

Wuchs-, Wund- und Reizstoffe bei Pflanzen.

Von

Dr. Alfred Zeller.

Vortrag, gehalten am 11. Januar 1932.

Wohin wir in der Natur blicken, überall finden wir Leben, sprossendes Leben, dessen wir uns nur dann und wann in seiner ganzen Majestät und Gewalt bewußt werden; etwa wenn im Frühling in zauberhafter Weise sich Wald und Feld fast über Nacht in frisches Grün hüllen oder wenn die nächtlichen Wälder vom Röhren der Hirsche widerhallen. Und wenn nun jemand fragt, was ist das Leben, was heißt das: „Leben“ — so müssen wir uns gestehen, daß alle menschliche Wissenschaft es noch nicht fertiggebracht hat, zu definieren, exakt zu definieren, was Leben heißt. Ja, wir können das Leben beschreiben, seine mannigfachen Erscheinungsformen darstellen, einzelne analysieren — aber was es ist, wissen wir nicht.

Alle Beschreibungen des Lebens stimmen darin überein, daß es gewisse Eigenschaften gibt, die jedem Gebilde, das als lebend bezeichnet werden will, zukommen müssen. Und wenn ich versuche, in den vorliegenden Zeilen einiges über Wachstum und Reizbarkeit, zwei Eigenschaften alles Lebendigen, zu berichten, so bin ich mir wohl bewußt, daß es ein Unding ist, im Rahmen eines kurzen Aufsatzes mehr geben zu wollen als etwa ein Schlaglicht auf ein oder das andere Teilproblem, mehr geben zu wollen als einen kurzen Bericht über einige, vielleicht scheinbar nur lose zusammenhängende Tatsachen:

Das Wachstum, das in der hier in Betracht gezogenen Form immer mit einer Umwandlung körperfremder in körpereigene Substanz verbunden ist, stellt eine wunderbare Eigenschaft der Lebewesen dar, die ebenso unerklärlich und für das Leben ganz spezifisch ist wie die zweite Eigenschaft aller Lebewesen, von der hier die Rede sein soll, die Reizbarkeit. In der ganzen anorganischen Welt findet sich nirgends eine Spur von Reizbarkeit, und es ist dieses, fast möchte man sagen sinnvolle Beantworten äußerer Einflüsse in spezifischer Weise vielleicht die größte Kluft, die belebte und unbelebte Welt voneinander scheidet.

Auf Schritt und Tritt begegnen wir im Pflanzenleben Äußerungen dieser Reizbarkeit. Wer hätte nicht schon beobachtet, daß sich die Pflanzen dem Lichte zuwenden? Wer nicht, daß die Stengel immer gegen die Richtung der Schwerkraft, die Wurzeln immer in der Richtung der Schwerkraft wachsen? Wie eng schmiegt sich eine Ranke an den Halt gewährenden Draht, während ihre Schwester neben ihr, die den Draht nicht fand, elend zugrunde geht! Von allen diesen Reizerscheinungen lassen sich die durch das Licht bedingten relativ noch am besten analysieren und untersuchen. Wie bei allen experimentellen Untersuchungen biologischer Vorgänge spielt auch hier die Frage des Versuchsobjekts die Hauptrolle; vom Glück bei der Wahl des Versuchsobjekts hängt ja meist Wohl und Wehe aller Untersuchungen ab. Mit seltener Einstimmigkeit haben sich alle Forscher, die auf dem

Gebiete der Reiz- und Bewegungserscheinungen, die bei Pflanzen durch das Licht hervorgerufen werden, die auf dem Gebiete des Phototropismus arbeiten, auf ein Versuchsobjekt geeinigt, auf ganz junge Keimlinge von Gräsern, hauptsächlich von *Avena*, vom Hafer.

Die ersten Blätter junger Gräserkeimlinge stecken in einer Hülle, in einer Blattscheide, die den Namen Koleoptile führt und eine vollkommen geschlossene zylindrische Röhre darstellt, die im allgemeinen nur von zwei Gefäßbündeln, zwei Blattnerven, durchzogen wird. Eine schon lange bekannte Tatsache ist es nun, daß wir an der Koleoptile mit wunderbarer Deutlichkeit das Phänomen der Reizleitung beobachten können: wenn wir die Spitze einer Haferkoleoptile einseitig belichten — nur die äußerste Spitze, nicht etwa auch tiefer gelegene Teile —, so sehen wir, daß nach einiger Zeit eine Krümmung der Koleoptile eintritt. Sie wendet sich in die Richtung, aus der das Licht sie traf. Aber merkwürdig, nicht etwa die vom Licht getroffene Koleoptilspitze krümmt sich, nein, ein um Zentimeter tiefer liegender Teil der Koleoptile krümmt sich, ein Teil, der gar nie vom Licht getroffen wurde. Wir stehen hier vor einer Erscheinung, die uns am tierischen Organismus als Selbstverständlichkeit anmutet, die uns an der Pflanze fürs erste aber doch etwas merkwürdig berührt: vor Reizleitungserscheinungen; der Reiz, der die Spitze des Keimlings getroffen hat, wird nach abwärts geleitet und bewirkt dort Krümmungen. Die erste Frage, die da auftaucht, ist natürlich

die nach der Lokalisation der Reizleitung; wird der Reiz in den Gefäßbündeln oder im übrigen parenchymatischen Grundgewebe geleitet? Durch kleine Einschnitte unterbrach man die Gefäßbündel und verhinderte so eine Reizleitung durch sie: die Krümmung trat trotzdem bei Belichtung der Spitze auf, die Reizleitung muß also im parenchymatischen Grundgewebe und nicht in den Gefäßbündeln vor sich gehen. Im Vergleich zu den Verhältnissen im tierischen Organismus eine merkwürdige Tatsache: nicht die ohnehin spärlichen, zur Leitung schon morphologisch bestimmten Gewebe leiten den Reiz, sondern das kompakte Grundgewebe, dem man von vornherein diese Funktion gar nicht zumuten würde.

Boysen-Jensen untersuchte nun im Jahre 1910 die Frage, wo, in welchem Teile des Grundgewebes der Koleoptile die Reizleitung vor sich gehe. Zur Beantwortung dieser Frage machte Boysen-Jensen verschieden tiefe Einschnitte in das Koleoptilgewebe, legte dünne Glimmerplättchen in die Schnittwunde hinein und schloß damit jede Reizleitung über die verletzte Stelle aus. Und wieder zeigte sich ein ganz unerwartetes, fast unverständliches Resultat: der Reiz wird nicht etwa auf der Seite, die vom Licht getroffen wird, geleitet, nein, auf der entgegengesetzten, dunklen Seite. Bei seinen weiteren Versuchen verwendete Boysen-Jensen einmal statt der dünnen Glimmerplättchen dünne Querschnitte durch spanisches Rohr, die er mit Gelatine tränkte. Zu seiner wohl nicht

geringen Verwunderung mußte er feststellen, daß die Reizleitung durch das Einlegen dieser gelatinegetränkten Rohrscheibchen kaum gestört wurde. Also auch über tote Stellen hinweg findet Reizleitung statt! Die Kontinuität des lebenden Gewebes ist offenbar nicht notwendig, ganz im Gegensatz zum tierischen Organismus, wo über eine Unterbrechung in einem Nerv keine Reizleitung möglich ist. Zur weiteren Bekräftigung dieses Ergebnisses ging Boysen-Jensen noch einen Schritt weiter und schnitt die Koleoptilspitze ganz ab. Wenn er sie dann mit Gelatine (oder auch ohne Klebemittel) wieder aufsetzte und belichtete, trat eine Krümmung des unteren Teiles der Koleoptile ein. Zusammenfassend ergab sich also als Ergebnis der Versuche, daß bei Belichtung der Spitze einer Koleoptile in dieser belichteten Spitze eine Veränderung eintritt, die sich auf physikalisch-chemischem Wege ohne unbedingte Mithilfe lebender Gewebe nach unten fortpflanzt und in der wachsenden Zone die Reaktion, die Krümmung verursacht. Es ist naheliegend, unter diesen Umständen an das Auftreten von Stoffen zu denken. Was für Stoffe müssen das nun sein? Was müssen sie in den Koleoptilen bewirken? Einige wichtige Eigenschaften, die den Wuchsstoffen zukommen müssen, werden sich gleich aus einer kurzen Analyse der Krümmung ergeben. Die Krümmung erfolgt zum Licht hin, d. h. also offenbar, daß die dem Licht zugewendete Seite kürzer sein muß als die andere Seite; es wäre ja sonst eine Krümmung gar nicht.

möglich. Entstehen kann die Krümmung daher durch eine Art Zusammensinken der dem Licht zugewandten Seite der Koleoptile oder durch stärkeres Wachstum der lichtabgewandten Seite. Da nun die Reizleitung auf der lichtabgewandten Seite vor sich geht, ist nur die Vorstellung, daß dort Stoffe wandern, die das Wachstum beschleunigen, brauchbar. An der dem Licht zugewandten Seite, die kürzer sein muß (also weniger wächst), wandern diese Stoffe nicht: dies ergibt zwangsläufig eine Krümmung zum Licht hin. Noch einmal kurz zusammengefaßt, ergibt sich bis jetzt für die Krümmung der Koleoptile unter dem Einfluß der belichteten Spitze folgendes Bild. Unter dem Einfluß des Lichtes entstehen in der vom Licht getroffenen Spitze (und nur sie, d. h. etwa der oberste Millimeter ist für den Lichtreiz empfänglich) auf der dem Licht abgewandten Seite Stoffe, die in dieser sogenannten Schattenflanke nach unten wandern und in der wachsenden Zone ein stärkeres Wachstum dieser Schattenflanke verursachen, wodurch eine Krümmung der ganzen Koleoptile zur Lichtquelle hin eintritt.

Dies war etwa die Lage der Dinge, als der Ungar Paál ein paar Jahre nach Boysen-Jensen die Versuche Boysen-Jensens wiederholte und überprüfte. Er konnte die Versuche vollkommen bestätigen. Paál ging aber noch einen Schritt weiter und stellte neue Versuche an, und zwar mit unbelichteten Pflanzen. Er schnitt die Koleoptilspitze ab und setzte sie wieder auf. Es zeigte sich nichts Besonderes. Dann legte er zur Hälfte

in die Schnittfläche ein dünnes Glimmerplättchen ein und siehe da — die Koleoptilen krümmten sich gegen die Seite, wo das Glimmerplättchen eingelegt worden war, und zwar, was nochmals ausdrücklich festgestellt sei, ohne daß von dieser Seite her, oder überhaupt, eine Belichtung stattgefunden hätte. Dieses überraschende Versuchsergebnis ließ nur eine Deutung und eine Folgerung zu: die Koleoptilspitze beeinflusst dauernd den Koleoptilenstumpf; wird diese Beeinflussung, die eine Wachstumsförderung darstellt, einseitig, z. B. durch Einlegen eines Glimmerplättchens ausgeschlossen, so muß natürlich eine Krümmung gegen die Seite, auf der die Wanderung der Wuchsstoffe unterbunden wurde, eintreten.

Die Koleoptilspitze erscheint nach diesen Versuchen also in ganz neuem Licht; nicht mehr nur als Ort an der Pflanze, der imstande ist, einen Lichtreiz aufzunehmen und weiterzugeben, sondern als Ort, der dauernd durch die Abgabe von wachstumsfördernden Stoffen, die er nach unten abgibt, das Wachstum der Pflanze in weitestem Maße beeinflusst. Wie freilich das Licht im einzelnen bei seinem Eintreffen auf die Koleoptilspitze und auf die Wuchsstoffproduktion der Spitze wirkt, ist noch ganz unbekannt; Arbeiten aus der letzten Zeit lassen hoffen, daß ein wenn auch nur entfernter Einblick vielleicht in absehbarer Zeit möglich sein wird. Wir werden bei der Besprechung der Eigenschaften der Wuchsstoffe noch darauf zurückkommen.

Bis jetzt haben wir nur von einem Reiz gesprochen, vom Lichtreiz. Vielleicht ebensoviel wie über den Lichtreiz wurde über den Reiz, den die Schwerkraft auf Pflanzen ausübt, gearbeitet. Ein Eingehen auf die dabei vorliegenden, außerordentlich komplizierten Verhältnisse würde hier aber zu weit führen.

Ein anderer Reiz, auf den Pflanzen ziemlich empfindlich reagieren, der aber dem Laien kaum sinnfällig begegnet, ist der Wundreiz. Damit sind keineswegs die Vorgänge gemeint, die zu einer Wundheilung führen, es handelt sich hier vielmehr um Erscheinungen, die als negativer Traumatotropismus (der Wurzeln z. B.) schon seit langer Zeit beschrieben sind. Verletzt man eine Wurzel, eines Keimlings etwa, einseitig, so tritt nach einiger Zeit Wegkrümmung von der Wundstelle ein. Der Keimling selbst verhält sich im allgemeinen umgekehrt, d. h. er krümmt sich zur Wundstelle hin. Wie läßt sich dieses Verhalten erklären? So wie beim Phototropismus wurde auch hier Leitung des Reizes über eine Unterbrechung des lebenden Gewebes hinweg festgestellt. Es ist daher wohl anzunehmen, daß auch beim Zustandekommen der Wundkrümmungen Stoffe mitspielen.

Die Ansichten gehen hier ziemlich weit auseinander; insbesondere die Erklärung der Tatsache, daß der Wundreiz auch nach oben weitergeleitet wird, stößt auf beträchtliche Schwierigkeiten. Wenn der Wundreiz z. B. durch einen kleinen Einschnitt hergestellt wird, ist es ja plausibel, daß dadurch an dieser

„Wundflanke“ eine Hemmung des Herabwanderns der Wuchsstoffe und damit eine Hemmung des Wachstums dieser Flanke erfolgt, so daß eine Krümmung gegen diese Flanke (positiver Traumatotropismus der Keimlinge) erfolgen muß. Vermutlich spielt auch die durch den Einschnitt gestörte Versorgung mit Reservestoffen eine Rolle; dadurch würde sich bis zu einem gewissen Grad die Ausbreitung des Wundreizes nach oben erklären lassen.

Eine andere Gruppe von Forschern nimmt an, daß bei der Verwundung besondere Stoffe, die sogenannten Wundstoffe, gebildet werden, die Antagonisten der Wuchsstoffe sind. Die Wirkung dieser beiden Stoffgruppen aufeinander wäre also etwa so zu denken wie die Wirkung von Säure und Lauge aufeinander: beim Zusammentreffen tritt gegenseitige Aufhebung der Wirkung ein. Die Wundstoffe müßten also im Gegensatz zu den Wuchsstoffen auf das Wachstum des Keimlings hemmend und auf das Wachstum der Wurzel fördernd wirken.

Die Dinge liegen hier noch ziemlich ungeklärt; für Hafer-Koleoptilen wurde vor einiger Zeit nachgewiesen, daß wahrscheinlich die Hemmung der Wanderung der Wuchs- und Reservestoffe beim Wundreiz eine Rolle spielt, daß jedoch die eigentliche primäre Reizreaktion nicht positiv, sondern negativ ist. Für andere Pflanzen wurden die Wundstoffe ziemlich sicher nachgewiesen und auch einige ihrer Eigenschaften, wie Thermostabilität, aufgezeigt. Zusammenfassend läßt

sich sagen, daß die Wundstoffe bei *Avena* kaum existieren dürften und daß sie eigentlich nirgends ganz eindeutig und unwidersprochen nachgewiesen sind.

Daß ein Tier durch einen Stoß, durch eine Erschütterung eine gewisse Reizung erfährt, daß es diesen Reiz, der da ausgeübt wird, aufnimmt, ist uns eine Selbstverständlichkeit. Im Gegensatz dazu erscheint uns eine Stoß- oder Erschütterungsempfindlichkeit von Pflanzen als etwas Ungewohntes, etwas Absonderliches. Das beste Beispiel für eine solche Stoßempfindlichkeit ist wohl die allgemein bekannte Mimose, die aber doch einen Extremfall darstellt. Es sind keineswegs alle Pflanzen gegen Stoß in einer Weise, die augenfällig in Erscheinung träte, empfindlich; und doch sind weit mehr Pflanzen berührungsempfindlich als man vielfach glaubt. Bei zahlreichen Korbblütlern ist z. B. das Blütenköpfchen gegen Erschütterungen ziemlich empfindlich. Wenn man etwa ein Gänseblümchen hernimmt, das seine Strahlblüten recht schön breit entfaltet hat, und man schüttelt dieses Blütenköpfchen mit einiger Heftigkeit, so werden sich nach verhältnismäßig kurzer Zeit die vorher ausgebreiteten Strahlenblüten zusammenzuneigen beginnen, ungefähr so, wie das am Abend der Fall ist. Ziemlich allgemein bekannt ist auch die Berührungsempfindlichkeit der Staubfäden der Berberitze, die diese Eigenschaft zur sicheren Erzielung der Bestäubung verwendet. Das klassische Objekt aller Studien über Berührungsreizempfindlichkeit ist und bleibt aber doch die Mimose, die auf die ver-

schiedensten Reize hin, auf mechanische, elektrische und chemische Reize mit dem bekannten Zusammenklappen ihrer Fiederblättchen und mit dem Senken der Blattstiele antwortet.

Wie kaum bei irgendeinem anderen Organismus kann man bei der Mimose die Reizleitung beobachten. Wenn man z. B. das äußerste Ende eines Blattes durch Ansengen einiger Fiederblättchen verletzt, so klappen nach Bruchteilen von Sekunden die nächststehenden Fiederblättchen nach oben zusammen — Augenblicke später folgen die nächsten, die folgenden schließen sich an —, man sieht förmlich, wie der Reiz von der Stelle seiner Entstehung weiterwandert, hinauf, gegen den Blattstiel zu, gegen den Stamm der Pflanze hin. Ist das letzte Paar der Fiederblättchen nach oben zusammengeklappt, dann tritt einige Augenblicke Ruhe ein: der Reiz wandert durch den Blattstiel. Am Ende des Blattstieles angelangt, findet er dort ein Gelenk, ähnlich den Gelenken, die die Fiederblättchen an ihrem Grunde besitzen. So wie vorhin diese wird jetzt das Gelenk am Blattstielgrunde vom Reiz getroffen und reagiert mit einem plötzlichen Sinkenlassen des Blattstieles. Nun ist der Reiz im Stengel angekommen und wandert dort weiter; trifft er bei seiner Wanderung (er wandert nach oben und nach unten, wenn auch je nach der Stärke des ausgeübten Reizes mit verschiedener Intensität und Geschwindigkeit) nun auf die Ansatzstelle eines Blattstieles, auf das dort befindliche Gelenk, so wandert er auch dort hinein, bringt zuerst den Blattstiel zum

Absinken nach unten und dann, nun von der Blattbasis gegen die Spitze zu fortschreitend, die einzelnen Paare der Fiederblättchen zum Zusammenklappen. So wandert der Reiz, der von der Spitze eines Blattes ausging, durch die ganze Pflanze, und wenn er stark genug war und sich die Pflanze in gutem Zustand befand, erleben wir das merkwürdige Schauspiel, daß im Verlaufe einiger Minuten alle reizbaren Gelenke, die an der Pflanze vorhanden sind, ohne weiteres äußeres Zutun gereizt werden und daß so die Pflanze vollständig in den gereizten Zustand übergeht. Ob es wirklich so weit kommt, hängt natürlich stark von den äußeren Bedingungen ab, von entsprechender Wärme und Feuchtigkeit, von entsprechender Belichtung usw. Durch Narkotika läßt sich die Mimose ähnlich wie ein Tier narkotisieren.

Es ist klar, daß die hier so wunderbar zu beobachtende Reizleitung schon seit langen Zeiten die Aufmerksamkeit der Botaniker auf sich zog und daß man besonders nach ihrem Mechanismus forschte. Man fand bald, daß jede Reizung eines Gelenkes mit einer Verfärbung verbunden ist, die dadurch bedingt ist, daß Wasser aus den Zellen in die zwischen den Zellen befindlichen Hohlräume eintritt. Man vermutete also, wie sich bald herausstellte mit Unrecht, daß etwa der gestörte Wasserdruck die Ursache und das Hilfsmittel der Reizleitung sei. Um dies näher zu untersuchen, tötete man ein Stengelstück durch Abbrühen mit heißem Wasser ab, um zu sehen, ob der Reiz auch darüber

hinweggeleitet werden könne. Und der Versuch gelang, es pflanzte sich der Reiz auch über das abgetötete Stengelstück hinweg fort. Der Italiener Ricca ging bei seinen Versuchen noch einen Schritt weiter, indem er einen Mimosenstengel auseinanderschnitt und die Schnittflächen durch ein wassergefülltes Glasrohr miteinander verband. Und auch über diese Unterbrechung des Stengels hinweg nahm der Reiz seinen Weg. Dabei konnte man dann deutlich sehen, wie aus dem Stengel eine grünliche Wolke von Stoffen austrat, die langsam im Wasser nach abwärts wanderte; hatte sie das Glasrohr passiert und hatten die Stoffe die nach oben stehende Schnittfläche des Stengels erreicht, traten sie offenbar dort ein und pflanzten so durch ihre Anwesenheit den Reiz fort. Diese Stoffe, die da aus gereizten Mimosenstengeln austreten, werden als Erregungssubstanzen bezeichnet und wirken auch beim Aufsaugenlassen durch einen Mimosenstengel reizauslösend. In gleicher Weise wirken, wie Fitting zeigen konnte, Abkochungen von *Mimosa*-Blättern und merkwürdigerweise auch der menschliche Speichel. Der Grazer Forscher Umrath beschäftigte sich ziemlich viel mit diesem Problem und konnte zeigen, daß die Erregungssubstanzen, die bei mehreren stoßempfindlichen Pflanzen nachgewiesen werden konnten, ziemlich spezifisch sind, daß also die von *Biophytum* z. B. bei *Mimosa* nicht oder kaum wirksam sind.

Bisher haben wir nur solche Reize betrachtet, auf die die Pflanze mit irgendeinem äußerlich sicht-

baren Geschehen, mit einer Krümmung, mit einer Bewegung, antwortet. Wir finden aber im pflanzlichen Organismus auch Bewegungen, die äußerlich nicht sichtbar sind, die aber vielleicht für den Organismus doch eine beträchtliche Bedeutung besitzen; es sind dies die Erscheinungen der Protoplasmaströmung. In den Zellen, in denen diese Strömung auftritt, kommt der ganze plasmatische Wandbelag in Bewegung, er schleppt die in ihn eingebetteten Chlorophyllkörner mit, er schleppt den Zellkern mit und bewegt all das mit ziemlicher Geschwindigkeit in der Zelle rundum. Diese Plasmaströmung läßt sich besonders schön bei verschiedenen Wasserpflanzen beobachten und tritt hauptsächlich nach äußeren Verletzungen oder infolge irgendeines anderen Reizes auf. Insbesondere wirken reizauslösend erhöhte Temperaturen sowie verdünnte Lösungen verschiedener Stoffe. In höchstem Maße sind für derartige chemische Beeinflussungen die Zellen einer Wasserpflanze, die Zellen von *Vallisneria spiralis* empfänglich. Schon ganz unglaublich geringe Mengen von Stoffen wirken plasmaströmungsauslösend (chemodinetisch). Es sind insbesondere Stoffe, die als Spaltprodukte von Eiweißkörpern schon lange bekannt sind, die da den Rekord halten. Einer dieser Stoffe bewirkt noch in einer Verdünnung von 1:80 Millionen Plasmaströmung. Was das bedeutet, mag etwa darnach beurteilt werden, daß man ein Stück Würfelzucker in rund 400 m³ Wasser auflösen müßte, um eine Verdünnung von 1:80 Millionen zu erhalten.

Wenn somit nachgewiesen werden konnte, daß eine ganze Anzahl von Reizen in ihrer Reaktionskette ein stoffliches Glied enthalten, so ist damit der Reizmechanismus doch noch keineswegs geklärt. Es bedarf da wohl noch sehr, sehr eingehender Untersuchungen und vermutlich werden auch noch einige vielleicht recht überraschende Entdeckungen gemacht werden müssen, bis auch nur eine Phase des Reaktionsablaufes eines Reizes geklärt sein wird. Die meiste Aussicht, in dieser Richtung etwas weiterzukommen, besteht wohl noch auf dem Gebiet der oben besprochenen Wuchsstoffe.

Wie da vorhin auseinandergesetzt wurde, haben die Untersuchungen, die durch Boysen-Jensens Arbeit angeregt wurden, den Beweis erbracht, daß bei der Beantwortung eines Lichtreizes durch eine Pflanze eine stoffliche Komponente mitspielt, ja daß es diese Wuchsstoffe sind, die das Streckungswachstum der Pflanzen in hohem Maße fördern, es vielleicht sogar erst ermöglichen. Das Ziel der Erforschung dieser Stoffe ist natürlich ihre Isolierung, ihre Darstellung und schließlich ihre Synthese auf künstlichem Wege. Ziemlich vielversprechende Ansätze zu einer Reindarstellung liegen schon vor und es ist hochinteressant, die diesbezüglichen Versuche etwas näher zu betrachten. Ausgegangen sind sie von der Tatsache, daß zweifellos die Stoffe aus der Koleoptilspitze in den Koleoptilstumpf hinunterwandern, und zwar ohne Mithilfe lebenden Gewebes. Die Forscher sagten sich nun, wenn die

Wachsstoffe in den Koleoptilstumpf hineinwandern, warum sollen sie nicht auch anderswo hineinwandern und versuchten, die Wachsstoffe in kleine Würfelchen aus Agar-Agar, einer gallertartigen Masse, die aus den Zellwänden von Rotalgen hergestellt wird, hineindiffundieren zu lassen. Und der Versuch gelang. Die kleinen Agarwürfelchen wirkten, wenn man einige Zeit hindurch aus einer Koleoptilspitze Wachsstoff in sie hatte hineindiffundieren lassen, beim Aufsetzen auf einen Koleoptilstumpf wie eine Spitze. Einseitiges Aufsetzen z. B. erzeugte eine Krümmung vom Agarwürfelchen weg, ein Aufsetzen auf den ganzen Koleoptilstumpf ergab eine deutliche Wachstumsbeschleunigung der ganzen Koleoptile usw. Mit der Ausarbeitung dieser Methode war ein großer Schritt vorwärts getan: hatte man doch jetzt die Möglichkeit, quantitative Versuche anzustellen, man konnte Agarwürfelchen verwenden, in die 1, 2, 3 oder mehrere Koleoptilspitzen ihre Wachsstoffe abgegeben hatten u. dgl. m. Exakte Versuche ergaben dann, daß die Ablenkung, die eine Koleoptilspitze bei einseitiger Behandlung mit Wachsstoff erfährt, bei großen Verdünnungen des Wachsstoffes den angewandten Wachsstoffmengen proportional ist. Verwendet man stärkere Wachsstoffkonzentrationen, so zeigt sich, daß von einer gewissen Konzentration an keine weitere Förderung des Wachstums mehr eintritt, daß vielmehr eine Hemmung zu beobachten ist. Diese Erscheinung paßt ausgezeichnet in das Tatsachenmaterial, das uns auch sonst aus dem Studium der

verschiedenen Reize sowohl im pflanzlichen als auch im tierischen Organismus bekannt ist: daß nämlich alle Stoffe, die in starker Verdünnung oder in kleiner oder kleinster Menge fördernd, anregend wirken, in größerer Menge hemmen, ja schädigend wirken (vgl. Alkohol). Auch die Tatsache, daß die Wuchsstoffe unspezifisch sind, daß ihre Wirksamkeit nicht auf die Pflanzenart beschränkt ist, von der sie gerade stammen, spricht sehr für die allgemeine Verbreitung eines oder weniger Stoffe, die als Wuchsstoffe wirken.

Die besonders schönen Forschungsergebnisse der letzten Zeit wurden unter anderem hauptsächlich dadurch ermöglicht, daß man fand, daß Koleoptilen von Maispflanzen besonders ergiebige Wuchsstoffquellen darstellen. Wenn heute für die Gewinnung größerer Wuchsstoffmengen besonders *Zea* verwendet wird, bleibt doch die herrschende Stellung des Hafers als geeignetstes Objekt für die Auswertung der Wuchsstoffe unberührt.

So sind die Wuchsstoffe in verhältnismäßig großen Mengen zugänglich geworden, in verhältnismäßig großen Mengen — die absoluten Mengen sind fast unvorstellbar klein, lassen sich doch noch milliardstel Gramme Wuchsstoff an der Pflanze eindeutig nachweisen. Unter diesen Umständen ist es nicht zu verwundern, daß man noch nicht allzuviel über die Eigenschaften der Wuchsstoffe weiß, außer dem, was sich als Wirkung am pflanzlichen Organismus zeigt. Schon die ersten Versuche, die einige Klarheit in diese Fragen bringen sollten, ließen erkennen, daß die Substanzen,

die als Wuchsstoffe wirken, thermostabile Stoffe sind, daß es also keine Eiweißkörper und keine Fermente, sondern wahrscheinlich kristallisierende Körper sind. Aus Diffusionsversuchen konnte man schließen, daß ihr Molekulargewicht etwa 380 (also ungefähr ebensoviel wie das des Rohrzuckers) betragen müsse.

Bei der Betrachtung der Wirkung der Wuchsstoffe war bis jetzt immer nur von ihrer Wirkung auf Koleoptilën, also auf Stengel, auf oberirdische Pflanzenorgane, die Rede. Wie wirken sie nun auf Wurzeln? Es ist bekannt, daß sich Wurzeln vom Licht wegwenden, sie sind negativ phototrop. In der Wuchsstoff-Terminologie heißt das aber, daß die Wuchsstoffe auf Wurzeln offenbar eine Hemmung ausüben müssen, wenn die belichtete Flanke, auf der die Wanderung der Wuchsstoffe durch die Lichtwirkung offenbar gehemmt ist, stärker wächst als die Schattenflanke und so eine negative Krümmung erzeugt. Tatsächlich ließ sich durch Aufsetzen von Koleoptilspitzen auf Wurzeln eine beträchtliche Hemmung des Wurzelwachstums erzielen. Es müssen wohl ganz gewaltige Unterschiede sein, die da in der lebendigen Struktur von Wurzel und Stengel vorhanden sind, wenn dieselben Stoffe bei diesen beiden Organen gerade entgegengesetzte Wirkungen hervorrufen. Freilich, darüber, wie etwa diese Wirkungen, sei es die eine oder sei es die andere, zustande kommen, darüber wissen wir noch gar nichts. Die Wirkung der Wuchsstoffe tritt jedenfalls in der sogenannten Streckungszone ein, also in jener Gegend des Stengels

oder der Wurzel, wo die jungen Zellen, die erst vor kurzem aus erwachsenen durch Teilung hervorgegangen sind, ihre volle Größe erreichen, wo sie sich in die Länge strecken. Versuche der letzten Zeit haben, wenn auch nur annähernd, eine erste Ahnung der Wirkung der Wuchsstoffe ermöglicht. Es zeigte sich, daß das Zellplasma unter dem Einfluß der Wuchsstoffe schwerer färbbar wird; der Kern ändert sein Verhalten gegen Farbstoffe nicht. Gleichzeitig mit der Änderung der Färbbarkeit des Plasmas läßt sich auch eine andere Erscheinung beobachten: die Dehnbarkeit der Zellwände nimmt beträchtlich zu. Man kann dies dadurch veranschaulichen, daß man den Keimling horizontal legt und nun die Durchbiegung, die beim Auflegen von kleinen Drahtstückchen auf den Keimling auftritt, mißt. Diese Durchbiegung ist vorliegenden Falle keine elastische, es ist eine richtige Dehnung der Membran, die eintritt. Die stark gesteigerte Wanddehnbarkeit ist das äußerlich sichtbare Geschehen; da die Membranen aber doch mehr oder minder tote Gebilde sind, muß der erste Anstoß zur Änderung ihrer Dehnbarkeit wohl von dem ihnen ja aufs engste anliegenden Plasma ausgehen, wofür das geänderte färberische Verhalten des Plasmas einen Hinweis bildet.

Wie vorhin schon erwähnt wurde, sind die Wuchsstoffe höchstwahrscheinlich verhältnismäßig einfach gebaute Körper mit einem Molekulargewicht so etwa um 400 herum. Es ist daher auch weiter nicht zu verwundern, daß auch außerhalb des pflanzlichen Or-

ganismus Stoffe gefunden wurden, die genau so wie die Wuchsstoffe, auf Koleoptilen z. B., wirken; ob diese Stoffe mit den beim natürlichen Geschehen im Organismus mitspielenden Stoffen identisch sind, läßt sich vorläufig noch nicht entscheiden; für einzelne ist es aber ziemlich wahrscheinlich. Das erste „körperfremde“ Vorkommen von Wuchsstoffen wurde im menschlichen Speichel festgestellt; kurze Zeit später fand man solche Stoffe unter den Stoffwechselprodukten von Bakterien, darunter auch von solchen, die im Munde des Menschen vorkommen, so daß es ganz leicht möglich ist, daß die im Speichel gefundenen Wuchsstoffe zu den Stoffwechselprodukten der im Munde lebenden Mikroorganismen gehören. Auch verschiedene Pilze bilden auf geeigneten Nährböden Wuchsstoffe, so z. B. *Rhizopus suinus*, ein Pilz, der für Schweine pathogen ist; er bildet das sogenannte Rhizopin, das genau so wie Wuchsstoff auf Avena-Koleoptilen wirkt. Durch Anwendung der in der Fermentforschung üblichen Methoden ist es gelungen, diesen Stoff bis auf das 7000 fache anzureichern und festzustellen, daß noch 1 milliardstel Gramm, wahrscheinlich aber noch viel weniger, sicher an seiner Wirkung auf die Pflanzen erkennbar ist. Bei der Wirksamkeit von derart geringen Mengen muß die Annahme, die vielleicht versucht werden könnte, es handle sich bei der Wuchsstoffwirkung nur um eine Wirkung von Nahrungsstoffen, fallen gelassen werden; sie sind echte Reizstoffe, die schon in kleinsten Mengen, ähnlich wie die Hormone des tierischen Organismus,

ihre Wirksamkeit entfalten und die als Nahrungsstoffe auch nicht im entferntesten in Betracht kommen. Übrigens bildet auch die Hefe, dieser, man möchte beinahe sagen geheimnisvolle Organismus, der fast täglich ein neues Stoffwechselproblem liefert, Wuchsstoffe in recht beträchtlicher Menge, und auch der Gärungsstoffwechsel der Hefe wird durch die Wuchsstoffe beeinflusst.

Die Verbreitung von Stoffen, die das Wachstum beeinflussen, ist weitaus größer als man zuerst dachte. Und immer wieder finden sich neue Vorkommen derartiger Stoffe. Es ist geradezu verwunderlich, aber für den Geist der Synthese, der jetzt allgemein in der Wissenschaft lebendig zu werden beginnt, recht bezeichnend, daß man erst in letzter Zeit daraufkam, daß auch tierische Gifte, wie Kröten-, Bienen- und Schlangengift, für manche Pflanzen ausgesprochen giftig sind. Wohl im Anschluß an derartige Untersuchungen hat man sich auch mit der Frage der Wirksamkeit tierischer Eiweißkörper auf Pflanzen beschäftigt und hochinteressante Ergebnisse erhalten.

Man fand, daß das Blutserum des Menschen, das eine höchst kompliziert zusammengesetzte eiweißhaltige Flüssigkeit darstellt, das Wachstum von Wurzeln bedeutend hemmt. Aber nicht nur das, es zeigte sich auch, daß sich diese Wachstumshemmung unter dem Einfluß verschiedener Krankheiten ändert; besonders giftige Sera liefern perniziöse Anämie und Lepra, während Tuberkulose und Syphilis im Vergleich zum Normal-

serum bedeutend weniger giftige Sera liefern. Wo solche Zusammenhänge auftauchen, erschien auch die Vermutung, daß tierische Hormone auf Pflanzen wirken, nicht von der Hand zu weisen. Von besonderem Interesse sind da einige Tatsachen aus einem Gebiet, das heute im Vordergrund der Hormonforschung steht, aus dem Gebiet der Sexualhormone. Von diesen Hormonen, die eine ganz wesentliche Rolle im tierischen und menschlichen Organismus spielen, ist schon eine ganze Anzahl bekannt. Am besten studiert ist derzeit wohl das sogenannte „Progynon“, ein Hormon, das besonders im weiblichen Organismus vorkommt (sich aber auch im männlichen findet) und das bei kastrierten Ratten und Mäusen brunstaustösend wirkt, was sich am mikroskopischen Bild von Scheidenabstrichen der betreffenden Tiere sehr schön und eindeutig zeigen läßt. Dieses Hormon wurde schon von verschiedenen Seiten kristallisiert dargestellt, wobei als Ausgangsmaterial der Harn schwangerer Frauen oder trächtiger Stuten diente. Es stellt vermutlich ein dreifach ungesättigtes Oxyketon von der Formel $C_{18}H_{22}O_2$ dar und ist deshalb für uns von besonderer Bedeutung, weil es (oder ein anderer Stoff, der im tierischen Organismus dieselben Wirkungen hervorbringt) auch in verschiedenen Pflanzen gefunden wurde. So hat man es z. B. nachweisen können in Kartoffeln, in Petersilienwurzeln, Weidenkätzchen, in keimendem Weizen usw. Aus verschiedenen Tatsachen ist die Annahme höchst wahrscheinlich, daß der in den Pflan-

zen gefundene Körper ein einfacher Ester des im tierischen Organismus vorhandenen Produktes ist. Und diese Substanzen, die im tierischen Organismus als Regulatoren so bedeutsam sind, wirken aller Wahrscheinlichkeit nach auch auf Pflanzen wachstumsfördernd und bewirken früheres Blühen. Die Versuche hierüber sind noch nicht abgeschlossen, jedoch hat sich die interessante Tatsache ergeben, daß im tierischen und menschlichen Harn, der die wichtigste Quelle des Sexualhormons Progynon bildet, neben dem Hormon auch andere Stoffe, die auf Pflanzen als Wuchsstoffe wirken, enthalten sind. Diesen Sachverhalt hat man erst in allerletzter Zeit richtig erkannt; blitzartig beleuchtet und bewahrheitet er die alte, trotz aller Versuche der Kunstdüngerwissenschaft von unseren Bauern nicht aufgegebene Regel, daß Stalldünger eben doch für das Gedeihen der Pflanzen unentbehrlich ist.

Es ist ein ganz neues, hochinteressantes und wichtiges Kapitel pflanzlicher Reiz- und Wachstumsphysiologie, das durch das Studium der Hormonwirkungen auf Pflanzen zu erforschen begonnen wurde. Aus enger Zusammenarbeit von Pflanzenphysiologie, Tierphysiologie und Medizin wird hoffentlich die Gewinnung immer tieferer Erkenntnis der geheimnisvollen Vorgänge im pflanzlichen Organismus entstehen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1932

Band/Volume: [72](#)

Autor(en)/Author(s): Zeller Alfred

Artikel/Article: [Wuchs-, Wund- und Reizstoffe bei Pflanzen. 73-97](#)