den Nachtagen vertieft.

Versuch vom 18. 3.—27. 3. 23 (Kurve 51 und 52). Es handelte sich um eine ältere Pflanze mit einer geringeren Bewegungstätigkeit. Am 20. 3., nachmittags 2 Uhr, wurde der Topf mit der Pflanze auf — 220 Volt geladen und gleichzeitig Emanation eingeleitet. Am 22., 23., 24. 3., nachmittags 2 Uhr, wurde ebenfalls jeweilig Emanation zugeleitet. Die Kurve nahm einen unregelmäßigen Verlauf an. Am 25. 3. kam sie in normale Verhältnisse. Der Rhythmus stellte sich wieder her. Die Ausschläge blieben von dieser Zeit ab verstärkt. Bei allen Versuchen mit grünen Pflanzen wurden die Gelenke in bekannter Weise verdunkelt. Ebenfalls befanden sich die Pflanzen während der Emanationsversuche auf Isolation.

Die Versuche mit Emanation konnten wegen therapeutischer Inanspruchnahme der Station nicht weiter verfolgt werden. Aus den wenigen Versuchen geht aber mit Deutlichkeit hervor, daß eine Einwirkung der Emanation auf die Bewegungen der Blätter besteht. Das Emanatorium konnte aus besonderen Gründen nur mittags von mir benutzt werden. Ob die Versuchsergebnisse zu anderen Tagesstunden anders ausgefallen wären, bleibt vorläufig dahingestellt. Es wurde bereits erwähnt, daß sich die Emanation vorwiegend auf — geladene Drähte niederschlägt. Da der natürliche Emanationsgehalt an dem Versuchsorte Basel, wo Stoppel die meisten Versuche aus-

führte, ein sehr hoher ist, so ist bei geladenen Körben und Gegenständen schon bei gewöhnlichen Bedingungen ein Niederschlagen der Emanation zu erwarten, wodurch dann eine Einwirkung auf die Pflanzen stattfinden kann. In Würzburg ist dieser Erfolg infolge des geringen Emanationsgehaltes natürlich nicht zu erwarten. Den Beweis hierfür habe ich durch vorliegende Versuche in gewissem Sinne erbracht. Um eine rein chemische Wirkung dürfte es sich bei den Beeinflussungen durch Emanation nicht gehandelt haben, vielmehr wird man annehmen dürfen, daß in erster Linie eine direkte Strahlenwirkung der Zerfallsprodukte der Emanation in Frage kommt. Es kommen sowohl α-, β- wie γ-Strahlen in Betracht. Auf Grund der früher erwähnten Versuche mit direkter Bestrahlung durch radioaktive Präparate, sowie der noch zu schildernden Versuche mit X-Strahlen steht der Annahme einer direkten Strahlenwirkung nichts im Wege. Außerdem liegen bereits eine größere Anzahl von Untersuchungen von Emanation auf biologischem Gebiete vor. Man ist sich zwar hierbei über den Ort und die Weise des Zustandekommens einer Wirkung nicht klar. Die Tatsachen, um welche es sich auf diesem Gebiete handelt, sind nicht einheitlicher Natur. Es treten sowohl Reizerscheinungen wie Vergiftungserscheinungen infolge von Emanation auf, je nach der Konzentration. Man hat festgestellt, daß selbst die kleinsten Dosen der Emanation noch eine biologische Wirkung hervorrufen können. Über die Angriffspunkte der Emanation läßt sich auch bei vorliegenden Versuchen schwerlich etwas aussagen. Auch bei den Wachstumssteigerungen, die infolge der Behandlung mit Emanation erzielt wurden, sind die Verhältnisse nicht klar (Körnicke, Schmidt). Weiter lohnt es sich nicht, die Frage zu erörtern, ob nicht dem Gehalt der Atmosphäre und des Erdbodens an radioaktiven Substanzen überhaupt eine biologische Bedeutung zukommt. Es wäre zwar möglich, daß diese Strahlenenergie für das Zustandekommen der Lebensprozesse auf der Erde eine ähnliche Bedeutung hätte wie etwa das Vorhandensein des Sauerstoffes. Eine Entscheidung dieser Frage kann aber nicht so schnell getroffen werden. Anderseits ist es aber durchaus nicht unbedingt notwendig, den Durchschnittsgehalt unserer Atmosphäre an Radiumemanation

als absolut erforderlich für gewisse Lebensprozesse anzusehen. Ebensowenig hat es Zweck, etwa eine summarische Betrachtung der gesamten Radioaktivität bezüglich ihres Einflusses auf die Pflanzen anzustellen, da sich zwischen der zerstörenden Wirkung starker Dosen und der biologischen Reizwirkung kleiner Mengen sowohl von Emanation wie von Strahlung eine Gesetzmäßigkeit nicht erblicken läßt. Es ist anzunehmen, daß auch die verschiedenen Strahlengruppen, dementsprechend auch die einzelnen radioaktiven Substanzen eine sehr verschiedene biologische Wirkung hervorrufen. Es läßt sich bei den Emanationsversuchen nicht ohne weiteres entscheiden, ob nur die α-Strahlungen oder auch die weiteren Zerfallsprodukte mit β- und γ-Strahlen mitwirken. Im zweiten Teil dieser Arbeit wurde der Beeinflussung durch γ-Strahlen mittels einer Röntgenröhre nähergetreten. Wie und ob die anderen Strahlen auch auf die Schlafbewegungen wirken, könnte man nur finden, wenn man jede einzelne Strahlengruppe für sich einzeln wirken ließe. Reine α-Strahlen werden z. B. von Pollonium ausgesandt. Es ist aber auch anzunehmen, daß physikalisch gleichartige Strahlen (z. B. α-Strahlen, Jonium und Pollonium) biologisch verschieden wirken. Bei den Emanationsversuchen ist es möglich, daß die Emanation in die Pflanzen eindringt, daß also nicht eine Strahlenwirkung der sich auf die Pflanze niederschlagenden Zerfallsprodukte stattfindet. In diesem Falle können die Zerfallsprodukte der Emanation in der Pflanze verweilen und hier ebenfalls durch β- und γ-Strahlen, also auch durch die α-Strahlen, wirksam sein. Wo in der Pflanze diese Niederschlagsbildung stattfinden könnte, mag dahingestellt bleiben. Hier ist ebenfalls noch reiche Arbeit zur Aufklärung nötig.

Betonen möchte ich nochmals, daß es sich bei diesen Versuchen nur darum gehandelt hat, die von Stoppel erzielten Abweichungen zu erklären. Es ist auch möglich, daß bei den von St. beobachteten Resultaten noch eine andere Ursache oder Kombination eine Rolle gespielt haben.

Die Erklärungsversuche von Schweidler und Sperlich.

Es soll einiges über die Erklärungsversuche von Schweidler und Sperlich gesagt werden. Es wurde bereits eingangs

erwähnt, daß diese beiden Forscher feststellten, daß die Bewegungen der Blätter von Phaseolus multiflorus keinen Zusammenhang aufweisen mit den periodischen Veränderungen der Leitfähigkeit. Sie stützen ihre Behauptung auf die Beobachtung, daß die Bewegungen der Blätter nicht synchron verlaufen. Sie stellen im großen und ganzen 3 Senkungsmaxima fest, nämlich: 12 Uhr nachts, 8 Uhr und 11 Uhr vormittags, während das Maximum der Leitfähigkeit nach ihren Versuchen auf die Zeit von 2—4 Uhr morgens fällt. Werfen wir einen Blick auf die statistische Übersicht von Schweidler und Sperlich (Figur 4, Tafel 5), so sehen wir, daß um 8 Uhr vormittags die meisten Pflanzen ihr Senkungsmaximum erreicht haben, was den Leitfähigkeitsverhältnissen in der Luft nicht entspricht. Verschwindend wenige Fälle erreichen am Nachmittage ihre tiefste Schlafstellung. Aus meinen wie aus Stoppels Versuchen geht hervor, daß es auch unregelmäßige Kurven gibt. Schweidler und Sperlich[1] haben ebenfalls, wie sie angeben, verschiedenartige Bewegungsbilder erhalten. Ob derartige Kurven bei der statistischen Aufstellung[2] Verwendung fanden, ist nicht zu ersehen. Ebenfalls dürfen die im Anfange eines Versuches geschriebenen Kurven nicht benutzt werden, da durch mancherlei Ursachen Störungen hervorgerufen werden können. Erst wenn die Pflanze sich an die neuen Bedingungen gewöhnt hat, kann man zur Beurteilung der Kurven übergehen. Die Kurven von Schweidler und Sperlich weisen eine auffallend geringe Bewegungstätigkeit auf. Dieses kann nur an den Kulturbedingungen liegen. Der Arbeit ist zu entnehmen, daß die Untersuchungen bei einer Temperatur von 14° begonnen wurden. Diese Temperatur ist sowohl für die Kulturen, wie auch für die Untersuchungen selbst zu gering. Nach meinen Beobachtungen treten erst über 15° brauchbare Bewegungen auf. Die bei einer Temperatur von 14° gezogenen Pflanzen kann man daher für Versuchszwecke schlecht verwenden. Schweidler und Sperlich suchen den weitgehenden Synchronismus, welchen Stoppel bei ihren Versuchen erzielte, durch eine annähernd gleiche Behandlung des Saatgutes von der Quellung an zu erklären. Die von ihnen erzielten Ab-

[1]) Schweidler und Sperlich, 1922, S. 582.

[2]) —, —, 1922, Fig. 4.

weichungen werden danach auf eine Verschiedenheit in der Behandlung der Pflanzen zurückgeführt. Es sollen die Unterschiede für den Zeitpunkt des Senkungsmaximums auf Verschiedenheiten beruhen, die von der Quellung bis zur beginnenden Epikotylstreckung, also während einer Zeitspanne von 6 Tagen, liegen. Lichtunterschiede sollen in dieser ersten »kritischen« Zeit weniger von Einfluß sein als die Temperaturunterschiede. Diese Erklärungsversuche bergen, wie wir sehen werden, wenig Wahrscheinlichkeit in sich. Kurve 26* vorliegender Arbeit zeigt z. B. die Bewegungen einer Pflanze, die aus einer Kultur stammt, welche von der Keimung ab bei konstanter Temperatur gehalten wurde. Die Versuchspflanze der Kurve 24 unterlag von der Keimung dem periodischen Temperaturwechsel im Gewächshaus. Die Pflanze der Kurve 44 verbrachte die »kritische« Zeit im ungeheizten Zimmer bei 8° Temperatur und wurde danach am achten Tage in konstante Temperaturverhältnisse gebracht. In allen drei Fällen erblicken wir eine durchaus exakte regelmäßige, vor allem kräftige Bewegung. Die »kritische« Zeit allein kann für die Unterschiede also nicht verantwortlich gemacht werden. Aus eigenen Beobachtungen weiß ich zwar, daß die Entwicklung der Blätter und ihre Entfaltung im allgemeinen eine bessere ist, wenn man die Kulturen in Dunkelkisten in einem Gewächshause vornimmt. Hier scheinen in erster Linie die Luftverhältnisse günstiger auf die Entwicklung einzuwirken. Schweidler und Sperlich nahmen die Kulturen ohne Vorquellung vor. Es wurde von mir geprüft, ob ein Unterschied der Kulturen mit und ohne Vorquellung besteht. Die Pflanze der Kurve 24 wurde mit Vorquellung, die Pflanze der Kurve 26* ohne Vorquellung kultiviert. Ein sichtbarer Unterschied ist nicht vorhanden. Auf die Zeitpunkte, wann man die Quellung vornimmt, worauf Schweidler und Sperlich besonders hinweisen, kommt es nach meinen Beobachtungen gar nicht an. Die Erklärungsversuche von Schweidler und Sperlich dürfen nicht zu hoch angeschlagen werden, zumal die beiden Forscher hierbei experimentelle Versuche fehlen ließen.

Werfen wir einen Rückblick auf die bisher festgestellten Beobachtungen, so könnte man immerhin geneigt sein, mit Schw. und Sp. auf einem Umwege den alten Standpunkt wieder

einzunehmen und die Bewegungen als autonome Vorgänge im Sinne Pfeffers zu kennzeichnen. Die folgenden Untersuchungen widersprechen dieser Annahme.

Versuche im Steinsalzbergwerk Schacht König Wilhelm II. in Kochendorf a. N.

Die Veranlassung zu den Untersuchungen in einem Bergwerk gab mir folgende Überlegung. Die Periode der Leitfähigkeit der Atmosphäre ist in erster Linie von Außenfaktoren abhängig, die sich vorwiegend an der Erdoberfläche abspielen. Je tiefer man nun in die Erde geht, um so mehr entzieht man sich diesen Faktoren. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Periode der Leitfähigkeit in einer gewissen Tiefe ist darum sehr gering, um so besser gleichzeitig die Möglichkeit, den natürlichen Gang der Leitfähigkeit durch künstliche Ionisation zu beeinflussen. Soll nun ein Zusammenhang in der Periode der Leitfähigkeit mit der Periode der Blattbewegungen dennoch bestehen, dann müssen sich in einem Bergwerk unbedingt Abweichungen ergeben gegenüber den an der Erdoberfläche vorgenommenen Versuchen. Außerdem könnten noch unbekannte Faktoren an der Erdoberfläche mitspielen, welche unten nicht oder nur in geringem Maße zur Geltung kommen. Die Untersuchungen in einem Bergwerk schienen mir darum zur Ergänzung der Laboratoriumsversuche von größter Wichtigkeit. Die Untersuchungen wurden im Steinsalzbergwerk in Kochendorf bei Heilbronn unternommen. Bei meinen Untersuchungen wurde ich in jeder Weise von dem Leiter der Staatsbetriebe, Herrn Bergrat Dr. ing. Baur, unterstützt. Ohne seine große Liebenswürdigkeit wäre es mir gänzlich unmöglich gewesen, die Untersuchungen auszuführen. Ich spreche Herrn Bergrat Dr. Baur meinen tiefgefühlten Dank aus.

Den Untersuchungen sei eine kurze Schilderung der geologischen Verhältnisse des betreffenden Bergwerkes vorausgeschickt. Das Liegende des Lagers bildet ein dichter Anhydrid, der seinerseits wieder von bituminösem Stinkstein unterlagert ist. Auf dem Liegenden kommen zunächst 1 bis 2 m mit Anhydrid und Ton verunreinigtes Salz. Dann folgt ein mächtiges gleichförmiges Lager von 95 % Chlornatrium enthal-

tendem grobkristallinischen Steinsalz. Dem Steinsalz war wieder Anhydrid aufgelagert. Die Untersuchungsorte waren ringsum von Steinsalz umgeben. Es standen mir beliebig viele verlassene Orte zu den Versuchen zur Verfügung, welche abgeschlossen werden konnten. Die Orte selbst standen durch die Wetterstrecken mit der Außenluft in Verbindung, so daß, wenn auch eine allmähliche, so doch dauernde Lufterneuerung stattfand. Die im Betrieb befindlichen Arbeitsorte lagen tausende Meter von meinen Versuchsräumen weg. Die aus den Arbeitsorten abziehenden Gase nahmen einen anderen Weg zur Außenluft, so daß meine Versuchsorte gänzlich davon geschützt waren. Wenn auch die Bergwerksluft im allgemeinen in bezug auf Reinheit ebensowenig wie jede Laboratoriumsluft ideal genannt werden kann, so sprechen alle von mir gemachten Beobachtungen gegen eine etwa schädliche oder hemmende Beeinflussung durch die Luft. Darauf sei besonders hingewiesen.

Methodik.

Zur Ausführung dieser Versuche benutzte ich die früher erwähnten Registrierapparate. Im übrigen lehnte ich mich an die bekannten Methoden von Pfeffer und Stoppel unter Anpassung an die jeweiligen Bedingungen an. Die Kulturen wurden zunächst bei 16,9°, später auch bei 20—25° vorgenommen. Was die Temperatur im Bergwerk anbelangt, so betrug sie 16,9°. Die täglichen Schwankungen waren kaum 0,2—0,3°. Die Luftfeuchtigkeit betrug 60% und hielt diesen Wert mit ganz geringen Schwankungen bei. Die Bandagierung der Blätter wurde gewöhnlich ausgeführt. wenn dieselben ihre Entfaltung begonnen hatten.

Ich gehe sofort zur Besprechung der Kurven über. Kurve 53* und 54 zeigen die Bewegungen einer bei 16,9° kultivierten Pflanze. Außer kleinen Oszillationen ist eine periodische Bewegung nicht wahrzunehmen. Auch die anderen unter denselben Bedingungen kultivierten Pflanzen ergaben das gleiche Resultat. Die bei dieser Temperatur vorgenommenen Kulturen schritten nach der Entfaltung mehr und mehr fort, ohne daß in irgendeiner Phase dieses selbst-regulatorischen Entwicklungsganges tagesperiodische Bewegungsbestrebungen bemerk-

lich wurden. Die Pflanzen gingen nach ungefähr 14tägiger kurzschwingender Bewegungstätigkeit zugrunde. Die Spreite war meistens bis zum Ende horizontal oder annähernd horizontal gerichtet. Es traten bei allen unter diesen Bedingungen kultivierten Pflanzen keine tagesperiodischen Bewegungen hervor. Neben diesen mit kurzperiodischen Schwingungen ausgerüsteten Pflanzen erhielt ich eine Anzahl, die sich fast starr verhielten und selbst auf hohe Temperatureinflüsse keine Reaktion oder nur eine ganz schwache zeigten, obwohl die Blätter ganz normal entwickelt waren und gesund aussahen.

Da es nun nicht ausgeschlossen war, daß die Pflanzen bei dieser Temperatur ihren ganzen Entwicklungsgang durchlaufen konnten, ohne daß eine Bewegungstätigkeit tagesperiodisch zum Ausdruck kam, so wurden Kulturen bei höheren Temperaturen zwischen 20—28° mittels elektrischer Heizkörper, die Tag und Nacht in Betrieb waren, vorgenommen.

Kurve 55 zeigt uns die Bewegungstätigkeit einer Pflanze, die bei einer Temperatur von 22—25° kultiviert wurde. Auch in diesem Falle trat eine tagesperiodische Bewegung nicht auf. Die Schwingungen verliefen kurzperiodisch bis zum Absterben der Pflanzen.

Zur Erzielung von Schlafbewegungen, gleichviel ob durch äußere oder innere Ursache hervorgerufen, ist natürlich stets die Existenz eines geeigneten Reaktionsvermögens nötig, welche aus den vorerwähnten Versuchen noch nicht mit Deutlichkeit hervorgeht. Es zeigte sich aber sehr bald auf Grund der folgenden Versuche, daß die Pflanzen durchaus in einem völlig aktionsfähigen und reaktionsfähigen Zustande sich befanden.

Versuch vom 14. 9.—25. 9. 22 (Kurve 56* und 57*). Die Pflanze zeigte bis zum Versuchstage nur kurzperiodische Schwingungen. Am 15. 9. mittags wurde die Temperatur von 16,9° auf 25° erhöht. Infolge dieser Temperaturerhöhung trat nach einiger Zeit eine zwar langsam verlaufende Senkung ein. Nachdem die Pflanze auf diese Temperaturerhöhung geantwortet hatte, wurden die ursprünglichen Temperaturverhältnisse wieder hergestellt. Die entsprechende Gleichgewichtslage wurde allmählich und ohne auffallende Übergangsoszillationen erreicht. Nachdem die Pflanze ihre ursprüngliche Stellung wieder er-

reicht hatte, wurde sie abermals einer erhöhten Temperatur ausgesetzt. Der Erfolg war auch in diesem Falle der gleiche. Am 16. 9. mittags wurde die Temperatur auf 30° erhöht. Bei dieser Temperatur wurde eine bedeutend tiefere Stellung eingenommen als an den Vortagen. Nach Beseitigung des Temperatureinflusses erhob sich die Pflanze ziemlich schnell. An den folgenden zwei Tagen zeigten sich bei konstanter Temperatur von 16,9° noch 2, wenn auch schwach ausgeprägte, so doch deutlich sichtbare Nachschwingungen. Vom 20. 9. ab nahm die Kurve ihren ursprünglichen kurzperiodischen Bewegungsgang wieder an und behielt denselben bis zum Absterben bei. Die Kurve 57 zeigt zugleich, daß auch nach dem Ausklingen der Nachschwingungen nichts von einer tagesperiodischen Bewegungsbestrebung zu erkennen ist. Die Versuche mit erhöhter Temperatur wurden des öfteren wiederholt. So zeigt Kurve 58 das gleiche Bild. Auch hier senkten sich die Blätter infolge der Änderung der Temperatur. Übergangsoszillationen traten weniger in Erscheinung, was wohl auf die langsame Überführung in die neue Temperatur zurückzuführen ist. Auch in den letzten Fällen zeigt es sich also, daß bei den gegebenen Bedingungen in keinem einzigen Falle sich selbsttätig tagesperiodische Bewegungen bemerkbar machten.

Es wurden ferner Untersuchungen vorgenommen, bei welchen eine kurzperiodisch arbeitende Pflanze einer periodisch sich verändernden Temperatur ausgesetzt wurde. Der folgende Versuch gibt über das Ergebnis Aufschluß.

Versuch vom 22. 9.—27. 9. 22 (Kurve 59). Die Kurve zeigte bis zum 21. 9. eine kurzperiodische Bewegung der betreffenden Versuchspflanze. Ab 22. 9. wurde eine tägliche periodische Temperaturveränderung von 16 auf 25° vorgenommen. Die Pflanze zeigte ein gutes Reaktionsvermögen, wie aus der Kurve 59 hervorgeht. Nachdem die ursprüngliche Temperatur von 16,9° wieder hergestellt worden war, rollte sich die Pflanze auf.

Ionisationsversuche.

Den Untersuchungsergebnissen über die Erhöhung der Leitfähigkeit sollen einige allgemeine Bemerkungen über die elek-

trischen Verhältnisse in einem Bergwerk vorangeschickt werden. In Ermangelung der geeigneten Apparate war es mir leider nicht möglich, die elektrischen Zustände in dem von mir benutzten Bergwerk näher zu studieren. Wir müssen uns also hauptsächlich mit theoretischen Überlegungen begnügen, da Untersuchungen über die Elektrizität außerordentlich selten in einem Bergwerk gemacht wurden. Über den gesamten täglichen Verlauf der Leitfähigkeit in einem Bergwerk liegen meines Wissens keine Feststellungen vor. Es wurde verschiedentlich eine starke Zerstreuung in unterirdischen Räumen beobachtet. I. Elster und H. Geitel wurden zu der Vermutung geführt, daß dieselbe auf einer primären Radioaktivität der Wände jener Räume beruhen möchte. Die spätere Entwicklung hat dieser Annahme jedoch nur teilweise recht gegeben. Die Strahlung der Wände ist allgemein von bedeutend geringerem Einfluß als die radioaktive Emanation, die überall im Erdboden verbreitet ist. Dieselbe diffundiert durch die Poren der Wände hindurch und mischt sich mit der eingeschlossenen Luft, wodurch deren Leitvermögen unter Ionenbildung zunimmt. Räume mit undurchlässigen Wänden zeigen meist nur eine geringe Vermehrung der Elektrizitätszerstreuung gegenüber der normalen. Dies fand man bei Untersuchungen in den weiten Hallen des Steinsalz- und Kalibergwerks bei Vienenburg a. H., in dem Zerstreuungsbeobachtungen vorgenommen wurden. Da das Steinsalz als völlig dichter Abschluß gegen Gase aufgefaßt werden kann, so konnte man diese Feststellung leicht so deuten, daß die Steinsalzmassen der sonst im Erdinnern vorhandenen Emanation den Zutritt zu jenen Räumen versperren, ohne selbst Emanation zu bilden. Diese Deutung gewinnt wenig Wahrscheinlichkeit durch die Beobachtungen von Elster und Geitel. Sie fanden, daß die Elektrizitätszerstreuung in einem Steinsalzbergwerk in überraschender Weise wesentlich kleiner war als die normale, wie sie in der freien Atmosphäre oder im Zimmer beobachtet wird. Sie betrug, mittels des Zerstreuungsapparates gemessen und nach der Coulombschen Formel berechnet, etwa 0,1 % pro Minute, während die normalen Werte um 1,3 % liegen. Elster und Geitel sprachen das Steinsalz als einen starken Schirmmantel

an, durch welchen nicht nur die materielle Emanation, sondern auch die γ-Strahlung der das Salzlager einschließenden Erdmassen zurückgehalten würde, ohne selbst durch eigene Radioaktivität diesen Ausfall zu ergänzen. Zieht man die zur Zeit am besten begründete Annahme zu Hilfe, nach welcher die geringe Radioaktivität natürlicher Mineralien auf einer minimalen Beimengung stark aktiver Elemente, speziell des Radiums, beruht, so kann man in der Tat nicht anders erwarten, daß das Steinsalz und die es begleitenden leicht löslichen Salze davon besonders frei sein müssen. Bei der Bildung der Steinsalzlager aus wäßrigen Lösungen wird das Radium zuerst mit dem schwer löslichen Kalziumsulfat ausgefallen sein, während die Chloride der Alkalien und alkalischen Erden erst bei großer Konzentration sich in Form der bekannten Doppelverbindungen ausscheiden konnten. Aus diesem Grunde ist man also vor Radioaktivität in einem Steinsalzbergwerk geschützt. Elster und Geitel stellten Untersuchungen in Hedwigsburg bei Wolfenbüttel an. Die Zerstreuungswerte waren hier ebenfalls sehr klein. In einer Stunde betrug die gesamte Potentialabnahme im Mittel für beide Elektrizitäten und bei einer Anfangsaufladung von 190 Volt etwa 13 Volt. Dies entspricht einem Coulombschen Zerstreuungskoeffizienten von 0,2 % pro Minute. Ferner liegen Beobachtungen in Carnallit vor, wo sich ebenfalls auffallend geringe Werte ergaben. Elster und Geitel stellten ferner Versuche an, bei welchen die Zerstreuung in einem abgeschlossenen Luftraum (Messingglocke) innerhalb und außerhalb eines Bergwerks untersucht wurde. In letzterem Falle wurde die gesamte Apparatur unverändert an die Erdoberfläche gebracht. Es ergaben sich die Spannungsverluste:

Außerhalb des Bergwerks		10,8	Volt,
innerhalb »	»	5,6	»

Eine einfachere Deutung dieser Resultate als durch eine Schirmwirkung des Steinsalzes erscheint nicht möglich.

Ich mußte auf die elektrischen Verhältnisse in einem Steinsalzbergwerk trotz der folgenden negativen Resultate etwas näher eingehen, da dieselben, wie wir gesehen haben, von denen der Erdoberfläche bedeutend abweichen und bei dem Ausbleiben

der periodischen Blattbewegungen in einem Bergwerk immerhin an einen Zusammenhang gedacht werden könnte.

Versuch vom 12. 8.—17. 8. 22 (Kurve 60). Die Versuchspflanze schrieb eine regelmäßige kurzperiodische Kurve. Sie befand sich in einem guten Reaktionszustande. Am 13., 14. und 15. 8., vorm. 6 Uhr, wurde jeweilig die Leitfähigkeit der Atmosphäre durch Thoroxyd erhöht. Eine Veränderung des ursprünglichen Bewegungsbildes zeigte sich jedoch nicht. Die Pflanze vollzog bis zu ihrem Absterben nur kurze Schwingungen.

Diese Versuche wurden öfters wiederholt, brachten aber stets den gleichen Mißerfolg. Ich erspare mir daher, die betreffenden Kurven wiederzugeben. Wir beobachten also hier wiederum dieselbe Erscheinung, welche wir bei den früheren Versuchen gemacht haben, nämlich daß Erhöhung der Leitfähigkeit ohne Belang ist.

Es wurde ferner das Verhalten der an der Erdoberfläche kultivierten Pflanzen im gleichen Bergwerk beobachtet. Es soll gleich auf einen diesbezüglichen Versuch eingegangen werden.

Versuch vom 8. 8.—18. 8. 22 (Kurve 61* und 62*). Es handelte sich um eine Versuchspflanze, welche auf der Erde im Dunkelzimmer bei einer Temperatur von 20° kultiviert worden war. Sie wurde am 7. 8. abends in das Steinsalzbergwerk hinuntergebracht bei gleicher Temperatur. Es zeigte sich, daß die periodischen Bewegungen nach dreimaligem Nachschwingen aufhörten, während die Reaktionsfähigkeit der betreffenden Versuchspflanze voll und ganz erhalten blieb, was sich daraus ergab, daß die Pflanze sich auf eine erhöhte Temperatur hin senkte. Nach Beseitigung des Temperatureinflusses wurde die ursprüngliche Gleichgewichtslage allmählich wieder eingenommen. Die tagesrhythmischen Bewegungen traten nicht wieder in Erscheinung, es zeigten sich nur kurzschwingende Oszillationen. Am 18. 8. wurde die Pflanze auf die Erde geschafft, ging aber beim Transport zugrunde.

Der umgekehrte Versuch, bei welchem das Verhalten der im Bergwerk kultivierten Versuchspflanzen an der Erdoberfläche im Dunkelzimmer beobachtet wurde, wurde ebenfalls öfters angestrebt, gelang aber nur in 2 Fällen, was darauf zurückzuführen ist, daß die Pflanzen auf einem ca. 3000 m langen

Transport zahlreichen Erschütterungen besonders in den Förderkörben ausgesetzt waren. Im Nachfolgenden sollen die beiden Versuche erläutert werden.

Versuch vom 16. 8.—30. 8. 22 (Kurve 63*, 64* und 65*). Die Versuchspflanze befand sich in einem normalen Aktionszustande. Es traten ebenfalls keine tagesperiodischen Schwingungen auf, sondern nur stark verlaufende kurzperiodische. Am 22. 8., mittags 12 Uhr, wurde die Pflanze in vorsichtiger Weise in einer Dunkelkiste an die Erdoberfläche geschafft und in einem im Keller befindlichen Dunkelzimmer weiter beobachtet. Am 24. 8. zeigte sich die erste Andeutung einer Tagesperiode. Vom 25. 8. ab nahm dieselbe einen deutlicheren Charakter an und blieb erhalten. Leider konnte die Pflanze über den 29. 8. hinaus nicht beobachtet werden, da sie infolge einer Versuchsstörung zugrunde ging.

Versuch vom 2. 9.—7. 9. 22 (Kurve 66*). Die Versuchspflanze wurde bei 16,9° im Steinsalzbergwerk kultiviert. Sie zeigte kurzperiodisch verlaufende Schwingungen, befand sich also in einem guten Reaktionszustande. Am 3. 9. wurde sie auf die Erdoberfläche geschafft. Die kurzperiodischen Schwingungen nahmen sehr bald an Ausmaß zu. Am 4. 9. zeigte sich erstmalig ganz deutlich das Auftreten einer Tagesperiode, welche von diesem Tage ab erhalten blieb. Am 7. 9. wurde die Pflanze wieder in die Erde geschafft, um die Tagesperiode dort weiter zu verfolgen. Aber leider hielt die Pflanze den Transport nicht aus.

Es fällt bei der Durchsicht dieser letzten vier Kurven auf, daß die Bewegungen in kleinen, aber starken Oszillationen verlaufen. Man könnte annehmen, daß diese starken Oszillationen das Zustandekommen der Tagesperiode in einem Bergwerk zunächst beeinträchtigt haben, so daß dieselbe erst später sich ausprägte. Ob dem so ist, läßt sich schwer entscheiden. Kurve 66 scheint sehr dagegen zu sprechen, da in diesem Falle die kurzperiodischen Schwingungen an Ausmaß bedeutend zunahmen und sich dann erst die Tagesperiode ausbildete. Außerdem weist bereits Pfeffer[1] darauf hin, daß zwischen den Schlafbewegungen und den kurzperiodischen Schwingungen

[1]) Pfeffer, 1915, S. 135ff.

kein Zusammenhang besteht, daß die Befähigung zu ausgiebigen Schlafbewegungen nicht an den Besitz einer erheblichen kurzperiodischen Bewegungstätigkeit gekettet ist. Pfeffer nimmt an, daß den tagesautonomischen und kurzperiodischen autonomen Bewegungen zwei besondere autogene Anstöße zugrunde liegen. Ebenfalls zeigte sich bei meinen Versuchen, daß die tagesperiodischen Bewegungen an der Erdoberfläche nicht durch eine entsprechende Verlängerung des Rhythmus der kurzperiodischen Bewegungen erzielt wurden, da diese vielmehr beim Eintritt der Schlafbewegungen in der Nacht abnahmen, um am Tage wieder zuzunehmen. Zudem können sich nach meinen Feststellungen die kurzperiodischen Bewegungen der Blätter der im Bergwerk kultivierten Pflanzen in verschiedenen Phasen befinden. Es handelt sich aber auf jeden Fall bei den kurzperiodischen Schwingungen um rein autonome Vorgänge, zumal sie bei den verschiedenen Versuchspflanzen ganz verschieden ausfallen.

Man könnte geneigt sein, die im Bergwerk erzielten Abweichungen auf ein schlechtes Untersuchungsmaterial zurückzuführen. Dem ist aber nicht so, denn die an der Erdoberfläche aus gleichen Samen gezogenen Pflanzen zeigten eine regelmäßige periodische Bewegung. Die Versuchspflanzen der Kurven 63 und 67 stammen z. B. vom gleichen Untersuchungsmaterial. Das Material selbst wurde während der Versuchszeit der ganzen Arbeit von verschiedenen Samenhandlungen bezogen, da das eigene Material des Botanischen Gartens nicht genügte. Wie die Untersuchungen von Stoppel, Karsten und Stålfelt gezeigt haben, erweisen sich rhythmische Erscheinungen unabhängig von den Rasseneigenschaften eines Materials.

Die im Bergwerk kultivierten Versuchspflanzen wurden ebenfalls einer direkten elektrischen Beeinflussung unterworfen. Dabei zeigte es sich, daß selbst schwache elektrische Reize (2 Volt) für die Pflanzen unerträglich waren. Es erübrigt sich daher, näher auf die Versuche einzugehen. Ebenso negativ verliefen die Versuche mit geladenen Gittern. Es wurden alle Spannungsstufen von 110—5000 Volt durchgearbeitet, jedoch ohne Erfolg. Nach den vorher erwähnten Erörterungen über

den Einfluß der Emanation ist ein Erfolg mit geladenen Gittern in einem Bergwerk nicht zu erwarten, da der Emanationsgehalt nur geringe Werte erreichen dürfte. Auch darüber liegen bereits Untersuchungen von Elster und Geitel vor. Beide stellten fest, daß die in bekannter Weise auf ein — geladenes Gitter niedergeschlagene Aktivität eine Aktivierungszahl von 8,5 betrug, während für die freie Atmosphäre am gleichen Versuchsorte Zahlen um 64 gefunden wurden.

Ich untersuchte ferner in größerem Maßstabe den Einfluß von elektrischen und magnetischen Feldern in allen Stärken, aber alles ohne Erfolg. Die Versuchsanordnungen brauchen daher nicht erwähnt zu werden.

Um zu prüfen, ob eine gewisse Steinsalzschicht an der Erdoberfläche als Isolation für unbekannte Faktoren, die das Zustandekommen der Schlafbewegungen verursachen, dienen können, wurde eine Versuchspflanze ringsum mit einer 25 cm dicken Schicht von gestampftem Steinsalz umgeben. Kurve 68 zeigt, daß auch bei dieser Versuchsanordnung die normalen Bewegungen erhalten blieben. Offenbar genügt diese Schicht nicht, um Einflüsse unbekannter Natur abzuhalten. Es fällt auf, daß die Kurve 68 sehr flach verläuft. Ob dies den erwähnten Bedingungen zuzuschreiben ist, habe ich nicht näher untersucht, zumal der Tagesrhythmus deutlich hervortrat. Ob überhaupt das Steinsalz die Hauptrolle bei dem Ausbleiben der Schlafbewegungen spielt, vermag ich nicht zu entscheiden. Es ist möglich, daß dies auch in jedem anderen Bergwerk der Fall ist. Diesbezügliche Versuche in einem Kalibergwerk mußten wegen allzu hoher Feuchtigkeit und zu niedriger Temperatur aufgegeben werden. Gegenwärtig bin ich bemüht, andere Bergwerke für Versuchszwecke zu gewinnen.

Versuche mit grünen Pflanzen.

Sowohl im Anschluß an die Versuche mit etiolierten als auch nebenher wurden Untersuchungen mit grünen Pflanzen vorgenommen. Es handelte sich hierbei um gut gewachsene, kräftig arbeitende Versuchspflanzen von Phaseolus multiflorus wie auch vulgaris. Dieselben wurden an der Erdoberfläche unter normalen Verhältnissen kultiviert und weiter im Bergwerk

zunächst bei wechselnder künstlicher elektrischer Beleuchtung (200 Kerzen) beobachtet. Es kamen vier 50kerzige Osramlampen in 85 cm Entfernung in Anwendung. Die Pflanzen wurden unter einer mit Wasser gefüllten Küvette aufgestellt. Die Gelenke wurden nach der Methodik Pfeffers lichtdicht verdunkelt. Schwächere Pflanzen kamen nicht zur Verwendung, da bei deren Gelenken begreiflicherweise leicht eine störende Hemmung zu erwarten war. Die Versuche, bei welchen unter diesen Bedingungen die Elektrizität (Ionisation, geladene Gitter, elektrische Felder, magnetische Felder) benutzt wurde, verliefen restlos negativ. Besser gestalteten sich die Versuche, bei welchen die Versuchspflanzen mit verdunkelten Gelenken an der Erdoberfläche im Dunkelzimmer bei dauernder Beleuchtung (200 Kerzen) die von Pfeffer gefundenen autonomen tagesperiodischen Bewegungen zeigten und dann zur weiteren Beobachtung in das Bergwerk gebracht wurden, wo sie ebenfalls einer dauernden Beleuchtung und der gleichen Temperatur und dem gleichen Abstand von der Lichtquelle ausgesetzt wurden. (Nach der Methode Pfeffers[1].)

Versuch vom 6. 8.—19. 8. 22 (Kurve 69, 70, 71, 72). Am 5. 8. wurde die Versuchspflanze, welche an der Erdoberfläche mit verdunkeltem Gelenk bei dauernder Beleuchtung nach meinen Beobachtungen drei Tage hindurch eine regelmäßige autonome Bewegungstätigkeit zeigte, in das Bergwerk geschafft und den gleichen Bedingungen ausgesetzt. Das Ausmaß der Bewegungen nahm vom 7. Tage ab allmählich ab. Am 11. 8. waren nur noch kurzperiodische Oszillationen vorhanden. Am 16. 8. wurde die Pflanze wieder anf die Erde geschafft. Die ursprünglichen periodischen Bewegungen kamen von selbst nicht wieder zum Vorschein. Am 17. 8. wurde die Pflanze 12 Stunden verdunkelt. Nach Erhellung trat zunächst eine Senkbewegung ein. Ab 18. 8. wurde wieder Dauerlicht benutzt. Die Pflanze zeigte bis zu ihrem Ende nur noch kurzperiodische Bewegungen.

Versuch vom 1. 8.—13. 8. 22 (Kurve 73, 74, 75). Diese Versuchspflanze befand sich ebenfalls mit verdunkeltem Gelenk an der Erdoberfläche im Dauerlicht. Die Bewegungen konnten zunächst nicht durch Apparatur registriert werden, da sämtliche

[1]) Pfeffer, 1915, S. 57ff.

Registrierapparate besetzt waren. Ich bestimmte ihre Bewegungen daher an 3 Tagen durch Winkelmessung. Kurve 73 zeigt das Ergebnis dieser Beobachtungen. Am 3. 8. wurde die Pflanze in die Erde geschafft und ebenfalls dauernder Beleuchtung und gleicher Temperatur ausgesetzt. Die Ausschläge verringerten sich nach 5 Tagen. Von dort ab zeigten sich nur noch kurzperiodische Bewegungen. Am 13. 8. wurde die Versuchspflanze zur weiteren Beobachtung auf die Erde geschafft, ging aber alsbald nach dem Transport ein.

Bemerken möchte ich, daß Pfeffer bei Phaseolus vulgaris bei dauernder Beleuchtung und verdunkeltem Gelenk periodische Bewegungen bis zu 3 Wochen beobachtete, ohne daß dieselben an Ausmaß abnahmen.

Versuch vom 14. 6.—19. 6. 22 (Kurve 76). Diese grüne Versuchspflanze von Phaseolus multiflorus, welche auf der Erde bei Tageslicht normal arbeitete, wurde am 14. 6. in die Erde geschafft und ihre Bewegungen bei dauernder Dunkelheit registriert. Die Schlafbewegungen lassen alsbald deutlich nach, ohne daß die Versuchspflanze ihre Aktionsfähigkeit einbüßt. Diese Versuche wurden sehr oft wiederholt. Alle zeigten das gleiche Ergebnis. Die Aktionsfähigkeit hielt 6 bis 14 Tage ungestört an. Die normalen periodischen Bewegungen kamen nie wieder zum Vorschein.

Werfen wir einen kurzen Rückblick auf die im Bergwerk erzielten Resultate, so finden wir, daß auch sie nicht geeignet sind, die bei den Schlafbewegungen obwaltenden Verhältnisse zu klären. Daß es sich um äußere Faktoren handeln muß, ist einleuchtend. Welcher Natur diese Faktoren sind, entzieht sich meinen Kenntnissen. Um Elektrizität aber handelt es sich nicht.

Theoretisches.

Ich möchte gleich betonen, daß es mir weniger darauf ankommt, eine neue Theorie aufzustellen, als zu prüfen, inwieweit die Voraussetzungen der bisher aufgestellten Theorien mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit sich vertragen. Die besprochenen Tatsachen legen uns von neuem die Frage vor, ob den als autonom bezeichneten periodischen Bewegungen bei Phaseolus multiflorus diese Bezeichnung in Wirklichkeit zu-

kommt. Es ist mir bei meinen Versuchen nicht gelungen, den maßgebenden Faktor für das Zustandekommen der Schlafbewegungen bei den etiolierten Blättern festzustellen. Daß äußere Faktoren in Frage kommen, kann wegen des synchronen Verlaufes der Bewegungen kaum bezweifelt werden. Daher kann keine Entscheidung getroffen werden, ob äußere Einflüsse nur regulativ wirken oder ob sie für das Zustandekommen der periodischen Schlafbewegungen bedingend sind. Immerhin scheint letztere Annahme die wahrscheinlichere zu sein, da bei den im Bergwerk ausgeführten Versuchen nie eine Andeutung einer tagesperiodischen Bewegungstätigkeit gefunden wurde. Auch dann stellt sich im Steinsalzbergwerk keine autonome tagesperiodische Bewegungstätigkeit ein, wenn willkürlich eine tagesperiodische Veränderung der Luftionisation vorgenommen wird. Es soll aber trotzdem heute keineswegs behauptet werden, daß den etiolierten Blättern von Phaseolus multiflorus die Befähigung zu tagesautonomen Bewegungen überhaupt abgeht. Es könnte ja sein, daß sie im Bergwerk irgendwie unterdrückt worden sind, obwohl allerdings, wie gezeigt werden konnte, die Aktionsfähigkeit der Blätter im Bergwerk keine Einbuße erlitten hat. Es ist jedoch möglich, daß unter anderen Bedingungen, etwa in einem anderen Bergwerk, die in einem aktionsfähigen Zustande erzogenen Blätter von Phaseolus multiflorus tagesperiodische Bewegungen zeigen. Sollte dies in der Tat der Fall sein, so würden damit keineswegs die in dieser Arbeit mitgeteilten Resultate ihre Bedeutung verlieren. In diesem Falle könnte man durch Vergleichen der verschiedenen Bedingungen die maßgebende Ursache vielleicht erkennen. Sollten sich ferner unter bestimmten Umständen autonome tagesperiodische Bewegungen zeigen oder in bestimmter Weise erweckt werden, so wäre damit gezeigt, daß sie für das Zustandekommen der aitiogenen Schlafbewegungen keine maßgebende Bedeutung haben können. Wenn man bei meinen Bergwerksversuchen vielleicht annehmen könnte, daß ein innerlich zeitlich fixierter Rhythmus durch irgendwelche Ursachen nicht zum Ausdruck kommen kann, so zeigen die Versuche, bei welchen die Pflanzen aus dem Bergwerk an die Erdoberfläche geschafft wurden, daß dies wenig Wahrscheinlichkeit in sich birgt. Hierbei traten bei

den betreffenden Versuchspflanzen tagesperiodische Bewegungen in Erscheinung. Hier kann es sich nur um einen Außenfaktor gehandelt haben, der die tagesperiodischen Bewegungen in Gang brachte. Den Einwand, daß irgendwelche Ursachen im Bergwerk das Zustandekommen der Schlafbewegungen verhindert haben, etwa schädliche Gase, die für den Geruch nicht wahrzunehmen sind, darf ich wohl ablehnen, da die im Bergwerk kultivierten Pflanzen durchaus normal aussahen und zudem das Wachstum derselben sich keineswegs abweichend verhielt. Das Ausbleiben bzw. das Schwinden der Tagesautonomie kann darum nicht auf unzureichenden Bedingungen beruhen, durch die natürlich ebenfalls ein Stillstand unter gewissen Umständen hervorgerufen werden kann. Außerdem befinden sich die Blätter in einem guten Reaktionszustande, wie die Versuche dartun, was auch für ein gesundes Befinden spricht. Der Einwand, daß die kurzperiodischen autonomen Bewegungen, welche bei vielen Versuchen sehr stark ausgeprägt sind, die normale periodische Bewegungstätigkeit beeinflußt haben, birgt wenig Wahrscheinlichkeit in sich, da die Pflanzen mit weniger stark ausgeprägten Oszillationen sich gleich verhalten. Auf die sonstigen Gründe wurde bereits an früherer Stelle eingegangen. Was die Natur der kurzperiodischen Schwingungen betrifft, so wurden sie von mir nicht weiter untersucht, da dieselben nicht immer deutlich zum Vorschein kommen. Wir dürfen aber annehmen, daß es sich hier um rein autonome Bewegungen handelt, zumal dieselben bei gleichzeitig registrierten Objekten einen ganz verschiedenartigen Gang haben können. Meine Versuchsresultate sprechen also im ganzen gegen die Existenz, oder vorsichtiger ausgedrückt, doch gegen eine reale Betätigung einer tagesautonomen Bewegungstätigkeit bei den etiolierten Blättern von Phaseolus multiflorus.

Die Verhältnisse bei den etiolierten Blättern wären also, abgesehen von dem noch unbekannten maßgebenden Faktor, relativ einfach. Wie verhält es sich nun mit den grünen Pflanzen? Ich bin mir wohl bewußt, daß noch viel mehr Versuche nötig sind, um hier Klarheit zu schaffen. Jedoch erscheinen die erzielten Versuchsresultate immerhin interessant genug, besprochen zu werden. Wir sahen, daß grüne Pflanzen, welche an der Erd-

oberfläche bei dauernder Beleuchtung periodische Bewegungen zeigten, im Bergwerk diese Bewegungen nach einigen Tagen aufgaben. Da das Aktionsvermögen ebenfalls hier im vollen Maße erhalten blieb, kann es sich nicht um Starre-Erscheinungen gehandelt haben. An die Erdoberfläche zurückgeschafft, habe ich das selbständige Auftreten der periodischen Bewegungen bei dauernder Beleuchtung zwar nicht beobachten können. Wäre dies der Fall gewesen, so läge hier dieselbe Erscheinung vor, wie bei den etiolierten Blättern. Da die Versuche der großen Transportschwierigkeiten wegen nur in geringer Anzahl ausgeführt werden konnten, vermag ich nicht zu entscheiden, inwieweit durch auf dem Transport erlittene Störungen die normalen Bewegungen beeinflußt worden sind. Jedenfalls aber steht fest, daß die periodischen autonomen Bewegungen der grünen Blätter im Bergwerk sehr bald nachließen, um kurzperiodischen Schwingungen Platz zu machen. Die Versuche mit den ins Dunkle gesetzten grünen Pflanzen, deren Schwingungen an der Erdoberfläche bis 18 Tage anhalten können, dagegen im Bergwerk sehr bald nachließen, können zur Erklärung wenig Verwendung finden, zumal ihre Aktionsfähigkeit ganz verschieden sich verhielt. Es können hier Starre-Erscheinungen eine Rolle gespielt haben. Auch darf man nicht vergessen, daß wohl jede Bewegungstätigkeit bei der Überführung in eine andere konstante Außenbedingung in verschiedener Weise modifiziert wird. Dies gilt auch für die Bergwerksversuche. Ich darf daher vorläufig keinen zu hohen Wert auf die Versuche mit den grünen Pflanzen legen. Vielleicht können sie für die Klärung der obwaltenden Verhältnisse später noch von einigem Nutzen werden. Tiefer wird man aber in dieses Studium eindringen können, wenn man sowohl bei dauerndem als auch bei tagesperiodisch wechselndem Licht in einem Bergwerk Kulturen vornehmen und deren Verhalten nach Entfaltung beobachten würde. Dann ließe es sich feststellen, ob Pflanzen, die bei wechselnder Beleuchtung kultiviert werden, in dauerndem Licht bei verdunkeltem Gelenk eine autonome Bewegungstätigkeit zeigen oder nicht. Ich wage anzunehmen, daß sie ausbleiben würden. Leider hinderte die relativ kurze Zeit mich, dieser Frage näherzutreten. Wenn ich

die Möglichkeit haben werde, beabsichtige ich, meine Untersuchungen in gewissen Punkten zu erweitern.

Wenden wir uns nun der Ansicht Stoppels zu, so brauchen wir keinen Anstand zu nehmen, ihrer Meinung, daß ein Außenfaktor für das Zustandekommen der periodischen Bewegungen in Frage kommt, beizustimmen. Stoppel gebührt das Verdienst, den Autonomiebegriff Pfeffers eingeengt zu haben.

Beanspruchen wir nun einen Außenfaktor für das Auftreten der Schlafbewegungen bei den etiolierten Blättern von Phaseolus multiflorus, so dürfen wir das gleiche auch für die grünen Blätter verlangen. Stoppel hat zwar bisher die periodischen Bewegungen bei grünen Pflanzen mit verdunkeltem Gelenke bei ihren Versuchen nicht berührt. Die Bergwerksversuche drängen mich aber zu einer Erklärung. Wir wissen aus den Untersuchungen Pfeffers, daß die grünen Pflanzen bei dauerndem Licht mit verdunkeltem Gelenk tagesautonome Bewegungen ausführen. Diese Tatsache veranlaßte Pfeffer, seine frühere Auffassung über das Zustandekommen der Schlafbewegungen zu ändern. Pfeffer konnte nicht anders, als diese Bewegungen als autonom anzusprechen, da er das etwaige Vorkommen von äußeren unbekannten Faktoren in keinem Falle in Erwägung gezogen hat. Somit ist es auch verständlich, daß er keinen Wert auf die Zeitpunkte wie auf die Größe der Amplituden der Bewegungen gelegt hat. Dies muß aber heute unsere erste Forderung sein. Die Untersuchungen Pfeffers zeigen zwar, daß genannte autonome Bewegungen nicht synchron verlaufen, es kommen erhebliche Abweichungen vor. Die eine Pflanze hat bald ihr Maximum zu einer Tagesstunde, bei welcher die andere ihr Minimum hat. Die Zeitpunkte weichen also von den Zeitpunkten der Bewegungen der etiolierten Blätter ab. Aber das Ausmaß der Bewegungen läßt darauf schließen, daß es sich bei den Bewegungen der grünen Pflanzen im Dauerlicht noch um etwas anderes handeln muß, daß hier ebenfalls ein äußerer Reiz mitspielt. Wenn auch mit dieser Ansicht die Tatsache, daß die Senkungsmaxima zeitlich verschieden liegen, im Widerspruch steht, so dürfen wir daraus allein noch keine Schlüsse ziehen. Wir können eben den Schlafbewegungen nicht ansehen, wie sie zustande kommen. Jedenfalls müssen wir

in jedem Falle, abgesehen von den unbekannten Außenfaktoren, mit Nachschwingungen rechnen, was aus den Bergwerksversuchen mit Deutlichkeit hervorgeht. Um bloße Nachwirkungen handelt es sich bei den Untersuchungen Pfeffers aber nicht, denn nyktinastische Nachwirkungen klingen bekannterweise verhältnismäßig schnell aus. Die uns entgegentretenden Bewegungen bei den grünen wie bei den etiolierten Blättern ergeben sich als Resultante aus dem Zusammengreifen der Nachschwingungen und der äußeren Faktoren. Es sei bemerkt, daß Pfeffer auch nicht mit dem Nachweis, daß die Blätter von Phaseolus zu autonomen tagesperiodischen Bewegungen befähigt sind, die Beteiligung dieser beim Zustandekommen der Schlafbewegungen verlangt hat, da er feststellte, daß dieselben nicht zum Ausdruck kommen, wenn die Pflanze photonastisch in Anspruch genommen ist. Ebenfalls bedauerte es Pfeffer[1], keine Bedingungen hergestellt zu haben, unter welchen die tagesautonomen Bewegungen ausgeschaltet würden. Nehmen wir an, daß im Bergwerk solche Bedingungen gegeben sind, so müssen wir damit auch zugeben, daß die von Pfeffer beobachtete autonome Bewegung bei den grünen Pflanzen im Dauerlicht in Wirklichkeit durch äußere Faktoren hervorgerufen wird. Man findet daher in einem Bergwerk einen Weg, die Nachschwingungen besonders zu beobachten. Bemerken möchte ich, daß man allerdings die Nachschwingungen, die in einem Bergwerk auftreten, auch als autonom bezeichnen könnte, da sie ja nicht durch äußere Reizanstöße veranlaßt werden, sondern von der Eigentätigkeit des Organismus hervorgerufen werden. Pfeffer bezeichnete die Nachschwingungen aber nicht als autonome Bewegung.

Untersuchen wir nun, ob bei den früheren Untersuchungen über periodische Vorgänge bereits Anzeichen vorhanden sind, welche ebenfalls auf einen äußeren Faktor schließen lassen. Dies scheint in der Tat der Fall zu sein. Bei den Untersuchungen über Kernteilungen von Karsten drängt sich uns ebenfalls ein Außenfaktor auf. Karsten fand, daß das Maximum von Kernteilungen bei Zea etwa um 4 Uhr morgens erreicht wurde. Sie weisen in ihrem Verhalten die größte Ähnlichkeit

[1]) Pfeffer, 1915, S. 124ff.

mit den Ergebnissen bei Phaseolus auf. Karsten sucht zwar die Ursache in einer induzierten und vererbten Lichtwirkung. Aber die Lichthypothese ist heute nicht mehr so hoch zu bewerten wie früher, da sich durch direkte Versuche gezeigt hat (Stålfelt 1921), daß die Zellteilungsintensität und der rhythmische Verlauf derselben nicht völlig von einem Lichtwechsel beherrscht werden. Es ist aus diesen Versuchen, auf welche hier nicht näher eingegangen werden kann, deutlich zu ersehen, daß äußere Faktoren von größerem Einfluß als das Licht vorhanden sein müssen.

Werfen wir noch einen Blick auf die sonstigen tagesperiodischen autonomen Vorgänge. Es sind bekanntlich ihrer nicht wenige. Ich muß mich auf die bedeutendsten beschränken. Ich nenne die Zuwachsbewegung dunkelgesetzter Pflanzen, die Atmungstätigkeit der grünen Laubblätter im Dunkeln, die Transpiration ins Dunkle oder dauerndes Licht gebrachter Pflanzen, die Wasserversorgung durch die Wurzeln im Dunkeln. Bei diesen Beobachtungen hat man bisher noch nicht zu entscheiden versucht, ob die Periode lediglich eine Nachwirkung einer vorausgegangenen aitiogenen Periodizität ist oder nicht. Im Gegensatz hierzu gibt es eine Anzahl von periodischen Vorgängen, die unter von der Keimung konstant gehaltenen Bedingungen beobachtet wurden. Abgesehen von den bereits erwähnten Verhältnissen bei Phaseolus und den Kernteilungen Karstens sei hier auf die Atmung von Weizenkeimlingen (Spoehr), die Blutungstätigkeit dekapitierter Brassica-Pflanzen (Romell), die Zellteilungen (Stålfelt) aufmerksam gemacht. Interessant ist, daß Dauerlichtpflanzen eine sehr ausgeprägte Tagesperiodizität in der Blutungskurve aufweisen, welche ebenso scharf markiert ist wie die unter normalem Tageswechsel erzogenen. Die Amplituden weichen ebenfalls nicht voneinander ab. Die Lage der Maxima und Minima läßt sich auf die Stunde genau feststellen. Es kommt nach Romell nicht vor, daß die Maxima einer Pflanze in dieselbe Tagesstunde fallen, wo die andere ihr Minimum hat. Ob es sich bei all den vorerwähnten Fällen um eine auf der Stelle induzierte Periodizität handelt, die also nicht etwa eine Nachwirkung darstellt, wurde im allgemeinen nicht entschieden. Die Versuche, die in dieser Rich-

tung unternommen wurden, schlugen meistens fehl. Erwähnen möchte ich, daß auch die Untersuchungen, die von Romell unter Anlehnung an die Auffassung Stoppels unternommen wurden, fehlschlugen. Die Kurven setzten in den meisten Fällen ihren Gang ungestört fort. Andere Versuche führten weder zu positiven, noch negativen Ergebnissen. Es dürften aber auch manche Mißerfolge auf eine unglückliche Wahl von Versuchspflanzen wie auf individuelle Differenzen zurückzuführen sein. Vielleicht handelt es sich in diesen Fällen, wie überhaupt bei den periodischen Vorgängen, um ein und dieselbe Ursache. Auch ist es nicht ausgeschlossen, daß bei weiterem Studium noch andere tagesautonome Vorgänge sich zeigen, die zur Aufklärung beitragen können. Aber dieses sind nur Vermutungen, die uns heute wenig nützen. Vielleicht kommen wir weiter, wenn wir die bisher beobachteten Perioden einer Nachprüfung unter anderen Bedingungen, wie ich sie in einem Bergwerk angestrebt habe, untersuchen würden.

Ein periodischer Vorgang, nämlich die Tagesautonomie der Calendula-Blüten, wurde bisher nicht erwähnt. Wenn wir auch diesen Fall in gewissem Sinne an die bisher erwähnten Periodizitäten anschließen können, so steht er dennoch in anderer Hinsicht zu ihnen in scharfem Gegensatz. Bei Calendula liegen die Verhältnisse relativ einfach und übersichtlich. Wir bedürfen hier zur Erklärung nicht unbedingt eines Außenfaktors. Dennoch weist Stoppel[1] in neuester Zeit darauf hin, daß es sich hier ebenfalls um elektrische Reize handeln müsse. Experimentell wurde dies von Stoppel nicht ausgeführt. Ob es sich bei der Tagesautonomie der Calendula-Blüten um dieselben Vorgänge wie bei Phaseolus handelt, läßt sich heute noch nicht voraussagen. Dies müssen weitere Untersuchungen aufklären. Man braucht nicht unbedingt aus einer gewissen Ähnlichkeit im reaktionellen Verhalten auf eine Übereinstimmung in bezug auf das Vorhandensein oder Fehlen der tagesautonomen Befähigungen zu schließen.

Im allgemeinen haben die periodischen Vorgänge die verwickeltsten Deutungen erfahren. Es ist unmöglich, all diese Meinungen aufzuzählen. Die Hypothese der erblichen Nach-

[1]) Stoppel und Trumpf, 1922, S. 12.

wirkung wurde von Stoppel widerlegt, da sich außereuropäische Samen in ihrem rhythmischen Verlaufe mit den europäischen gleich verhielten. Im Grunde genommen gilt dies zwar nicht als direkter Beweis, denn das europäische und außereuropäische Material stammt ursprünglich vermutlich aus einer Heimat. Die zähe Nachwirkung durch eine oder mehrere Generationen hindurch birgt indessen nicht viel innere Wahrscheinlichkeit in sich. Es steht uns in der Tat keine andere Erklärung zur Verfügung als äußere, wenn auch unbekannte, periodische Faktoren in Anspruch zu nehmen. Welcher Art diese Außenfaktoren sind, vermag ich heute noch nicht zu sagen. Sie dürften sich wohl der physikalischen Forschung bisher entzogen haben. Naheliegend ist es, hierbei an physiologisch wirksame Strahlen zu denken. Darum läßt sich auch noch nicht entscheiden, ob diese Außenfaktoren von der Wirkung des Lichtes zu trennen sind. Es scheint hier ein Angriffspunkt für die Erforschung unbekannter Phänomene gegeben zu sein, die im vitalen Geschehen der Pflanzen und vielleicht der Lebewesen überhaupt eine maßgebende Rolle spielen müßten.

Schließlich möchte ich nochmals betonen, daß die von mir ausgeführten Versuche in einem Bergwerk lediglich einen Versuch darstellen, die bei den Schlafbewegungen obwaltenden Verhältnisse einer Gesetzmäßigkeit zu unterwerfen. Es sind, wie bereits erwähnt, noch mehr Untersuchungen nötig, um hier Klarheit zu schaffen. Erst wenn das Beobachtungsmaterial ganz geklärt ist, wird man endgültig über das Zustandekommen der Schlafbewegungen urteilen dürfen. Meine Untersuchungsergebnisse sollen daher nicht zu hoch bewertet werden, zumal die mitgeteilten Resultate zunächst nur für die angewandten Versuchsbedingungen gelten, ich also auch nicht weiß, ob unter anderen Verhältnissen gleiche oder verschiedenartige Erfolge erzielt werden. Es liegt hier noch ein großes Arbeitsfeld offen.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

Die Feststellung Stoppels, wonach das Senkungsmaximum der etiolierten Blätter von Phaseolus multiflorus meistens in den frühen Morgenstunden liegt, wird bestätigt.

Die Störungen, welche Stoppel durch Isolation, Erdung, geladene Gitter usw. erzielte, konnten von mir unter den gleichen Bedingungen weder bei etiolierten noch bei grünen Pflanzen hervorgerufen werden (Kurve 5, 6, 7, 8, 11, 12, 31, 32, 34, 35, 36).

Die im Zinkkasten hervorgerufenen Bewegungsveränderungen sind durch die chemische Natur des Metalls bedingt (Kurve 13, 14, 15, 16).

Das Maximum der Leitfähigkeit stimmt zwar an vielen Tagen mit dem Senkungsmaximum der Blätter überein, während die Kurvenbilder der beiden Perioden sonst stark voneinander abweichen (Kurve 25, 26).

Erhöhungen der Leitfähigkeit durch radioaktive Präparate, Höhensonne und Röntgenröhre können den normalen Rhythmus der Bewegungen der etiolierten und grünen Blätter nicht beeinflussen (Kurve 21, 22, 23, 24, 27, 28, 39, 40).

Direkte längere Bestrahlung mit radioaktiven Präparaten, hauptsächlich der Gelenke der Pflanzen, ruft teils eine vorübergehende Störung in der Bewegungstätigkeit hervor, teils veranlassen sie ein schnelles Absterben der Versuchspflanzen (Kurve 29, 30, 38, 39, 40). In einem Bleikasten verlaufen die Bewegungen ungestört (Kurve 31).

Steigerungen des natürlichen Emanationsgehaltes der Luft ruft bei etiolierten und grünen Pflanzen eine vorübergehende Störung in den Bewegungen hervor. Die Ausschläge können durch die Emanation verstärkt werden (Kurve 44—52).

Die durch Stoppel erzielten Resultate mit geladenen Gittern sind wahrscheinlich auf eine direkte Strahlenwirkung der Emanation zurückzuführen. Der Emanationsgehalt ist in der Schweiz (Basel, Hauptversuchsort Stoppels) besonders hoch, dagegen in Würzburg, wo vorliegende Versuche ausgeführt wurden, sehr gering. Infolgedessen ist in letzterem Falle der Niederschlag der Emanation auf geladene Gitter so unbedeutend, daß eine Strahlenwirkung der Zerfallsprodukte auf die Pflanzen ausbleibt.

Emanation kommt als direkter maßgebender Faktor aber nicht in Frage.

In einem Steinsalzbergwerk kultivierte etiolierte Versuchspflanzen zeigen keine tagesperiodischen Bewegungen. Die

Aktionsfähigkeit der Pflanzen bleibt im Bergwerk erhalten, was daraus hervorgeht, daß die im Bergwerk kultivierten Versuchspflanzen gut auf Temperatureinflüsse reagieren.

Periodisches Erhöhen der normalen Leitfähigkeit der Atmosphäre in einem Bergwerk kann die Tagesperiode nicht erwecken.

Werden auf der Erde kultivierte etiolierte Pflanzen ins Bergwerk geschafft, so klingen die tagesperiodischen Bewegungen nach kurzer Zeit ab, um in kurzperiodische überzugehen. Die Aktionsfähigkeit dieser Pflanzen bleibt erhalten.

Werden im Bergwerk kultivierte etiolierte Pflanzen an die Erdoberfläche (Dunkelzimmer) gebracht, so treten die periodischen Bewegungen alsbald in Erscheinung.

Weder elektrische Ladungen noch elektrische Felder beeinflussen die kurzperiodischen Bewegungen der Bergwerkspflanzen.

Werden grüne Pflanzen, die an der Erdoberfläche bei verdunkeltem Gelenk einer Dauerbeleuchtung ausgesetzt waren, ins Bergwerk gebracht und unter den gleichen Bedingungen wie an der Erdoberfläche behandelt, so klingen die tagesperiodischen autonomen Bewegungen bald ab, ohne daß die Aktionsfähigkeit der Pflanzen geschwächt wird. Werden diese Versuchspflanzen wieder an die Erdoberfläche geschafft, so treten die Bewegungen nicht von selbst wieder in Erscheinung. Die Nachschwingungen der grünen Pflanzen, welche auf der Erde bis 19 Tage anhalten können, hören im Bergwerk nach wenigen Tagen auf, obwohl sich die Aktionsfähigheit der Pflanzen noch sehr lange erhält.

Die Elektrizität kommt für das Zustandekommen der Schlafbewegungen nicht in Frage. Es handelt sich um einen noch unbekannten Faktor[1].

Zum Schluß danke ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Kniep, für die freundliche Überlassung des Themas und die weitgehende Unterstützung in jeder Hinsicht.

[1]) Der zweite Teil dieser Arbeit: »Der Einfluß der Röntgenstrahlen auf die Variationsbewegungen von verschiedenen Pflanzen« konnte der hohen Druckkosten halber nicht aufgenommen werden. Interessenten steht derselbe stets gern zur Verfügung.

Den Herren Professoren Dr. Wagner und Harms spreche ich für die Überlassung von Instrumenten und für die erteilten physikalischen Ratschläge meinen besten Dank aus.

Ebenso bin ich Herrn Oberinspektor Niehus für das mir stets bewiesene Entgegenkommen zu Dank verpflichtet.

Würzburg, Botanisches Institut.

Literaturangabe zum I. Teil.

Axmann, Hans, Über die Radioaktivität. Deutsche med. Woche. 1905.

Baeger, Über die physiologische Wirkung der Becquerelstrahlen. Zeitschr. f. allg. Physiol. 1904. **4.**

Bayet, Le Radium, Ses effets thérap. Bruxelles. 1910.

Becker, A., Ein neuer Emanationsapparat. Zeitschr. f. Baln. 1910. S. 331.

Bergell, Über Emanation. Deutsche med. Woche. 1905. Nr. 35.

—, Die Radioaktivität. Zeitschr. f. Baln. 1908.

Bernstein, J., Elektrobiologie. Braunschweig. 1920.

Bland, Experimentelle Untersuchungen über Radiumwirkung. Beitr. z. klin. Chirur. 1905.

Braunstein, Wirkung der Radiumemanation usw. Deutsche med. Wochenschr. 1905. Nr. 17.

Elster u. Geitel, Beiträge zur Kenntnis der atmosph. Elektr. Physikal. Zeitschr. 1900. I. Jahrg. S. 245.

—, —, Ebenda. 1900. **2,** 116. 1901. 590.

—, —, Ebenda. 1903. **4,** 522.

Godlewski, G., Über die tägliche Periodizität des Längenwachstums. Bull. intern. de l'Acad. d. Sciences. Krakau 55. 1889.

Gockel, H., Die Luftelektrizität. Leipzig. 1908.

Haake, O., Über die Ursache elektrischer Ströme in Pflanzen. Flora. 1892. **72,** 454 ff.

Kähler, K., Luftelektrizität. Sammlung Göschen. 1921.

Kallicott, W. E., The daily periodicity of celldivision and of elongation in the root of Allium. Bull. Torrey Bot. Club. 1904. **31,** 529.

Karsten, G., Über embryonales Wachstum und seine Tagesperiode. Zeitschr. f. Bot. 1915. **7.**

—, Über die Tagesperiode der Kern- und Zellteilungen. Ebenda. 1918. **10.**

Klein, B., Zur Frage über die elektrischen Ströme in Pflanzen. Ber. d. d. bot. Ges. 1898. **16,** 355 ff.

Körnicke, M., Die Wirkung der Radiumstrahlen auf die Keimung und das Wachstum der Pflanzen.

Loewenthal, J., Grundriß der Radiumtherapie. Wiesbaden. 1912.

London, E. S., Das Radium in der Biologie und Medizin. Leipzig. Akad. Verlagsgesellschaft. 1911.

Lossen, Die biologische Wirkung der Röntgen- und Becquerelstrahlen. Urban u. Schwarzenberg. 1907.

Mache u. Schweidler, Die atmosphärische Elektrizität. Braunschweig. 1909.

Meyer, A., u. Deleano, Die periodische Tag- und Nachtschwankung der Atmungsgröße im Dunkeln befindlicher Laubblätter und deren vermutliche Beziehung zur Kohlensäureassimilation. I. Teil. Zeitschr. f. Bot. 1911. **3**, 657. II. Teil. Ebenda. 1913. **5**, 209.

Molisch, H., Das Treiben der Pflanzen mittels Radium. Sitzgsber. Ak. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. 1912. **121**.

Pfeffer, W., Periodische Bewegungen. Leipzig. 1875.

—, Untersuchungen über die Entstehung der Schlafbewegungen. Abh. K. Sächs. Ges. 1907.

—, Beiträge zur Kenntnis der Entstehung der Schlafbewegungen. Abh. d. math.-phys. Klasse d. K. Sächs. Ges. d. Wiss. 1915. **34**.

Romell, A., Eine neue anscheinend tagesautonomische Periodizität. Svensk bot. tidskr. 1918. **12**, 446.

Rutherford, E., Die Radioaktivität. J. Springer. 1907.

Schmidt, H. E., Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung kleiner und großer Strahlenmengen auf die Zellen. Ber. klin. Wochenschr. 1910. **21**.

Semon, R., Über die Erblichkeit der Tagesperiodizität usw. Biolog. Zentralbl. 1905. **25**, 241.

Schweidler u. Sperlich, Die Bewegung der Primärblätter bei etiolierten Keimpflanzen von Phaseolus multiflorus. Zeitschr. f. Bot. 1922. **14**, 578ff.

Stålfelt, M. G., Über die Schwankungen in der Zellteilungsfrequenz bei den Wurzeln von Pisum sativum. Svensk bot. tidskr. 1919. **13**, 61.

—, Ein neuer Fall von tagesperiodischem Rhythmus. Ebenda. 1920. **14**, 186.

—, Die Beeinflussung unterirdisch wachsender Organe durch den mechanischen Widerstand des Wachstumsmediums. Arch. f. Bot. K. Svenska Vetenskapsakamien. Stockholm. 1920. **16**, 1.

Stoppel, R., Über die Bewegungen der Blätter von Phaseolus bei Konstanz der Außenbedingungen. Ber. d. d. bot. Ges. 1912. **30**.

—, Die Abhängigkeit der Schlafbewegungen von Phaseolus multiflorus von verschiedenen Außenfaktoren. Zeitschr. f. Bot. 1916. **8**, 608.

—, Leitfähigkeit und Ionengehalt der Atmosphäre in geschlossenem Raum bei konstanten Licht- und Temperaturverhältnissen. Nachr. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, math.-phys. Kl. 1919.

—, Die Pflanze in ihrer Beziehung zur atmosphärischen Elektrizität. Zeitschr. f. Bot. 1920. **12**, 529.

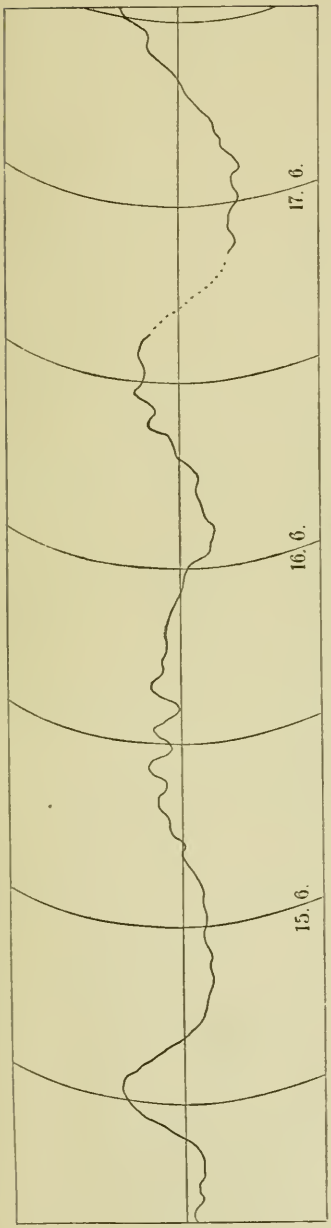
—, u. Kniep, H., Weitere Untersuchungen über das Öffnen und Schließen der Blüten. Ebenda. 1911. **3**, 368.

Sury, Über die Radioaktivität einiger Schweizer Mineralquellen. Freiburger Diss. 1906.

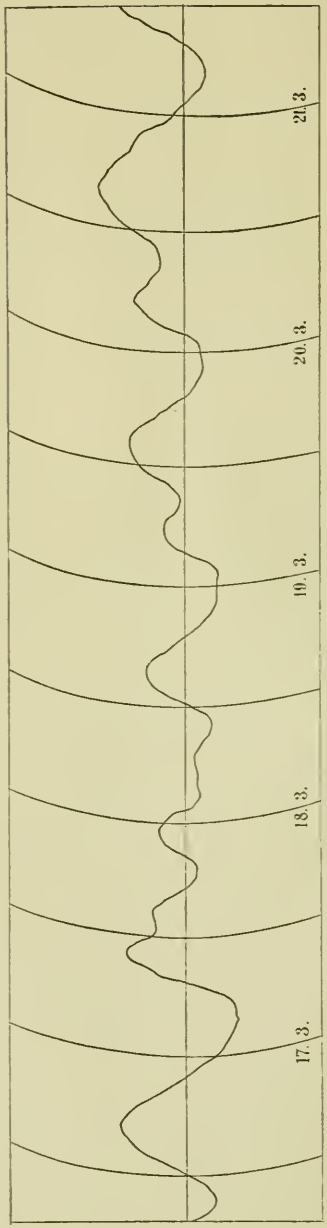
Wickham u. Degrais, Radiumtherapie. Berlin. 1910.

Kurve 1. Statistische Übersicht über den Zeitpunkt des Senkungsmaximums an 128 Tagen von 25 etiolierten Phaseolus-Pflanzen. Auf der Abszisse sind die Zeitpunkte in Stunden, auf der Ordinate die Anzahl der Senkungsmaxima in der betreffenden Stunde eingetragen (Maßstab 0,5 cm).

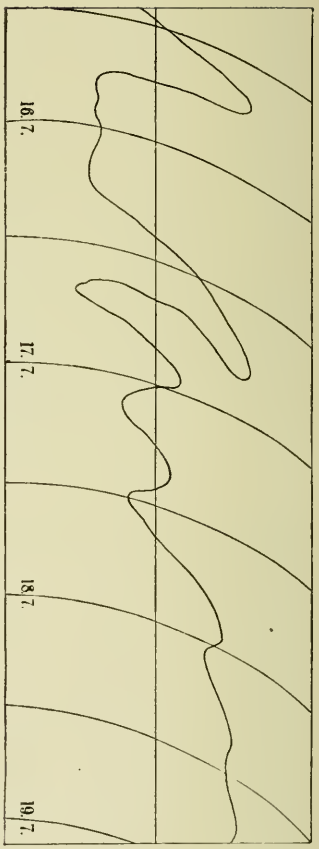
Kurve 2. Das Mittel des Senkungsmaximums von 25 ganzen Kurven. Auf der Abszisse sind die Zeitpunkte in Stunden, auf der Ordinate das Mittel des Senkungsmaximums der 25 Kurven eingetragen (Maßstab 1 cm).



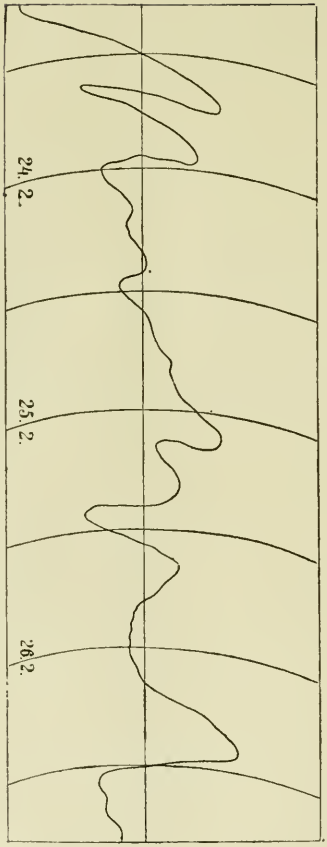
Kurve 7 (Erklärung Text S. 599).



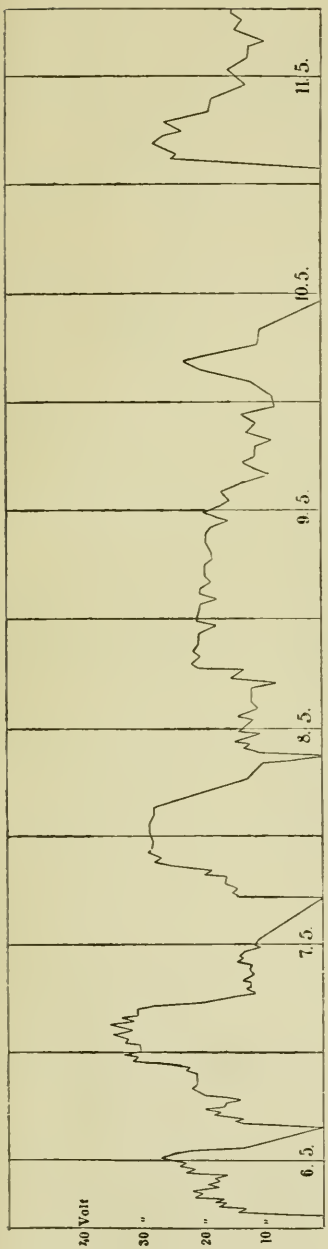
Kurve 9 (Erklärung Text S. 600).



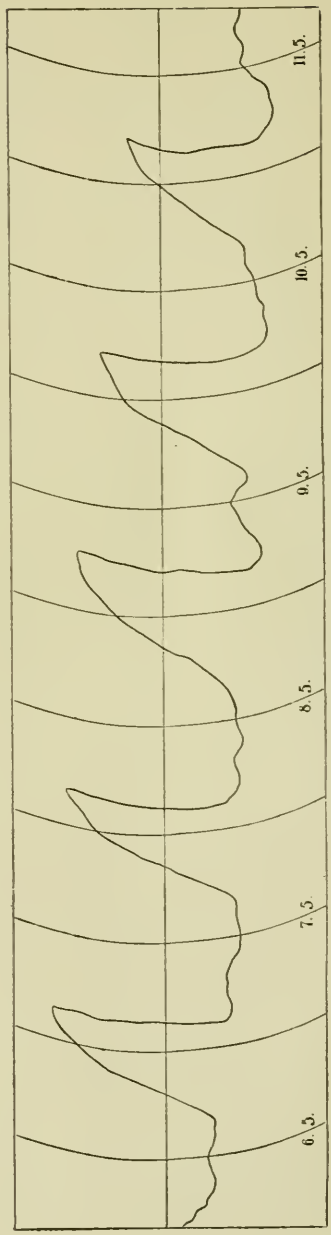
Kurve 19 (Erklärung Text S. 604).



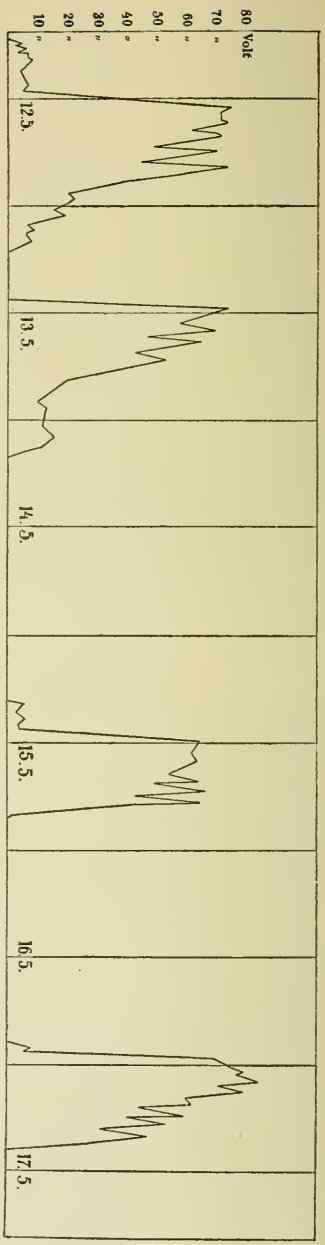
Kurve 20 (Erklärung Text S. 604).



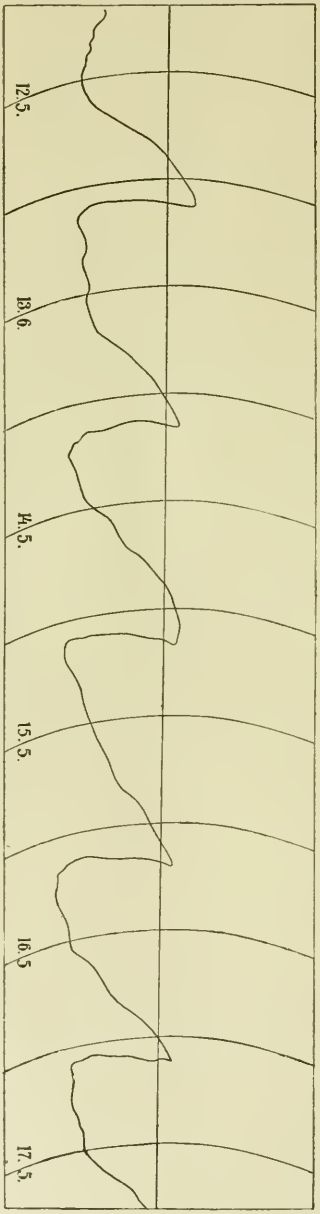
Kurve 25 (Erklärung Text S. 609).



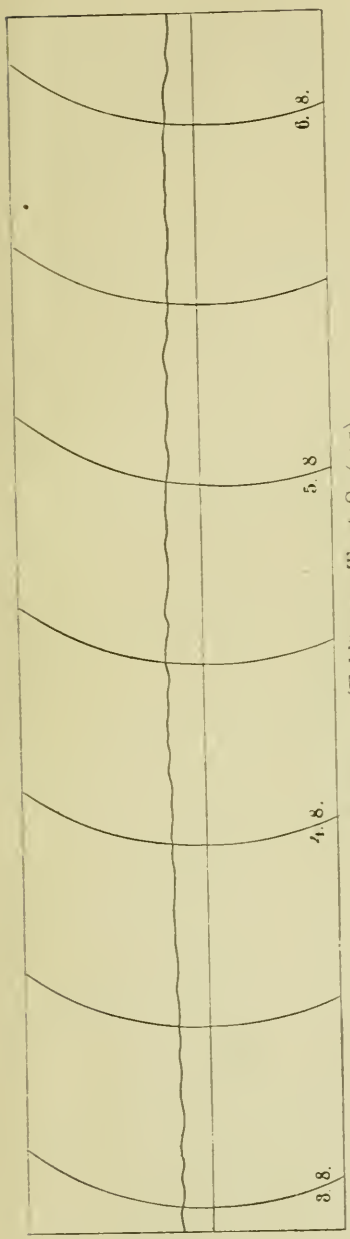
Kurve 26 (Erklärung Text S. 610).



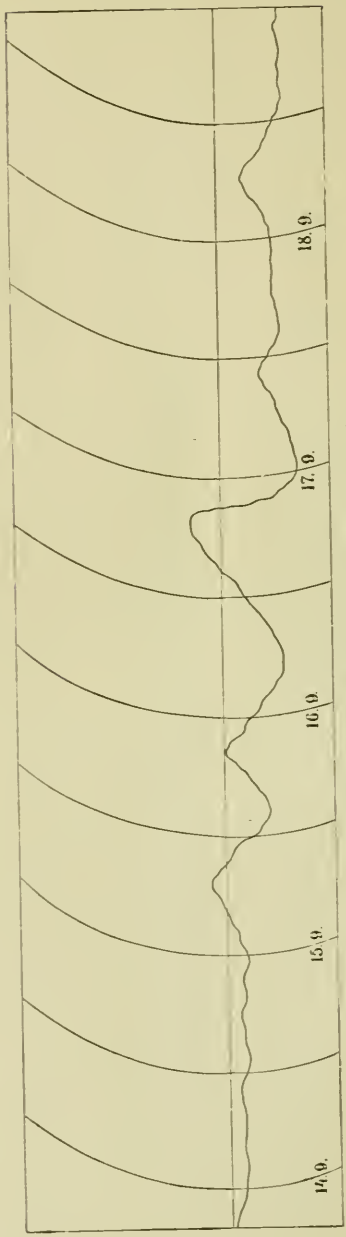
Kurve 27 (Erklärung Text S. 610).



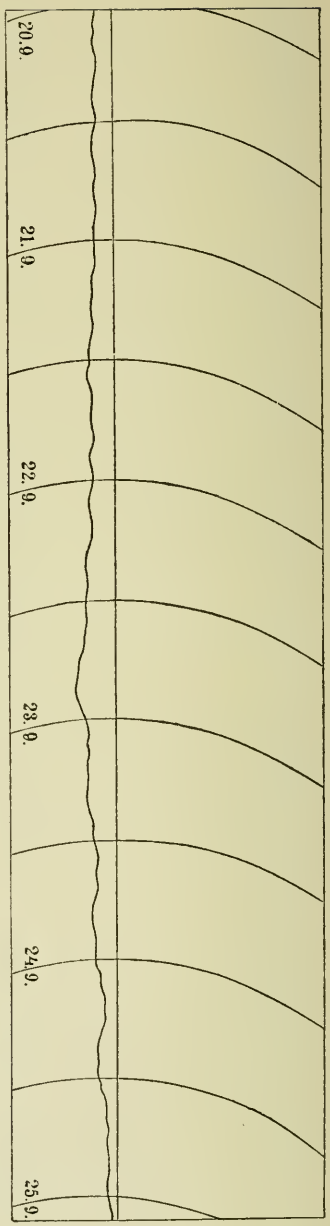
Kurve 28 (Erklärung Text S. 610).



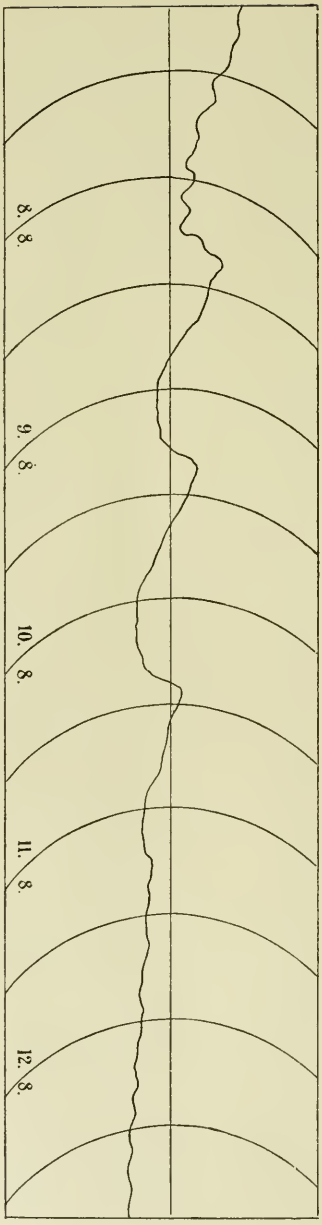
Kurve 53 (Erklärung Text S. 625).



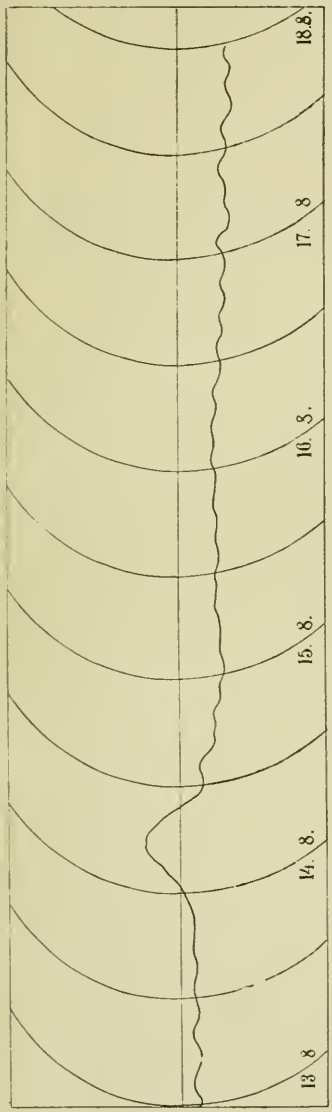
Kurve 56 (Erklärung Text S. 626).



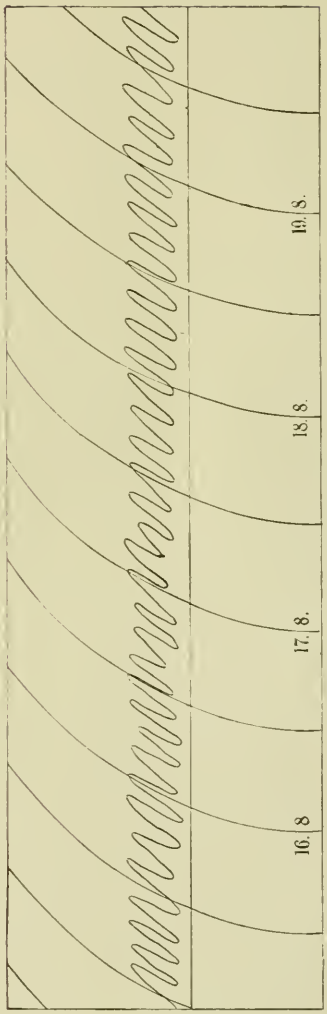
Kurve 57 (Erklärung Text S. 626).



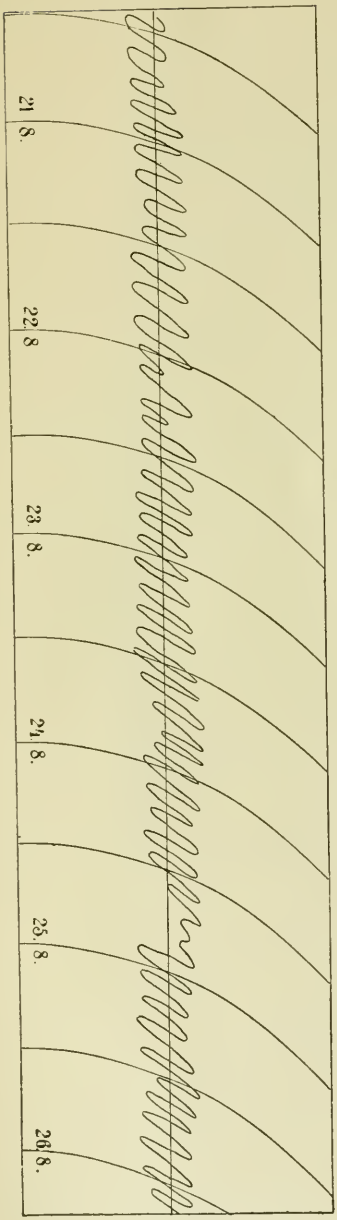
Kurve 61 (Erklärung Text S. 630).



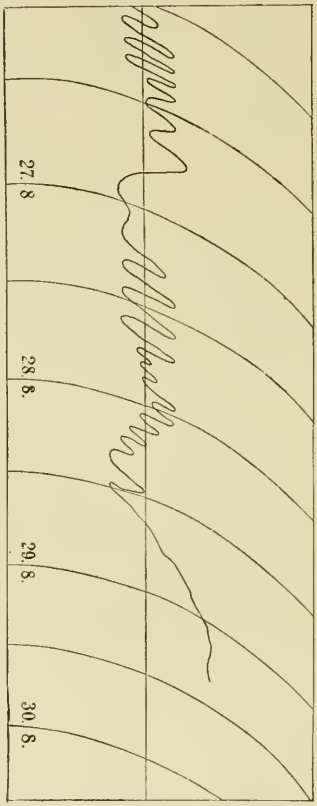
Kurve 62 (Erklärung Text S. 630).



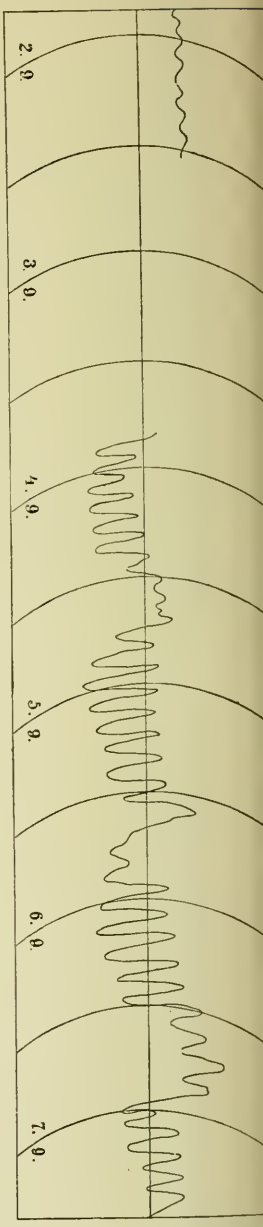
Kurve 63 (Erklärung Text S. 631).



Kurve 64 (Erklärung Text S. 631).



Kurve 65 (Erklärung Text S. 631).



Kurve 66 (Erklärung S. 631).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Zeitschrift für Botanik

Jahr/Year: 1923

Band/Volume: 15

Autor(en)/Author(s): Cremer Hans

Artikel/Article: Untersuchungen über die periodischen Bewegungen der Laubblätter. 593-656