

# Besitzt die Pflanze Hormone? <sup>1)</sup>

Von

A. TSCHIRCH (Bern).

(Als Manuskript eingegangen am 4. April 1921.)

Es sind jetzt schon 66 Jahre vergangen, seit Claude Bernard die innere Sekretion beim Menschen entdeckte und in seinen *Leçons de physiologie expérimentale* beschrieb. Er sagt klar und deutlich (in bezug auf die Leber, die er als Blut und Zucker bildendes Organ erkannte): „Es ist in sehr klarer Weise festgestellt, dass es innere Sekrete gibt, d. h. Sekrete, die nicht nach aussen ergossen, sondern direkt ans Blut abgegeben werden“ und die also vom Blute transportiert an andere Körperstellen gelangen. Claude Bernard, der das Blut selbst, das sogenannte innere Milieu des Organismus, als „ein Produkt der inneren Sekretion im wahren Sinne des Wortes“ betrachtet, hat denn auch erkannt, dass ausser der Leber auch die Milz, die Schilddrüse, die Nebennieren Organe der inneren Sekretion d. h. endokrine Drüsen sind. Von ihm stammt denn auch der Ausdruck „Innere Sekretion“. Aber die Ausführungen Claude Bernards blieben 30 Jahre ohne Einfluss auf die Physiologie, obwohl sowohl Charles Robin (1874) wie auch Paul Bert (1881) gelegentlich der Erscheinung gedachten. Erst als Brown-Séguard 1889 durch seine Versuche über die therapeutische Wirkung von Hodenextrakten zu ähnlichen Vorstellungen wie Claude Bernard gelangt war, erregte die Sache Aufmerksamkeit in weiteren Kreisen und man stellte bald fest, dass es auch Drüsen gibt, die sowohl eine äussere Sekretion — mittelst eines Ausführungsgangs — wie auch eine innere besitzen.

Auch Brown-Séguard drückt sich klar und deutlich über die Bedeutung der inneren Sekretion aus: „Dadurch, dass spezielle lösliche Substanzen ins Blut ergossen werden und die anderen Zellen des Organismus beeinflussen, wird eine Solidarität zwischen den einzelnen Zellen hergestellt, und zwar durch einen anderen Mechanismus,

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten auf der Versammlung der Schweiz. Botan. Gesellschaft in Luzern am 4. April 1921.

als es das Nervensystem ist.“ Brown-Séguard erkannte also die funktionellen Korrelationen chemischen Ursprungs oder wie man damals sagte „auf humoraler Grundlage“ ihrem Wesen und ihrem Ursprung nach ganz klar. Bekanntlich wird jeder Organismus durch das zusammengehalten, was die Physiologie das „Korrelationsprinzip“ nennt, d. h. es gehen von gewissen Zentren Schwingungen aus, „die alle Elemente gleichgerichtet funktionieren lassen.“ Das wesentlich Neue der Entdeckung von Brown-Séguard war es nun, dass nicht nur die Nerven, sondern auch das Blut diese Korrelationen herstellt, dass nicht nur durch physiologische, sondern auch durch chemische Mechanismen die Solidarität und „der normale Zustand des Organismus aufrecht erhalten“ wird.

Die neue Lehre wurde im Laufe der letzten 30 Jahre weiter ausgebaut. Man erkannte z. T. in Bestätigung oder Erweiterung früherer Beobachtungen bald, dass ausser der Leber auch die Schilddrüse, die Nebennieren, die Hypophyse, der Pankreas, die Drüsen der Darmschleimhaut, der Thymus und die Genitaldrüsen innere Sekrete bilden und ins Blut sezernieren und Starling gab diesen von Abderhalden neuerdings Increte genannten Substanzen den Namen Hormone, da sie als Erreger wirken, ( $\delta\sigma\mu\acute{\alpha}\omega$  = erregen) oder chemical messengers, da sie als „chemische Sendboten“ fungieren.

So zahlreich auch die Untersuchungen sind, die zur Ermittlung der Physiologie und der Kennzeichen, die diese endokrinen Drüsen zu einem besonderen Organsystem machen und zur Feststellung der charakteristischen Merkmale der Sekrete angestellt wurden, so haben sie doch, wenigstens was die Chemie der inneren Sekrete betrifft, bisher nur ein dürftiges Resultat erzielt.

Gley, dem wir eine zusammenfassende kritische Darstellung des ganzen Fragenkomplexes verdanken, unterscheidet folgende Gruppen innerer Sekrete:

1. Innere Sekrete, die als Nährstoffe dienen. Dazu gehört z. B. der von der Leber gebildete Blutzucker.

2. Morphogenetische Substanzen oder Harmozone (von  $\acute{\alpha}\rho\mu\acute{o}\zeta\omega$  = regeln, dirigieren), die beim Aufbau der Gewebe während der ontogenetischen Entwicklung eine Rolle spielen.

Sie werden z. B. von der interstitiellen Drüse des Testikels, dem Corpus luteum, der Schilddrüse, der Hypophyse (dem sog. Gehirnanhang) und dem Thymus gebildet, sind aber bisher nur physiologisch nachgewiesen, chemisch nicht zu fassen gewesen.

3. Die eigentlichen Hormone oder spezifischen funktionellen Reizstoffe. Bei ihnen kann man unterscheiden zwischen chemischen

Hormonen, die chemische Vorgänge, und physiologischen Hormonen, die physiologische Vorgänge oder Organfunktionen erregen. Zu den chemischen Hormonen gehört z. B. die Substanz, die in der Milz gebildet wird und das Trypsin aktiviert, dann ein Teil des Sekretes der Schilddrüse; zu den physiologischen das Secretin und die die Milchsekretion anregende Substanz.

4. Die entgiftenden Parhormone, die toxische Substanzen (Ammoniak, Aminosäuren, Phenole) in fast unschädliche Verbindungen (wie Harnstoff und Phenylsulfate) umwandeln.

Lassen wir die Glukose und die Fette ausser Betracht, die wir nicht zu den inneren Sekreten im engeren Sinne rechnen können, so bleiben als chemisch gut charakterisierte Substanzen nur das Adrenalin und der Harnstoff übrig, die beide aber nur bedingt zu den Hormonen gestellt, von einigen überhaupt nicht zu ihnen gezählt werden, aber wohl doch wie andere Amine dazu gehören; denn das Trypsinogenin, das Fibrinogen, die diastatischen Fermente, das Antithrombin, der liquor cerebrospinalis, das Secretin, die galactogene Substanz und die als Hormone in Betracht fallenden Substanzen der Schilddrüse sind chemisch ungenügend definiert. „Das einzige allgemein gültige Merkmal der Hormone“, sagt Riedl, „ist ein negatives“: sie sind keine Antigene, rufen also beim Einführen in das Blut keine Antikörper-Bildung hervor. Was wir von den Hormonen des tierischen Körpers wissen, sind ihre physiologischen Leistungen. Wir wissen, dass eines der wichtigsten Merkmale der Hormone ihre spezifische Wirkung, ihr spezifischer Ursprung und ihre spezifische Funktion ist. Sie sind spezifisch im anatomischen und physiologischen (nicht im zoologischen) Sinne.

Speziell für unsere Betrachtung bemerkenswert ist, dass auch einige nicht drüsige Organe die Rolle von endokrinen Drüsen spielen: die Milz, der Thymus und der Panniculus adiposus. Die Bildung von Hormonen ist also im Tierkörper nicht ausschliesslich an das Vorhandensein von Drüsen geknüpft.

Zu den genannten Stoffen tritt nun eine weitere Gruppe von Substanzen, die als Vitamine oder Nutramine bezeichnet werden.

Sie werden von keiner Drüse sezerniert, ja sind überhaupt keine Bildung des tierischen Organismus, sondern werden von der Pflanze gebildet und gelangen durch die Nahrung ins Tier, das ohne sie in wesentlichen Funktionen gestört ist, ja ohne sie überhaupt nicht leben kann. Sie leiten uns also zur Pflanze hinüber. Ich habe sie zu den Hormonen gestellt, da vieles darauf deutet, dass sie Regulatoren des Stoffwechsels sind und sie zu der Ringschliessung in Be-

ziehung gebracht. Sie scheinen die Rolle von Enzymen oder von Enzymactivatoren zu spielen, wirken schon in geringer Menge und werden — das unterscheidet sie von den Enzymen — bei der Reaktion aufgebraucht, müssen also dem tierischen Organismus immer von neuem zugeführt werden.

Wir dürfen nun wohl annehmen, dass die Pflanze ihren Altruismus nicht so weit treibt, dass sie diese Substanzen nur für das Tier herstellt. Sie werden wohl auch im pflanzlichen Organismus selbst eine Rolle spielen, ja sie können uns vielleicht einige Aufklärung über die pflanzlichen Hormone überhaupt geben. Das Gleiche wie für die Vitamine gilt auch für das z. B. im Salat enthaltene Secretin, das die Magenverdauung anregt.

Aber schon bevor die Vitamine anfangen eine Rolle zu spielen, war man auf Erscheinungen bei der Pflanze aufmerksam geworden, die auf Hormonwirkung deuteten, ja auf eine andere Weise zunächst nicht erklärt werden konnten; ich meine die ja auch bei der Pflanze deutlich hervortretenden Erscheinungen der den Organismus zusammenhaltenden Korrelation, ohne die wir ja auch bei ihr nicht die Solidarität, die physiologische Einheit, die jeder Organismus darstellt, verstehen können. In der Tat hat denn auch bereits Sachs — und zwar schon etwas vor Brown-Séguard (1887) — eigenartige Bildungsstoffe angenommen, die er „Organbildende Stoffe“ nennt. Er sagt (in der Arbeit Über die Bildung der Blüten in ihrer Abhängigkeit vom ultravioletten Licht): „Diese blütenbildenden Stoffe können ähnlich wie Fermente auf grössere Massen plastischer Substanzen einwirken, während ihre eigene Quantität verschwindend klein ist.“ Das Wort Fermente können wir jetzt durch Hormone ersetzen. Ja schon 1863 sah sich Sachs gelegentlich seiner Untersuchungen über das Etiollement zu der Annahme genötigt, „dass unter dem Einfluss intensiven Lichtes gewisse eigenartige Bildungsstoffe in den Laubblättern erzeugt werden, welche spezifisch zur Blütenbildung geeignet sind.“

Dann waren es namentlich die Erscheinungen beim Blühen und Verblühen der Orchideenblüten, die die Aufmerksamkeit auf die Hormone lenkten. Die Tatsache, dass das Abblühen der Orchideen beträchtlich verzögert, die Blühdauer also verlängert wird, wenn die Bestäubung unterbleibt, war längst bekannt, ebenso die Tatsache, dass bei vielen Pflanzen der Schauapparat rasch zusammenschrumpft, sobald die Befruchtung vollzogen ist. Aber es zeigte sich auch, dass selbst ungekeimter und abgetöteter Pollen, ja sogar ein mit kaltem oder kochendem Wasser hergestellter Pollenauszug bei der Orchideenblüte die gleiche Wirkung übt, d. h. dass es sich hier um thermo-

stabile Hormone handeln muss. Anders verhält sich das Hormon des Kürbis, das schon durch Zerquetschen des Pollens geschädigt wird; denn nach Auftragen zerquetschter Pollenkörner auf die Narbe erfolgt nur, wie Massart fand, eine sehr geringe Aufschwellung des Fruchtknotens.

Sehr bemerkenswert ist denn auch die Tatsache, dass eine Weiterentwicklung der Ovula bei den Orchideen erst erfolgt, wenn die Pollenschläuche in die Narben eingetreten sind. Das morphogenetische Hormon entsteht also weit entfernt von der Stelle, an der sich schliesslich seine Wirkung äussert. Dass auch beim Wandern des Pollenschlauches, der, wie ich gezeigt habe, immer in der verschleimten Interzellulärsubstanz oder der morphologisch und chemisch dazu gehörenden subkutikulären Membranpartie erfolgt, Hormone tätig sind, ist sehr wahrscheinlich. Man hat hier von chemotaktischen Reizen gesprochen, aber das ist offenbar dasselbe.

Auch bei den Blüten anderer Pflanzen sind Erscheinungen beobachtet, die auf Hormone deuten. So genügt bei Erodien schon eine geringe Quetschung des Griffels, um die Blütenblätter rasch zum Abfallen zu bringen.

Aber nicht nur in den Blütenregionen sind solche auf Hormone deutende Erscheinungen beobachtet. Ich habe schon an anderer Stelle darauf hingewiesen, dass z. B. die Erscheinung, dass bei der Sago-palme nur, wenn an der Spitze des Stammes sich ein Blütenstand entwickelt, tief drunten im Stamm sich die Reservestärke im Grundparenchym löst, nur durch Hormone erklärt werden kann. Ja alle Entleerungsvorgänge bei unterirdischen Organen, Rhizomen und Knollen, die erst eintreten, wenn die oberirdischen Vegetationsorgane sich entwickeln, gehören hierher und die Füllung neuangelegter Reservestoffbehälter ebenso. Und dass es auch Zellteilungshormone geben muss, zeigt der Versuch Haberlandts, aus dem ersichtlich ist, dass die Grundparenchymzellen der Kartoffelknollen zu Zellteilungen angeregt werden können, wenn man Gefässbündel führende Knollenteile darauflegt.

Sehr wahrscheinlich sind Hormone auch bei der Entstehung der Gallen beteiligt, denn es werden zu der ein Aspirationszentrum bildenden Reizstelle von weither Substanzen geleitet, die hier dem Tiere eine Wohnung bauen, in der oft noch Nahrungsmittel für den Gast aufgespeichert werden, die merkwürdigste Form der „fremddienlichen Zweckmässigkeit“, wie sich Becher ausdrückt. Von dem Tiere müssen Hormonwirkungen ausgehen, die offenbar in der Pflanze sonst schlummernde Bildungspotenzen mobilisieren, und zwar sowohl

morphogenetische als auch chemische Kräfte wecken; aber in den meisten Fällen nur dort wecken können, wo eben „der Schlüssel zum Schlosse passt“, wie Emil Fischer sich ausdrückt.

Und ähnlich wie bei den Gallen wird es wohl auch bei allen andern Parasiten sich verhalten. Die Tatsache, dass gewisse Pilze nur von gewissen Pflanzen angenommen, von allen andern aber abgewiesen werden, lässt sich sehr zwanglos dadurch erklären, dass nur dort, wo der Pilz ein Hormon ausscheidet, das die Pflanze zur Bildung von chemotaktisch als Anlockungsmittel wirkenden Substanzen veranlasst, ein Eindringen möglich ist; während überall dort, wo die Pflanze auf das Hormon nicht anspricht oder gar Abwehrmittel erzeugt, ein Eindringen der Parasiten verhindert wird. Denn in diesem Falle könnte man eben auch an Antigen und Antikörperbildung denken.

Da wir die Hormone als Regulatoren des Stoffwechsels zu betrachten haben, die die Funktionen des Organismus in normalem Gange erhalten, so sind wir gezwungen, anzunehmen, dass überall dort, wo wir Abnormitäten, sog. Bildungsabweichungen antreffen, die normalen Regulatoren „vergiftet“, gelähmt oder ausgeschaltet, oder anders gerichtete Faktoren aktiviert sind. Also auch die Bildungsabweichungen können wir durch das Fehlen der normalen morphogenetischen Hormone oder das Auftreten anormaler erklären. Ich nahm bisher an, dass in diesen Fällen das Hormon im Organe selbst seinen Sitz hat. Aber wir können uns sehr wohl auch vorstellen, dass es von andern Stellen, z. B. von der Wurzel her, zugeführt wird.

Ob bei der Organbildung Hormone tätig sind, wird vielfach bezweifelt. Aber bei der Richtung der Organe dürften sie ebenfalls beteiligt sein. So kann man sehr wohl, wie dies schon Errera tat, die Tatsache, dass, wenn man den Gipfeltrieb z. B. einer Konifere entfernt, der nächste Seitentrieb sich aufrichtet und zum Gipfeltrieb wird, wie ja auch, wenn man die Wurzelspitze entfernt, die nächsten Seitenwurzeln, die Hauptwurzel ersetzend, positiv geotropisch werden und sich nicht horizontal stellen, auf Ausschaltung einer Hormonwirkung zurückführen. Wenn man nämlich annimmt, dass der Horizontalgeotropismus der Seitenäste und Seitenwurzeln durch ein dem positiven und negativen Geotropismus entgegenwirkendes Hormon bedingt wird, so würde die Norm wieder hergestellt, wenn man dies Hormon, dessen Sitz im Vegetationspunkt anzunehmen wäre, entfernt. Es würde sich dann später im neuen Vegetationspunkt von neuem bilden.

Wie schon die wenigen Beispiele zeigen, sind auch bei der Pflanze die Verhältnisse nicht minder kompliziert wie beim Tier. Wir können auch bei ihr schon jetzt eigentliche Hormone von morphogenetischen Harnozonen unterscheiden, finden solche, die Enzyme aktivieren (Aktivierungshormone) und andere, die zu Zellteilungen anregen (Zellteilungshormone), solche die Hemmungen aufheben (Antihormone) wie solche, welche die die Lösung der Stärke bewirkenden Enzyme aktivieren und solche, welche die die Stärkebildung bedingenden in Tätigkeit setzen. Aber in allen Fällen kommt man zu der zwanglosesten Auffassung, wenn man annimmt, dass alle Hormone Aktivierungs- oder Desaktivierungsmittel sind. Denn sie können ebenso positiv wie negativ wirken, ebenso ein Enzym zur Wirkung anregen, wie es vergiften oder in seiner Wirkung herabsetzen: ebenso Aktivatoren wie Paralysatoren sein. Und dass es auch entgiftende Parhormone geben wird, ist als möglich vorauszusehen.

Ich nehme an, dass sie Enzyme aktivieren, aber sie können natürlich auch katalytisch jede andere Reaktion einleiten, beeinflussen, befördern oder behindern. Man kann die Hormone daher auch — mit dem Tierphysiologen — als „spezifische funktionelle Erreger oder Reizstoffe“ bezeichnen. Jedenfalls aber gehören sie zu den wichtigsten Regulatoren des Stoffwechsels.

Im allgemeinen hat es zwar etwas Missliches, das Tier mit der Pflanze zu vergleichen, da beide nicht nur anders gebaut sind, sondern auch einen andern Stoff- und Kraftwechsel besitzen. Aber wie wir bei beiden Enzyme in Tätigkeit sehen, so dürfen wir auch in beiden Aktivatoren dieser Enzyme als tätig annehmen. Doch besteht bei der Pflanze eine grosse Schwierigkeit: sie besitzt keine Blutbahn, durch welche die Produkte der inneren Sekretion an entfernte Körperteile geschafft werden können und keine endokrinen Drüsen, denn die Sekretbehälter der Pflanze kommen schon deshalb nicht in Betracht, weil sie den meisten Pflanzen fehlen und dann auch deshalb nicht, weil sie ganz andern Zwecken dienen. Sie sind eher den Drüsen mit Ausführungsgang der Tiere zu vergleichen, die aus dem Stoffwechsel ausgeschiedene Exkrete fortschaffen. Die Pflanze hat allerdings zwar eine äussere Sekretion aber keine Sekretion nach aussen. Immerhin müssen wir auch bei der Pflanze die Bildung der Hormone bestimmten Zellkomplexen zuweisen. Es werden dies besonders die Orte des Gebrauches, die Bildungsherde, sein, die gleichzeitig wie Aspirationszentren für die Bildungsstoffe und wie Sendstationen für die Hormone wirken, die man ja auch direkt als Sendboten bezeichnet hat.

agunt nisi fixata, sagt Ehrlich. — Jedenfalls muss eine Gleichgewichtsverschiebung stattfinden. Ob auch die pflanzlichen Hormone, wenn sie in Aktion treten, zerstört werden, wie dies bei den tierischen sicher der Fall ist, wissen wir nicht. Aber wir dürfen es als wahrscheinlich annehmen. Jedenfalls sind sie labile Verbindungen oder bewegliche Ionen.

Schon bei einer Gruppe der tierischen Hormone nämlich, den Harnozonen, ist die Frage aufgeworfen worden, ob nicht ausser einer katalytischen Wirkung auch die Chemotaxis in Betracht zu ziehen sei. Der chemotaktische Reiz hat in der Tat viel Ähnlichkeit mit einer Hormonwirkung. Dass chemische Beziehungen zwischen dem Reizmittel und dem angezogenen Körper angenommen werden, das sagt ja schon der Name Chemotaxis. Aber auch hier kommen wir zunächst über Vermutungen nicht hinaus.

Ich habe versucht, eine grössere Anzahl von Erscheinungen im normalen und anormalen Leben der Pflanze unter einem gemeinsamen Gesichtspunkt zu betrachten, unter ein allgemeines Gesetz zu bringen, indem ich in der Tierphysiologie gesammelte Erfahrungen auf die Pflanze übertrug. Aber damit ist noch nicht viel gewonnen.

Die Theorie der Hormone rührt an die tiefsten Probleme, die wichtigsten Äusserungen des Lebens; aber sie ist doch nur ein kleiner Schritt vorwärts. *θεωρία* heisst Bild — wir machen uns ein Bild, eine Vorstellung. Wenn wir uns aber auch eine Vorstellung davon bilden können, wie die Hormone, einmal am Orte ihrer Tätigkeit angelangt, in Wirksamkeit treten, so ist uns doch die Kraft, die sie an diesen Ort sendet, unbekannt; und unbekannt die Kraft, welche die Produkte ihrer Tätigkeit an den Ort des Verbrauchs und nur gerade an diesen führt. Denn sie werden geführt. — Wir brauchen uns ja dabei nicht vorzustellen, dass die Hormone nur zu den Orten ihrer Wirksamkeit gesendet werden; sie können überall hin ausstrahlen, werden aber nur dort, wo sie die zu aktivierenden Substanzen finden, in Wirksamkeit treten; also nur dort, wo sie das Schloss finden, das sie mit ihrem Schlüssel öffnen können.

Was wir sehen, ist, dass das Gesetz der „Regulation nach dem Bedürfnis“ den gesamten Stoff- und Kraftwechsel der Pflanze beherrscht. Wir sehen seine Äusserungen auf Schritt und Tritt.

Die eigentlich dirigierenden, lenkenden Kräfte, die uns in vielen Fällen den Eindruck zielbewusst handelnder Intelligenz machen, sind uns aber verborgen. Wir nennen sie „das Leben“. Und da die Naturforscher das Leben nicht erklären konnten — denn der Naturforscher kann nur beschreiben und die Erscheinungen ordnen und zusammen-



fassend darstellen, — wie der grosse Physiker Kirchhoff bemerkt, ist ja selbst die analytische Mechanik und damit die ganze Physik „eine Beschreibung der in der Natur vor sich gehenden Bewegungen“ — so haben sich die Philosophen und die Naturphilosophen der Sache angenommen. Aber damit ist wenig gewonnen, wenn wir an Stelle des Wortes Leben den Schopenhauerschen Willen, den Bergsonschen élan vital, Hartmanns Oberkräfte, Reinkes Dominanten oder Driesch' Entelechie setzen oder mit den Psycholamarckisten und Semon der Pflanze eine Seele, eine Mneme zusprechen, das ist nur ein Y an Stelle eines X gesetzt. Auch die Namen Geotropismus, Phototropismus erklären ja die Sache nicht, sondern sind nur Namen für Komplexe beobachteter Erscheinungen.

Der grosse Ingenieur-Chemiker, den wir das Leben nennen, hat uns seine Geheimnisse noch nicht verraten.

---