

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 115 (1934)

Artikel: Hormone bei Pflanzen

Autor: Went, F.A.F.C.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-90398>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Hormone bei Pflanzen

Von

Prof. Dr. F. A. F. C. WENT, Wassenaar

Geniale Menschen können oft mit richtigem Blick in die Zukunft spüren und Gedanken aussprechen, welche sich erst viel später als richtig ausweisen. Wenn ich heute etwas von unsern jetzigen Forschungen über Hormone bei Pflanzen mitteilen werde, so muss dazu bemerkt werden, dass schon vor vielen Jahren der grosse deutsche Pflanzenphysiologe JULIUS SACHS, als er über sprossbildende, blütenbildende und ähnliche Substanzen handelte, ihr Bestehen vorgeahnt hat. Damals sagten viele Botaniker achselzuckend, dass SACHS Zeichen von Altersschwäche gäbe, jetzt wird wohl niemand mehr die Möglichkeit der von ihm befürworteten Gedanken bestreiten.

In diesem Zusammenhang möchte ich hier aber noch einen zweiten Namen nennen, nämlich denjenigen meines Landsmannes BEYERINCK, der verschiedentlich ähnliche Gedanken vertreten hat, sowohl bei seinen Untersuchungen über Wurzel- und Sprossbildung, als besonders bei denjenigen über die Entstehung der Gallen.

Wenn Gallentiere die Bildung von ganz absonderlichen, sehr speziell organisierten Gebilden an Pflanzen verursachen, so muss die Ursache in einer stofflichen Beeinflussung der Wirtspflanze von seiten des Gallentieres gesucht werden. BEYERINCK glaubte, bei Weidengallen, von Nematid-Arten hervorgerufen, den Beweis liefern zu können, dass eine vom erwachsenen Insekte abgeschiedene Substanz zugleich mit dem Ei in die Wunde gebracht wird und dort Veranlassung zu der auswachsenden Missbildung ist. Wenn zwar verschiedentlich an dieser Mitteilung BEYERINCK'S gezweifelt wurde, so ist dieselbe dennoch niemals mit Sicherheit widerlegt.

Indessen besteht noch ein grosser Abstand zwischen solchen einigermassen prophetischen Behauptungen und dem exakten Beweis, dass es überhaupt bei Pflanzen Stoffe gibt, welche, von diesen ge-

bildet, in äusserst geringen Mengen das Wachstum, die Entwicklung in bestimmter Weise beeinflussen. Der erste, welcher uns in der Hinsicht neue Tatsachen bekanntgegeben hat, war FITTING; derselbe fand, dass bei der Bestäubung der Orchideenblüte der Blütenstaub neben der Befruchtung noch einen Einfluss auf das weitere Schicksal der Blüten ausübt. Ganz besonders sei erwähnt das Schliessen der Narbe und das Schwellen des Gynostemiums; dieser Einfluss kommt auch einem Extrakt dieser Pollinien zu und er wird selbst durch Kochen des Extraktes nicht vernichtet. FITTING hat hier also zum erstenmal von einem pflanzlichen Hormon gesprochen. Indessen sind diese Untersuchungen damals, in 1909, nicht weiter fortgeführt, und erst in der allerletzten Zeit ist von LAIBACH ihr Zusammenhang mit dem Wuchsstoffproblem betont worden.

In anderer Richtung sehen wir dann HABERLANDT mit seinen Untersuchungen vorgehen. In den letzten 25 Jahren hat er eine Reihe von Arbeiten, es sei selbst publiziert, oder von seinen Schülern publizieren lassen, welche sich auf die Bildung neuer Zellen beziehen. Er knüpfte dabei wohl an eine Vorstellung WIESNERS an, der in seiner Elementarstruktur der lebenden Substanz schon 1892 vorgeahnt hat, dass es Stoffe gibt, welche bei Verwundung die Zellteilung auslösen.

Wenn man Kartoffelknollen verwundet, so sind natürlich die durchschnittenen Zellen tot, aber darunter bildet sich eine Korkschicht, eine neue Haut, wobei Zellteilungen stattfinden. Wenn man zu diesem Versuche ein ganz kleines Stückchen von einer Kartoffel nimmt und dabei die Schnittfläche unter einem Wasserstrahl gehörig abwascht, so unterbleibt die Zellteilung entweder teilweise oder ganz und gar; sie findet aber wieder statt, wenn man dafür sorgt, dass ein Brei von Kartoffelzellen auf die Schnittfläche gebracht wird und dass ausserdem ein bestimmtes Gewebe, das Siebröhrengewebe, vorhanden ist. Lassen wir letzteres ausser Betracht, so ergibt sich, dass zermahlene Kartoffelzellen eine Substanz abgeben, welche die Zellteilung anregt. Weil diese Substanzen bei dem Tode der Zellen gebildet werden, spricht HABERLANDT von Nekrohormonen. Man kann diesen Brei kochen, ohne dass derselbe seine Wirkung verliert; diese Hormone sind also thermostabil. Ein anderes Beispiel, das wir HABERLANDT verdanken, besteht darin, dass man die fleischigen Blätter der Crassulaceen verwundet; es bildet sich dann

kein Wundgewebe. Wird aber die Schnittfläche von einer Schicht Gewebebrei von Kohlrabi bedeckt, so tritt Zellteilung ein. Für diese Versuche sind in letzter Zeit sehr oft Hülsen von Bohnenpflanzen benutzt worden, wo man an der Innenseite leicht den Einfluss von allerhand Substanzen prüfen kann.

Zu einer näheren Kenntnis dieser Nekrohormone ist man bis jetzt nicht gekommen, hauptsächlich wohl, weil man ihre Wirkung nicht dosieren kann. Sobald man hier einmal quantitativ vorgehen können, wird es möglich sein, sich ein Urteil darüber, ob man viel oder wenig von diesen Hormonen in Händen hat, zu bilden, und dann wird eine allmähliche Konzentrierung und Reinigung einer Lösung auch wohl gelingen. Als Schwierigkeit kommt noch hinzu, dass NĚMEC gefunden hat, dass ähnliche Substanzen auch von Bakterien ausgeschieden werden, dass man also auf Wundflächen durch Belegung mit einer Bakterienkultur Zellteilung hervorrufen kann. Infolgedessen muss man mit seinen Schlüssen sehr vorsichtig sein und soviel wie möglich aseptisch arbeiten. Eben darum wird, wie gesagt, die Innenhaut von Hülsen zu solchen Versuchen viel benutzt.

In gewisser Hinsicht lässt sich mit diesen Hormonen die geheimnisvolle Substanz vergleichen, welche von ihrem Entdecker, WILDIERS, den Namen „Bios“ erhalten hat. Wenn man versucht, gewisse Hefearten aus Einzellkulturen aufzuziehen, so gelingt das in einer rein synthetischen Lösung nicht, wenn man nicht etwas Hefeextrakt hinzugesetzt hat. Mehrzellkulturen dagegen gelingen auch ohne diesen Zusatz, vermutlich weil dann immer wohl einige abgestorbene Zellen vorhanden sind, welche diejenige Substanz an die Nährlösung abgeben, welche wachstumsbefördernd wirkt, speziell indem die Zellteilung angeregt wird. Auch diese Substanz kann kurze Zeit Kochen widerstehen, hat also jedenfalls nichts Lebendes an sich; aber der Name Bios hat sich nun einmal eingebürgert. Dass es sich bei dieser Wirkung um äusserst kleine Mengen handelt, ist wohl gewiss. Nicht nur Hefe, sondern auch andere Pilze werden von Bios zur Zellvermehrung veranlasst. Und jedenfalls werden ähnliche Substanzen auch von ganz anderen Zellen abgegeben; SCHOPFER hat uns darüber noch vorgestern einiges mitgeteilt, und BOAS zeigte das vor kurzem für zahlreiche höhere Pflanzenarten, wie z. B. für den Hahnenfuss.

Während also die Kenntnis dieser Zellteilungshormone, wenn man sie so zusammenfassend nennen kann, noch äusserst lückenhaft

ist, steht die Sache ganz anders bei den Zellstreckungshormonen. Bekanntlich erhalten Pflanzenzellen nach ihrer Bildung durch Teilung schon vorhandener Zellen nicht gleich ihre endgültige Grösse, sondern wird ihr Volum nachher durch den Vorgang, den man mit dem Namen Zellstreckung andeutet, noch sehr ansehnlich vergrössert, derart, dass eigentlich alles messbare Wachstum der Pflanzen fast nur auf Zellstreckung beruht. Dabei vermehrt sich der Zellinhalt der Hauptsache nach durch Wasseraufnahme, während der dünne Wandbelag von Protoplasma kaum an Volum zunimmt; der osmotische Druck, vom Zellsaft [auf die Wand ausgeübt, verursacht ein Gespanntsein dieser Wand, den Turgor, und wenn dabei also entweder dieser Druck oder die Dehnbarkeit der Zellwand grösser wird, wird die Zellhaut weiter gedehnt werden müssen. Man kann dabei zwischen elastischer und plastischer Dehnung unterscheiden; erstere ist reversibel, letztere nicht. Nur bei letzterer wird es sich also um ein wirkliches Wachstum handeln, bei der elastischen Dehnung nicht, es sei denn, dass diese Spannung nachher durch Einlagerung neuer Zellhautteilchen gehoben wird.

Die Hormone, um welche es sich hier handelt, beeinflussen die plastische Dehnbarkeit der Zellhaut, vergrössern also das Wachstum, oder besser rufen es hervor. Man nennt sie daher zusammenfassend Wuchsstoff. Wenn wir von jetzt an Wachstum gleichbedeutend setzen mit Streckungswachstum, so kann gesagt werden, dass alle neueren Untersuchungen zu dem Satz führen: „Ohne Wuchsstoff kein Wachstum.“

Dass man diesem Wuchsstoff besser habhaft werden konnte als andern Phytohormonen, ist wohl hauptsächlich eine Folge davon, dass ein Objekt gefunden wurde, wo die Sekretion dieses Wuchsstoffes streng lokalisiert ist, und zweitens, dass es gelungen ist, bei diesem selben Objekt messend zu verfahren, dass man imstande gewesen ist, die Wuchsstoffmenge in irgendeiner Lösung genau zu bestimmen.

Das Objekt, worum es sich hier handelt, sind die Haferkeimlinge. Hier bildet sich bei der Keimung eine sogenannte Koleoptile, d. h. aus dem Korn tritt über die Erde ein zylindrisches, hohles, geschlossenes Organ zum Vorschein, welches an der Spitze geschlossen ist. Innerhalb dieser Koleoptile entwickelt sich das erste wirkliche Blatt; dieses bricht durch die Koleoptile hindurch, welche darauf das Wachstum einstellt. Bis zu dem genannten Augenblick

lässt sich die Haferkoleoptile ausgezeichnet für allerhand Wachstumsprobleme benutzen. Wie gesagt, kümmern wir uns nicht um die ersten Bildungsstadien dieser Koleoptile, wobei natürlich Zellteilung stattfindet; das geschieht noch innerhalb des Kornes oder während der allerersten Keimungsstadien; hier beschäftigen wir uns also nur mit dem späteren Streckungswachstum.

Dasselbe steht unter dem Einfluss einer Substanz, welche von der Spitze der Koleoptile gebildet wird und welche den allgemeinen Namen Wuchsstoff erhalten hat. Wird die Spitze hinweggeschnitten, so steht das Wachstum stille, oder besser; dasselbe dauert noch solange fort, bis die letzten Wuchsstoffmengen, welche sich im Stumpf befanden, verbraucht sind. Es hebt aber nach etwa $2\frac{1}{2}$ oder 3 Stunden wieder an, indem die apikalen Zellen des Stumpfes der dekapitierten Keimpflanzen jetzt Wuchsstoff regenerieren, was sie unter normalen Umständen nicht tun. Jetzt liefert eine zweite Dekapitation Pflanzen, welche vollkommen frei von Wuchsstoff sind und wo das Wachstum deshalb auch vollkommen zum Stillstand gekommen ist. Diese lassen sich jetzt ausgezeichnet für Versuche verwenden, wo es sich darum handelt, die eventuelle Anwesenheit von Wuchsstoff in irgendeinem Substrat zu bestimmen.

Man kann z. B. eine abgeschnittene Koleoptilspitze auf den Stumpf setzen, worauf dieser sein Wachstum wieder aufnimmt; dasselbe geschieht auch, wenn man zwischen der Spitze und dem Stumpf etwas Gelatine angebracht hat, dagegen nicht, wenn ein Glimmerblättchen dazwischengeschaltet war. Im letztgenannten Fall kann der Wuchsstoff den Glimmer nicht passieren, während er durch die Gelatine leicht hindurchdiffundieren kann.

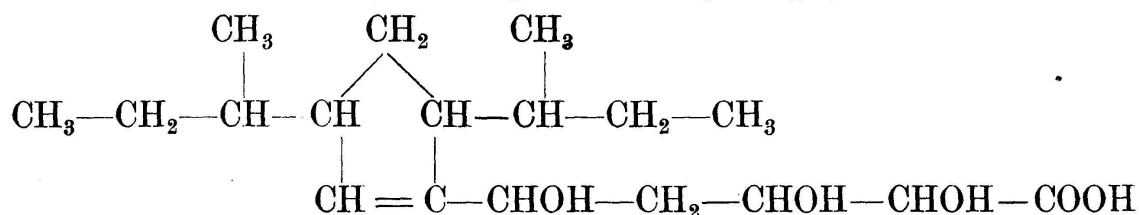
Die Wiederaufnahme des Wachstums lässt sich am bequemsten feststellen, wenn man die wuchsstoffhaltige Substanz dem Stumpf nicht zentral aufsetzt, sondern einseitig; da der Wuchsstoff in die Längsrichtung des Stumpfes transportiert wird, wächst deshalb jetzt die eine Seite stärker als die andere, und eine Krümmung tritt auf. Diese lässt sich viel leichter beobachten als die Wiederaufnahme des Wachstums selbst, und deshalb wird diese Methode jetzt auch allgemein angewendet, wenn es sich darum handelt, die Anwesenheit von Wuchsstoff festzustellen. Es ist aber noch ein anderer grosser Vorteil an diese Methode verbunden, dass nämlich der Ablenkungswinkel der einseitig gegebenen Wuchsstoffmenge proportional ist.

Letzteres wurde von meinem Sohne gezeigt. Nachdem schon vor etwa 20—25 Jahren BOYSEN-JENSEN und PAÁL uns die Überzeugung von der Existenz des Wuchsstoffes beigebracht hatten, gelang es meinem Sohne vor etwa acht Jahren, den Wuchsstoff aus der Spitze herausdiffundieren zu lassen, indem er Spitzen auf wasserhaltige Gelatine oder Agar-Agar hinstellte. Ein Agarwürfelchen mit diesem Wuchsstoff versehen, gibt eine Ablenkung des Haferstumpfes, wenn es in der angegebenen Weise einseitig darauf gesetzt wird.

Wenn man ein solches Würfelchen auf ein gleich grosses ohne Wuchsstoff hinstellt, verteilt sich der Wuchsstoff über ein zweimal grösseres Volum, wird also einmal verdünnt und man kann diese Verdünnung weiter fortführen. Werden jetzt solche Agarwürfelchen mit Wuchsstoff in verschiedener Verdünnung dekapitierten Keimlingen einseitig aufgesetzt, so entstehen Ablenkungen, die der Wuchsstoffkonzentration proportional sind. Bedingung ist dabei, dass Temperatur, Feuchtigkeit und Licht möglichst konstant gehalten werden und dass die Wuchsstoffkonzentration nicht zu hoch ist. Nur in verdünnter Lösung besteht die genannte Proportionalität, bei grösseren Mengen tritt ein beschränkender Faktor auf. Will man also Wuchsstoff in höherer Konzentration messen, so muss man ihn erst soweit verdünnen, dass man sich unterhalb des Bereiches dieser beschränkenden Faktoren befindet.

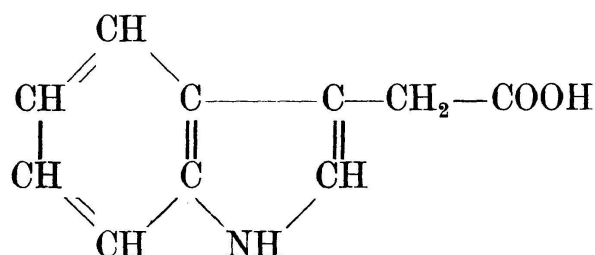
Diese messende Methode meines Sohnes hat meinen organisch-chemischen Kollegen KÖGL instand gesetzt, mit Herrn Dr. HAAGEN SMIT, Fräulein Dr. ERXLEBEN und seinen übrigen Mitarbeitern den Stoff in reiner Form zu bereiten. Bei der Suche nach einem Material, welches leicht zu erhalten war und worin sich viel Wuchsstoff befand, stellte sich heraus, dass menschlicher Harn ziemlich viel von dieser Substanz enthält. Der Mensch scheidet normalerweise täglich etwa 1—2 mgr Wuchsstoff mit dem Harn ab. Dieser konnte jetzt konzentriert und gereinigt werden, ein Verfahren, das ich hier nicht weiter besprechen will. Zuletzt wurden reine Kristalle erhalten von einer Substanz, welche Auxin genannt wurde. Es handelte sich zwar nur um einige hundert Milligramme; aber nicht nur die Brutto-Formel wurde gefunden, nämlich $C_{18}H_{32}O_5$, sondern es gelang, die nähere Struktur zu finden. Jetzt schon kann gesagt werden, dass es sich um eine ungesättigte, einbasische Säure handelt, worin eine Kette von 5-Kohlenstoffatomen an einen 5-Kohlen-

stoffring mit einer Doppelbindung befestigt ist, der an zwei anderen Seiten Ketten mit isoprenartiger Bindung trägt; also etwa:



Neben diesem sogenannten Auxin-*a* ist später noch eine verwandte Substanz gefunden, das Auxin-*b*, welches sich leicht als Ketosäure von der Oxysäure ableiten lässt. Dessen Formel ist $\text{C}_{18}\text{H}_{30}\text{O}_4$.

Und endlich haben KÖGL und seine Mitarbeiter vor kurzem noch einen dritten Wuchsstoff gefunden, der zwar eine ganz andere Zusammensetzung aufweist, dessen Wirkung auf die Pflanzenzelle aber den beiden andern — soweit wir bis jetzt sehen können — gleichgesetzt werden muss. Dieses Hetero-Auxin hat sich herausgestellt als β -Indolyl-Essigsäure, also eine schon längst bekannte Substanz von der Zusammensetzung $\text{C}_{10}\text{H}_9\text{O}_2\text{N}$:



Wenn es sich in der Natur zwar immer um sehr geringe Mengen handelt, so ist es in letzter Zeit dennoch gelungen, sie auch dann zu unterscheiden; erstens weil sie bei Erhitzung mit Säuren und Basen sich verschieden verhalten, und zweitens weil, eine Methode weiter verfolgend, welche zuerst von meinem Sohne benutzt wurde, das Molekulargewicht aus der Diffusionskonstante in Agar-Agar bestimmt werden konnte.

Indessen ist bis jetzt nur in sehr vereinzelt Fällen festgestellt worden, welche der verschiedenen Auxinarten in der Natur angetroffen werden. Die Spitze der Graskoleoptile enthält Auxin-*a*. Im menschlichen Harn besteht die Hauptmenge aus Auxin-*a*. Diese Menge hängt wohl mit der Nahrung zusammen; denn drei Stunden nach einer Mahlzeit findet man ein Maximum, welches dann wieder allmählich abnimmt. Es hat sich herausgestellt, dass dies nur der Fall ist, wenn Fette ein Teil der Nahrung ausmachen; diese Fette

enthalten Auxin-*a*, aber auch Auxin-*b*. Infolgedessen muss also der Mensch während der Verdauung dieses Auxin-*b* in Auxin-*a* umwandeln, oder es muss Auxin-*b* dabei vernichtet werden. Daneben enthält der Harn aber auch geringe Mengen von Hetero-Auxin. Sehr wahrscheinlich stammt dieses von der Darmflora her, welche es leicht aus Tryptophan und aus tryptophanhaltigen Proteinen bereiten kann. Es ist nämlich von KÖGL und seinen Mitarbeitern auch schon festgestellt, dass der Wuchsstoff, welcher in Kulturen von Mikroorganismen, wie Hefe, *Aspergillus niger* und *Rhizopus nigricans* angetroffen wird, aus Hetero-Auxin besteht.

In diesen wenigen Fällen hat man also schon genauer angeben können, um welches Auxin es sich handelt, wenn solches in der Natur angetroffen wird; aber übrigens müssen wir jetzt nur in sehr allgemeinem Sinne reden und es weiteren Untersuchungen überlassen, anzugeben, was man in jedem einzelnen Fall unter Wuchsstoff zu verstehen hat.

Wenn wir über das Vorkommen der Wuchsstoffe in der Natur reden, werden wir uns jetzt auf die Pflanzenwelt beschränken. Nur eines mag noch in Hinsicht auf das Tierreich gesagt werden; man hat dort in vielen Fällen Auxin gefunden, aber immer wieder gewinnt man den Eindruck, dass dasselbe in letzter Instanz aus der Pflanze her stammt. Ob demselben im Tierkörper eine Funktion zugeschrieben werden muss, ist unbekannt; soviel ist aber wohl sicher, dass es auch hier mit Zellvermehrung nichts zu tun hat. Angaben über Vorkommen abnormal hoher Auxinmengen in Krebsgeschwülsten haben sich als unrichtig erwiesen. Meistens hat es sich da wohl um eine Verwechslung mit dem schon genannten Bios oder ähnlichen Substanzen gehandelt.

Im Pflanzenreich ist der Wuchsstoff sehr allgemein verbreitet. Bisweilen ist es nicht gelungen, seine Anwesenheit zu beweisen; dann ist später wohl einmal gezeigt, dass derselbe dennoch vorhanden ist. Das war z. B. der Fall in bestimmten Wurzeln, wo man denselben in der gewöhnlichen schon genannten Art nicht erhalten kann, wohl aber, wenn man, dem Verfahren BOYSEN-JENSENS nachfolgend, dem Agar etwas Glukose zusetzt. In anderen Fällen sind dagegen sehr grosse Auxinmengen gefunden, z. B. in den Pollinien der Orchideen. Hier hatte, wie erwähnt, FITTING darauf aufmerksam gemacht, dass in diesen Pollinien Substanzen enthalten sind, welche die Postfloration der Blüte beeinflussen.

Dann hat LAIBACH vor kurzem zeigen können, dass es sich auch in diesem Fall um Wuchsstoff handelt, und übrigens hat er und haben auch andere Untersucher in der letzten Zeit verschiedentlich zeigen können, dass manche Blüten in ihrem Blütenstaub viel Auxin enthalten. LAIBACH hat bei seinen Untersuchungen eine neue Methode angewandt, um den Wuchsstoff in die Pflanze eindringen zu lassen. Er liess denselben von Lanolin aufnehmen und verwendete diese Salbe dann an der Aussenseite der intakten Pflanze. Der Wuchsstoff schien dann aufgenommen zu werden, indem diejenige Seite der Pflanze, welche mit Wuchsstoff belegt war, eine Änderung des Wachstums aufwies. Die Anwendung dieser Methode scheint sehr bequem und man hat dabei den Vorteil, dass man die Testpflanzen nicht zu schädigen braucht; aber demgegenüber ist die Methode, wenigstens bis jetzt, quantitativ noch nicht brauchbar. Es gibt auch Fälle, besonders soweit bis jetzt bekannt in Samen, wo der Wuchsstoff in esterartiger Bindung vorhanden ist; in dieser Form übt er keinen Einfluss auf die Zellstreckung aus. Man kann den Wuchsstoff dann aber durch Behandlung mit verdünnten Säuren oder noch besser durch Lipase freimachen.

Es interessiert uns aber die Frage mehr, wo und wie der Wuchsstoff gebildet wird. Wie gesagt, entsteht derselbe in der Haferkoleoptile in der äussersten Spitze; dort findet sich, wie LANGE zeigte, ein Gewebe, das man fast als ein Drüsengewebe auffassen kann. Aber das ist ein ganz besonderer Fall, demgegenüber sieht es z. B. bei jungen Keimlingen von Lupinen aus, als wenn jede Zelle imstande wäre, Auxin zu produzieren, vielleicht aus etwaiger vorhandener Reservesubstanz. Dabei gibt es auch wieder andere Dikotylen, wie die Gartenkresse und den Radis, wo bei Keimlingen ganz entschieden die Samenlappen die Organe sind, welche Auxin bilden können. Sie tun das aber nur im Lichte: dort besteht also vielleicht ein Zusammenhang zwischen der Wuchsstoffproduktion und der Photosynthese. Auch bei der Gartenbohne hat sich ein Einfluss des Lichtes auf die Auxinbildung nachweisen lassen; dort werden grosse Mengen speziell in sprossenden jungen Knospen angetroffen. Dass Pilze Wuchsstoff produzieren können, wurde schon erwähnt; dasselbe gilt von verschiedenen Bakterien, wie z. B. von *Bacillus coli*.

Man hat untersucht, wie der Transport des Wuchsstoffes stattfindet. Besonders VAN DER WEY hat darüber ausgedehnte Unter-

suchungen angestellt, welche den unumstösslichen Beweis lieferten, dass der Transport mit dem lebenden Zustand der Zelle zusammenhängt, dass es sich also nicht um reine Diffusion handelt. Das konnte verschiedentlich bewiesen werden, z. B. durch Narkotisierung mit Äther, wobei zahlreiche Eigentümlichkeiten des Transportes verschwinden, aber zurückkommen, wenn der Äther wieder entfernt wird, vorausgesetzt, dass seine Konzentration nicht zu hoch war. Die merkwürdigste Eigenschaft des Transportes ist wohl, dass derselbe polar verläuft. Von der Spitze zur Basis geht der Transport leicht vonstatten, hingegen nicht oder äusserst schwierig in umgekehrter Richtung. Das lässt sich im Anschluss an eine Hypothese meines Sohnes vielleicht dadurch erklären, dass Auxin eine Säure ist und dass die Spitze der Haferkoleoptile elektropositiv ist gegenüber der negativen Basis.

Ob bei diesem Transport die Protoplasmaströmung eine Rolle spielt, lässt sich noch nicht sagen. Wohl kann als sicher angenommen werden, dass zwischen diesen beiden Erscheinungen irgendein Zusammenhang besteht. Aus Untersuchungen BOTTELIERS ist nämlich hervorgegangen, dass äussere Umstände, wie z. B. die Temperatur und das Licht, vielleicht selbst die Ionisierung der Luft, auf beide Erscheinungen ähnlich einwirken. Das sind aber alles noch sehr schwierige Fragen, deren Lösung wohl noch einige Zeit auf sich wird warten lassen.

Wenn wir jetzt noch einmal zurückgreifen auf die zuerst angeschnittene Frage, wie der Wuchsstoff das Streckungswachstum der Zelle beeinflussen kann, so verfügen wir hier über Untersuchungen verschiedener Forscher, wovon ganz speziell HEYN genannt werden muss und worüber wir hier vorgestern noch Fräulein ZOLLIKOFER konnten vortragen hören. HEYN konnte für Hafer- und Lupinenkeimlinge, für die Blütenstiele der Tulpen und für die Stengel der Gartenbohne zeigen, dass Auxin die plastische Dehnbarkeit der Zellhaut erhöht. Wenn eine Zelle sich also im turgeszenten Zustand befindet, wird die Folge davon eine irreversible Verlängerung der Zelle sein. Ich kann wegen Zeitmangels diese Frage nicht ausführlicher behandeln, muss aber dennoch eines bemerken.

Während das Wachstum des Stengels durch Wuchsstoff gefördert wird, ist das Umgekehrte bei Wurzeln der Fall. Wenn man z. B. mit HAAGEN SMIT Haferkeimlinge mit ihren Wurzeln

in einer Auxinlösung wachsen lässt, so wird das Wurzelwachstum gehemmt. Das ist schon der Fall, wenn 1γ Auxin im Liter Flüssigkeit vorhanden ist. Beim Hetero-Auxin wirkt selbst schon $0,1\gamma$ pro Liter. Wurzelhaare entwickeln sich zwar viel stärker, aber das Längenwachstum der Wurzel wird geringer, während eine schwache Verdickung auftritt. Ähnliches geht auch aus den Versuchen LAIBACHS hervor. Wenn derselbe seine Auxinsalbe an der einen Seite der Wurzel anbringt, so findet eine Krümmung statt, wobei diese Seite konkav wird.

Eine Erklärung des verschiedenen Verhaltens von Stengel und Wurzel wurde bis jetzt nicht gegeben; diese wird wohl erst möglich sein, wenn das Verhalten der Wurzel viel mehr als bis jetzt in Einzelheiten untersucht ist. Aber es lässt sich vielleicht vermuten, dass der Wuchsstoff bei der Wurzel in erster Instanz auf die Querwand, beim Stengel auf die Längswand einwirkt. Die Wurzelzellen würden demgemäss in die Querrichtung gedehnt werden, wobei die Verkürzung und eventuell eine Verdickung der Wurzel stattfinden würde.

Wichtig ist, dass eine ungleiche Verteilung des Wuchsstoffes die Form eines Organs beeinflussen kann. Das geht aus Krümmungsbewegungen hervor, welche von Pflanzenteilen ausgeführt werden, die der einseitigen Lichtwirkung ausgesetzt sind, oder in eine abweichende Stellung gegenüber der Schwerkraft gebracht wurden. Betrachten wir zuerst die Folgen der Einwirkung des Lichtes.

Bekanntlich führen viele Stengel, wenn sie einseitig belichtet werden, eine Krümmung aus, wobei sie sich so viel wie möglich in die Richtung der einfallenden Strahlen stellen. Diese sogenannte positive phototropische Krümmung entsteht, indem die Schattenseite rascher wächst als die Lichtseite. Sie wurde wieder sehr genau bei Haferkeimlingen untersucht, wobei sich herausstellte, dass die Grösse und die Richtung der Krümmung in hohem Masse von der Menge des einfallenden Lichtes abhängig sind. Licht von verschiedener Wellenlänge hat dabei sehr verschiedenen Einfluss. Während das rote und das orange Licht sich wie Dunkelheit verhalten, ist die Wirkung am stärksten im blauen Lichte, um von dort nach dem Ultraviolett hin wieder abzunehmen. Haferkeimlinge sind positiv phototropisch für geringe und für grosse Lichtmengen; dazwischen befindet sich ein Gebiet, wo die Pflan-

zen negativ phototropisch reagieren. Ich lasse alle weiteren Einzelheiten hier ausser Betracht.

Es ist nun gelungen, bei einseitig beleuchteten Haferkeimlingen den Wuchsstoff der Spitze von der Licht- und der Schattenseite gesondert zu untersuchen. Dazu wurde die Spitze auf zwei Agarblöckchen gestellt, welche voneinander durch die Schneide eines Sicherheitsrasiermessers getrennt waren. Mein Sohn konnte in dieser Weise zeigen, dass von dem dann vorhandenen Wuchsstoff etwa $\frac{2}{3}$ sich an der Schattenseite, $\frac{1}{3}$ an der Lichtseite sammelt. Wenn dieser Wuchsstoff dann weiter in die Längsrichtung des Keimlings transportiert wird, muss die Schattenseite stärker wachsen als die Lichtseite und eine Krümmung muss eintreten, und zwar nach dem Lichte hin gerichtet, also positiver Phototropismus. Später hat Du Buy genauere Bestimmungen ausgeführt, mit deren Hilfe er auch das Auftreten des negativen Phototropismus erklären konnte.

Noch eingehender hat VAN OVERBEEK die Sache für Radiskeimlinge untersucht. Auch dort findet bei einseitiger Beleuchtung eine Ablenkung des Wuchsstoffes nach der Schattenseite hin statt. Diese Ablenkung ist dort selbst noch auffallender, weil sie nicht auf die Spitze beschränkt ist, sondern auch in den übrigen Teilen des Keimlings angetroffen wird. Wenn man einen Zylinder aus dem Keimling herausschneidet und seiner Spitze ein Agarwürfelchen mit Wuchsstoff einseitig aufsetzt, so erhält diejenige Seite, wo das Würfelchen aufgesetzt ist, mehr Wuchsstoff, der an der Unterseite in reinem Agar aufgefangen werden kann. Wenn man aber den Versuch in einseitigem weissem oder blauem Lichte ausführt, so wird die grösste Wuchsstoffmenge an der Schattenseite des Zylinders aufgefangen werden.

VAN OVERBEEK ging noch einen Schritt weiter. Er untersuchte im Licht und im Dunkeln das Reaktionsvermögen dieser Keimlinge gegenüber einer bestimmten Wuchsstoffmenge, und es stellte sich heraus, dass dieses in der Dunkelheit viel grösser ist als im Lichte. Licht und zwar speziell Licht von kleiner Wellenlänge setzt die Reaktionsfähigkeit gegenüber Auxin herab. Hier ergab sich die Erklärung einer Erscheinung, welche BLAAUW unter dem Namen Photowachstumsreaktion oder Lichtwachstumsreaktion zuerst beschrieben hatte; diese besteht darin, dass Pflanzen, nachdem sie einige Zeit im Dunkeln verweilt haben, allseitigem Licht ausge-

setzt, eine Änderung der Wachstumsintensität zeigen, welche oft einen wellenförmigen Verlauf nimmt, um zuletzt wieder auf eine konstante Höhe zurückzukommen. Diese Reaktion summiert sich also bei einseitiger Belichtung der ungleichen Wuchsstoffverteilung, weil dann in den meisten Fällen die Vorderseite mehr Licht empfängt als die Hinterseite und infolgedessen weniger stark auf die an sich schon geringere Auxinmenge reagiert. Aus den angeführten Untersuchungen lässt sich schliessen, dass die phototropischen Erscheinungen sich mit Hilfe des Wuchsstoffes erklären lassen.

Dasselbe lässt sich auch von denjenigen Erscheinungen sagen, welche von der Schwerkraft ausgelöst werden. Bekanntlich wachsen viele Stengel senkrecht aufwärts, Hauptwurzeln dagegen senkrecht abwärts. Bringt man sie aus der Lotlinie heraus, so findet ein ungleiches Wachstum der Ober- und Unterseite statt, infolgedessen diese wieder ihre ursprüngliche Richtung zurückerhalten; der Stengel ist dann also negativ, die Wurzel positiv geotropisch. Beschränken wir uns vorläufig auf den negativen Geotropismus, so können hier wieder in erster Instanz Versuche mit Haferkeimlingen erwähnt werden.

Wir verdanken DOLK den Nachweis, dass die von CHOLODNY aufgestellte Theorie, dass eine ungleiche Wuchsstoffverteilung Veranlassung zu der geotropischen Krümmung sei, richtig ist. Haferkoleoptilen sind negativ geotropisch, aber schon seit DARWIN wusste man, dass Abschneiden der Spitze den Geotropismus aufhebt, wenigstens zeitweise. Besonders ROTHERT hat das untersucht, und es lag die Vermutung auf der Hand, dass es sich hier um die Beseitigung resp. um die Regeneration des Wuchsstoffes handelte. DOLK zeigte, dass zeitlich Regeneration des Wuchsstoffes und Wiedereintreten des Geotropismus zusammenfallen.

Mein Sohn hat dann zeigen können, dass man die Spitze des Keimlings durch ein Agarwürfelchen mit Auxin ersetzen kann. Wird also ein Haferkeimling dekapitiert und daraufhin ein wenig Wuchsstoff dem Stumpf aufgesetzt, so reagiert er normal negativ geotropisch.

Was uns besonders interessiert, ist die Frage, ob auch gerade wie beim Phototropismus hier eine ungleiche Verteilung des Wuchsstoffes zu Stande kommt. DOLK hat zeigen können, dass es sich hier wirklich ähnlich verhält. Wenn man einen Haferkeim-

ling einige Zeit in horizontaler Stellung hält, dann die Spitze abschneidet und den Wuchsstoff von der Ober- und Unterseite gesondert auffängt, so stellt sich heraus, dass unten mehr Auxin enthalten ist als an der Oberseite. Infolgedessen findet an dieser Unterseite ein stärkeres Wachstum statt und eine negativ geotropische Reaktion erfolgt.

Auch wenn man Koleoptilzylinderchen herstellt und diesen an der einen Seite Agar mit Wuchsstoff aufsetzt, lässt sich zeigen, dass der Wuchsstofftransport bei horizontalem Stande der Zylinderchen anstatt in die Längsrichtung des Keimlings zu verlaufen, schräg nach unten gerichtet ist. Das summiert sich dann der soeben genannten Erscheinung und deshalb lässt es sich verstehen, weshalb die geotropische Krümmung viel eher sichtbar wird als die phototropische und auch rascher von der Spitze zur Basis hin verläuft.

Dagegen hat sich auch gezeigt, dass die Schwerkraft keinen tonischen Einfluss hat. Während Licht an sich die Reizbarkeit der Zellen für Auxin verkleinert, lässt sich etwas derartiges bei der Schwerkraft nicht auffinden, auch wenn dieselbe in einer andern als der normalen Richtung einwirkt.

Wie steht es nun mit dem positiven Geotropismus? Derselbe ist viel weniger eingehend untersucht als der negative. Beim negativen Geotropismus verfügen wir nämlich nicht nur über die grundlegenden Versuche DOLKS mit Avenakoleoptilen, sondern auch über die daran anschliessenden DYKMANS mit Lupinenkeimlingen, wobei die erhaltenen Resultate ähnlich waren. Aber beim positiven Geotropismus sind die unmittelbaren Versuche gering an der Zahl. Es lässt sich aber wohl schon sagen, dass hier der Wuchsstoff hemmend auf das Längenwachstum einwirkt, und dass also, wenn auch hier in horizontal gelegten Wurzeln die Unterseite mehr Wuchsstoff bekommt wie die Oberseite, die natürliche Folge ein stärkeres Wachstum der Oberseite und infolgedessen eine positiv geotropische Abwärtskrümmung sein muss.

Wir sahen also, dass es pflanzliche Hormone gibt, die Auxine, welche durch ihre ungleiche Verteilung zu einer Formänderung eines Pflanzenteils führen können. Nicht allein kann in dieser Weise die Form geändert werden, es kann auch die alte Form wieder zurückkehren, wenn die äussere Veranlassung zur Formänderung nicht mehr vorhanden ist und wenn die neue Form noch

nicht durch Wachstum fixiert war. Es tritt dann die Erscheinung auf, welche den Namen Autotropismus erhalten hat. Man kann diesen Autotropismus auch schon während der Krümmung beobachten. Denken wir uns wieder einen Haferkeimling, der durch einseitiges Licht phototropisch gekrümmt wird. Verfolgt man diese Krümmung von Anfang an, so stellt sich heraus, dass sie an der Spitze anfängt und dann allmählich nach der Basis hin verläuft. Etwas später setzt dann auch der Autotropismus ein, ebenfalls an der Spitze anfangend, wo also die ursprünglich gekrümmten Zonen sich wieder strecken, und auch diese Streckung läuft von der Spitze zur Basis hinter der Krümmung an, so dass zuletzt die stärkste Krümmung in derjenigen Zone an der Basis aufgefunden wird, welche ihr Wachstum eben noch nicht eingestellt hatte. Und nun hat DOLK beweisen können, dass dieser Autotropismus bei dekapitierten Keimlingen nicht auftritt, oder besser erst dann auftritt, nachdem Wuchsstoff regeneriert wurde, es sei denn, dass man vorher mit Vorbedacht Agarwürfelchen mit Auxin dem Stumpf aufgesetzt hat.

Eine Vorstellung der Art und Weise, wie der Wuchsstoff beim Autotropismus eine Rolle spielen kann, lässt sich folgender Art bekommen. Denken wir uns irgendeinen Stengel, dessen eine Flanke mehr Wuchsstoff erhielt als der andere, so wird dort das Wachstum stärker sein. Es resultiert also eine Krümmung, und zwar wird die Flanke mit der grössten Wuchsstoffmenge konvex werden. Bei diesem Wachstum wird selbstverständlich Substanz für die Bildung der Zellhaut und der übrigen Teile der Zelle verbraucht. Infolgedessen wird diese Zellbildungssubstanz an der konvexen Seite leicht im Minimum kommen. Wenn jetzt wieder beiderseitig gleich viel Wuchsstoff zuströmt, wird die konkave Seite mit ihrer grösseren Menge Bildungssubstanz also rascher wachsen müssen als die gegenüberliegende und es muss infolgedessen Geradstreckung stattfinden.

Wir haben hier also im Auxin ein Hormon, das in letzter Instanz gestaltend wirkt, wenn auch nur in sehr primitiver Art, da es nur die Zellstreckung beeinflusst. Die HABERLANDTSCHEN Hormone regen ihrerseits wohl die Zellbildung, und zwar die Zellteilung an, aber sie haben keinen Einfluss auf die Form der Pflanzenteile. Eine vor kurzem erst gefundene Gruppe von Hormonen wirkt nun in beider Hinsicht, sowohl zellbildend als zell-

streckend, und dadurch bestimmte Organe bildend. Oder besser sollte gesagt werden, dass bis jetzt nur ein einziges dergleiches Hormon bekannt wurde, das also noch am meisten den von SACHS vorgeahnten organbildenden Stoffen sich nähert.

Es geht hier um die wurzelbildende Substanz oder das Rhizokalin. Dasselbe wurde von meinem Sohne bei Untersuchungen über Wurzelbildung an *Acalypha* im Botanischen Garten in Buitenzorg auf Java entdeckt, dann von ihm und von BOUILLENNE an dieser Pflanze und an andern, speziell Keimlingen von z. B. *Impatiens*, weiterstudiert. Jetzt in dieser letzten Zeit wurde die Arbeit in Pasadena weitergeführt, wobei mein Sohn besonders gewöhnliche Erbsen als Testobjekt benutzte. Es gelang dann, hier eine Messmethode aufzufinden, wodurch es möglich wurde, das Rhizokalin näher kennenzulernen.

Bekanntlich kann man viele Pflanzen durch Stecklinge vermehren; ein Zweig wird von der Pflanze abgetrennt und in den Boden gestellt. Dann entwickeln sich Wurzeln an Stellen, wo sie sich normalerweise nicht gebildet haben würden. Bisweilen sind diese Wurzeln schon an der intakten Pflanze als Anlagen vorhanden; diese Fälle, wo also Wurzelanlagen auswachsen, interessieren uns hier augenblicklich nicht. Die Erscheinung, warum es sich hier handelt, ist die Bildung von Wurzeln an Stellen, wo keine solchen Anlagen vorhanden waren. Es war schon lange bekannt, dass irgendein Zusammenhang mit den Blättern und besonders mit den sich entwickelnden jungen Achselsprossen bestehen musste; auch wurde schon öfters an einen stofflichen Zusammenhang gedacht; aber viel weiter war man bis vor kurzem nicht gekommen.

Es konnte nun für *Acalypha* der Beweis geliefert werden, dass tatsächlich ein pflanzliches Hormon hier eine Rolle spielt. Wenn man in der gewöhnlichen Weise Stecklinge von *Acalypha* schneidet und diese im feuchten Raume hinstellt, so findet am basalen Teil dieser Stecklinge Wurzelbildung statt. Wenn man aber an solchen Zweigen einige Tage, bevor man sie von der Pflanze trennt, alle Blätter entfernt und dann nachher die abgeschnittenen Stecklinge im feuchten Raume aufstellt, so bewurzeln sie sich nicht oder es bilden sich nur sehr spärlich einzelne Wurzeln. Man kann dann aber bei solchen Stecklingen die Wurzelbildung wieder hervorrufen, wenn man an der oberen Hälfte der-

selben die peripherisch gelegenen Zellschichten abschabt und die so angebrachte Wunde mit Agar-agar und Rhizokalin bedeckt. Dieses Rhizokalin lässt sich aus Blättern, die man auf Wasser gestellt hat, ausziehen, und zwar nicht nur aus Blättern von *Acalypha*, sondern auch von andern Pflanzen, wie z. B. *Carica Papaya*. Es liessen sich aber ausserdem auch Malz und Reiskleie als rhizokalinhaltige Medien benutzen.

Indessen waren die Resultate mit *Acalypha* zu launenhaft, um eine messende Behandlung zu ermöglichen, und das war doch nötig, wollte man etwas mehr von dieser wurzelbildenden Substanz wissen, als etwa dass sie thermostabil ist. Wie aber schon gesagt wurde, hat sich zuletzt gezeigt, dass gewöhnliche Gartenerbsen ein ausgezeichnetes Material für diese Versuche liefern; mit Hilfe derselben hat sich jetzt eine Testmethode zur Bestimmung der Rhizokalinmengen ausarbeiten lassen.

In kurzen Worten lässt sich diese Methode folgendermassen schildern: Erbsenpflanzen werden bei einer Temperatur von 25° C und bei hoher Luftfeuchtigkeit in einem Dunkelzimmer in Sand aufgezogen. Wenn sie etwa eine Woche alt sind, wird der junge Stengel etwas oberhalb des ersten schuppenförmigen Blattes abgeschnitten, während am oberen Teile die Spitze mit dem jungen Spross entfernt wird. Man erhält in dieser Weise einen Stengel, aus zwei Internodien und aus einem Knoten, der ein kleines schuppenförmiges Blatt trägt, bestehend. Diese Stengel werden mit ihrer Basis in Wasser gestellt, daraufhin zur Desinfektion in eine 0,05 % KMnO_4 -Lösung, und schliesslich wird die Spitze mit einem scharfen Rasiermesser durch einen Medianschnitt etwa 1 cm lang in zwei Hälften gespalten, welche alsbald auseinanderklaffen. Der so präparierte Stengel kommt jetzt in umgekehrter Stellung während 15 Stunden in eine Rhizokalinlösung, daraufhin wird er wieder umgekehrt und mit der Basis erst 6 Tage in 2 % Zuckerlösung, dann 7 Tage in Wasser gestellt; die Kontrollen haben natürlich, anstatt in Rhizokalinlösung, in reinem Wasser gestanden. Wenn man nun dafür sorgt, dass die Feuchtigkeit der Atmosphäre nicht höher ist als etwa 60—70 %, so bilden sich allmählich an der Basis der mit Rhizokalin behandelten Sprosse Wurzeln, deren Zahl dann nach diesen zwei Wochen bestimmt wird.

Auch die Kontrollpflanzen bilden einige Wurzeln, aber immer nur wenige, während die Rhizokalinlösung deren viele liefert;

zieht man die erstgenannte Zahl von der zweiten ab, so erhält man den reinen Einfluss der wurzelbildenden Substanz in der Lösung. Es stellte sich nun heraus, dass diese Zahl der Konzentration der Rhizokalinlösung ungefähr proportional ist, wenn nur diese Lösung nicht zu konzentriert ist. Es wurden z. B. die Konzentrationen 0,002, 0,005, 0,01, 0,02, 0,1 und 0,2 benutzt und dabei erhalten 2, 4, 8, 15, 20 und 24 Wurzeln, also nur bei den letzten zwei keine Proportionalität. Es sieht hier aus wie beim Wuchsstoff: die Reaktion ist der Konzentration proportional, bis sich bei höheren Konzentrationen ein Hemmungsfaktor fühlbar macht.

Wir verfügen erst seit sehr kurzer Zeit über diese Testmethode für die wurzelbildende Substanz. Es versteht sich, dass wir hier also noch in keiner Weise Resultate aufweisen können, welche mit denen beim Wuchsstoff vergleichbar sind. Aber verschiedenes lässt sich dennoch schon sagen, obschon vielleicht hin und wieder mit einigem Vorbehalt.

Dass die Kontrollpflanzen, wie gesagt, dennoch einige Wurzeln bilden, muss dem Rhizokalin, welches in den schuppenförmigen Blättchen enthalten ist, zugeschrieben werden; die Menge davon konnte auch ungefähr bestimmt werden. Schneidet man beide Schuppen ab, so bilden sich keine Wurzeln, aber derart präparierte Pflanzen sind für die Rhizokalinversuche ungeeignet.

Der Transport des Rhizokalins geht bei den Erbsenstengeln ausschliesslich von der Spitze zur Basis, und auch hier scheint diese Polarität mit elektrischen Potentialdifferenzen zwischen Spitze und Basis zusammenzuhängen, wie das beim Wuchsstoff der Fall ist.

Es hat sich herausgestellt, dass Rhizokalin in der Natur sehr verbreitet ist, wobei dahingestellt sein mag, ob es sich dabei immer um genau dieselbe Substanz handelt. Als Beispiele seien genannt: Reiskleie, Blätter verschiedener Pflanzen (Malva, Prunus Laurocerasus, Helianthus annuus), Pollenkörner einer Anzahl von Blüten, Kulturflüssigkeit von *Rhizopus suinus*, und auch wieder menschlicher Harn.

Der Verdacht kam auf, dass Rhizokalin mit Wuchsstoff identisch sein könnte, besonders auch, da konzentrierte Auxinpräparate sich als rhizokalinhaltig erwiesen. Es kam hinzu, dass gefunden wurde, dass Rhizokalin eine ungesättigte organische Säure ist, welche ungefähr dieselbe Stärke wie Auxin und ebenfalls un-

gefähr dieselbe Löslichkeit hat. Auch die Destillation und Laktionisierung geschieht unter sehr ähnlichen Bedingungen. Gegen die Identität aber spricht der Umstand, dass die natürlichen Produkte sich sehr verschieden verhalten können in bezug auf ihren Wuchsstoff- und Rhizokalingehalt. Ein paar Beispiele mögen das erläutern. Wenn man sowohl den Auxin- als den Rhizokalingehalt in einer bestimmten, willkürlich gewählten Einheit ausdrückt, so findet man z. B. folgende Zahlen für resp. wurzelbildende Substanz und Wuchsstoff: Menschlicher Harn 0,7 bis 3,0 gegen 0,5; Pollenkörner von *Acer Negundo* 0 gegen 20; Pollen von *Hicoria cordiformis* 2,5 gegen 65; Pollen von *Quercus alba* 60 gegen 0,7; Blätter von *Prunus Laurocerasus* 0,04 gegen 0; man könnte diese Beispiele mit manchen vermehren. Diese Zahlen können doch kaum anders gedeutet werden als durch die Verschiedenheit von Auxin und Rhizokalin. Es handelt sich ja auch um sehr verschiedene Reaktionen der Pflanze: beim Auxin nur Zellstreckung, beim Rhizokalin zwar auch Zellstreckung, daneben aber auch Zellteilung und überhaupt die Bildung von Organen von bestimmter Form.

Es scheint wohl als feststehend angenommen werden zu können, dass die wurzelbildende Substanz in den Blättern, mehr speziell in aussprossenden Knospen, unter dem Einfluss des Lichtes gebildet wird. Bei normalen Pflanzen strömt sie dann den unterirdischen Teilen zu, wo sie die normale Wurzelbildung veranlasst; wird die Verbindung mit der Wurzel unterbrochen, so bilden die Wurzeln sich an der Basis des Stecklings.

Vielleicht mag noch erwähnt werden, dass manche Beobachtungen darauf hindeuten, dass es in der Pflanze auch Hemmungsstoffe gibt, welche z. B. Veranlassung dazu sind, dass gewisse Teile sich nicht entwickeln. Vorläufige Beobachtungen meines Sohnes scheinen darauf hinzudeuten, dass auch diese Hemmungsstoffe organische Säuren sind. Um welche unendlich kleine Mengen es sich dabei handelt, geht wohl am besten daraus hervor, dass man für den soeben genannten Testversuch mit Rhizokalin den Zucker des Handels, auch wenn derselbe chemisch rein genannt wird, nicht benutzen kann; derselbe muss erst mit Chloroform oder Äther von Hemmungsstoffen gereinigt werden, soll der Versuch gelingen.

Es lassen sich noch andere Substanzen als Hormone im Pflanzenreich bezeichnen. Wir verdanken deren Kenntnis in erster In-

stanz FITTING. Derselbe hat gezeigt, dass Protoplasmaströmung oft durch äusserordentlich kleine Mengen von Substanzen angeregt wird, welche im Pflanzenkörper gebildet werden. Er bezeichnet diesen Einfluss mit dem Namen Chemodinese. Wenn man Schnitte von Vallisneriabläthern in chemisch reines destilliertes Wasser bringt, so tritt keine Strömung auf, dieselbe fängt aber an, wenn äusserst verdünnte Pflanzenextrakte zugesetzt werden. FITTING konnte durch Herumprobieren mit vielen organischen Substanzen zeigen, dass es sich hier wohl in erster Instanz um Aminosäuren handelt. Eine Lösung von $\frac{1}{10,000,000}$ Mol. Asparagin, Asparaginsäure oder Glutaminsäure wirkt schon auslösend auf diese Bewegung.

Hormonalwirkung kann auch bei der Sinnpflanze mit im Spiele sein. RICCA hat zeigen können, dass hier bei der Fortpflanzung des Reizes einer Substanz Rechnung getragen werden muss, welche jedenfalls eine Rolle spielt. FITTING hat auch hier die Natur der Substanz zu erforschen gesucht; dabei stellte sich heraus, dass gewisse Monaminosäuren und Anthrachinonderivate eine ähnliche Wirkung haben, wenn man abgeschnittene Mimosasprosse in eine äusserst verdünnte Lösung einer dieser Substanzen bringt.

Es handelt sich hier, wie übrigens in allen von uns besprochenen Beispielen, stets um den Einfluss von äusserst geringen Mengen von irgendeiner von der Pflanze gebildeten Substanz, so gering, dass man wohl noch vor kurzer Zeit solche Beeinflussungen für unmöglich erklärt haben würde. Wir waren zwar in andern Fällen schon bekannt geworden mit dieser grossen Macht des Kleinen. Aber dann handelte es sich um Wirkungen auf ein einzelnes Bakterium. Als ENGELMANN erklärte, dass bestimmte Bakterien imstande seien, auf die Anwesenheit von einem Molekül Sauerstoff zu reagieren, erregte diese Mitteilung zwar Staunen, aber man verglich die Grösse des Bakteriums mit derjenigen des Moleküls und fand die Sache dann nicht mehr so merkwürdig. Ähnliches gilt für die Angaben PFEFFERS, dass ein Spermatozoid eines Farnes schon von $\frac{28}{1,000,000,000}$ mgr Apfelsäure chemotaktisch gereizt wird, da das Gewicht eines Spermatozoids auf das 14fache dieses Wertes berechnet wurde.

Hier, wo es sich um die Zellen höherer Gewächse handelt, stand die Sache aber doch etwas anders, und dennoch hat sich gezeigt, welche erstaunlich kleine Mengen von diesen Hormonen

noch eine deutliche Wirkung hervorrufen. Beim Rhizokalin wurde z. B. gearbeitet mit einem aus Harn erhaltenen Produkt, wovon 1 mgr imstande war, bei Erbsen 50,000 Wurzeln entstehen zu lassen. Man bedenke dann dabei, dass nur ein sehr kleiner Teil dieses mgr wirklich wurzelbildende Substanz war. Und beim Wuchsstoff haben wir schon einige ähnliche Zahlen gehört; bedenken wir, dass $\frac{1}{50,000,000}$ mgr Auxin, bei einem Haferkeimling einseitig angebracht, imstande ist, eine Ablenkung von 10° zu veranlassen; fragen wir uns dann einmal ab, wieviel jede einzelne reagierende Zelle davon erhalten wird? Ich will diese Beispiele hier nicht vermehren; das Gesagte genügt wohl, um die Macht des Kleinen in der lebenden Natur zu zeigen.

Vielleicht hat schon mancher sich hin und wieder die Frage vorgelegt, ob die neu aufgefundenen Tatsachen nicht auch praktischen Nutzen bringen können, ganz besonders der Landwirtschaft und dem Gartenbau. Diese Frage muss ganz entschieden bejahend beantwortet werden, sowohl wo es den Wuchsstoff betrifft als die wurzelbildende Substanz. Bei letzterer ganz besonders, weil es meinem Sohne gelungen ist, das Rhizokalin von Lanolin aufzunehmen zu lassen, so wie LAIBACH es mit dem Wuchsstoff gemacht hat; solche Salbe an der Aussenseite von intakten Pflanzen angebracht, hat schon Wurzelbildung hervorgerufen. Aber wir können vielleicht weiter in die Ferne sehen und da glauben, dass der Mensch es künftighin in der Hand haben wird, nach Willkür Wurzeln, Blüten und Früchte entstehen zu lassen.

Bleiben wir auf mehr rein wissenschaftlichem Gebiete, so werden Sie gesehen haben, dass die Biologie, und hier mehr speziell die Botanik, in der Hinsicht Physik und Chemie von weitem nachfolgt, als auch sie sich mit immer kleineren Objekten beschäftigt; wenn zwar bei weitem nicht so klein wie bei den Wissenschaften der unbelebten Natur, so lässt sich dennoch auch hier kaum eine Grenze sehen. Und Sie werden vielleicht aus dem Mitgeteilten den Eindruck bekommen haben, dass sich hier dem menschlichen Geist ganz neue Perspektiven eröffnen, vor wenigen Jahren noch ungeahnt, es sei denn von solchen genial veranlagten Forschern wie SACHS und BEYERINCK.