

Über Auxine.

Von Prof. Dr. FRITZ KÖGL, Utrecht.

(Eingeg. 14. Juni 1933.)

Vorgetragen in der Fachgruppe für medizinisch-pharmazeutische Chemie auf der 46. Hauptversammlung des V. d. Ch. zu Würzburg, 9. Juni 1933.

Der Aufforderung, auf dieser Tagung einen Vortrag über Auxin zu halten, bin ich besonders gern nachgekommen, da sie mir die Gelegenheit gibt, dem Verein deutscher Chemiker für die Verleihung der Emil-Fischer-Denkünze herzlichst zu danken. Ich weiß nicht, ob ich diese Ehrung verdient habe; wenn unsere Arbeiten diese

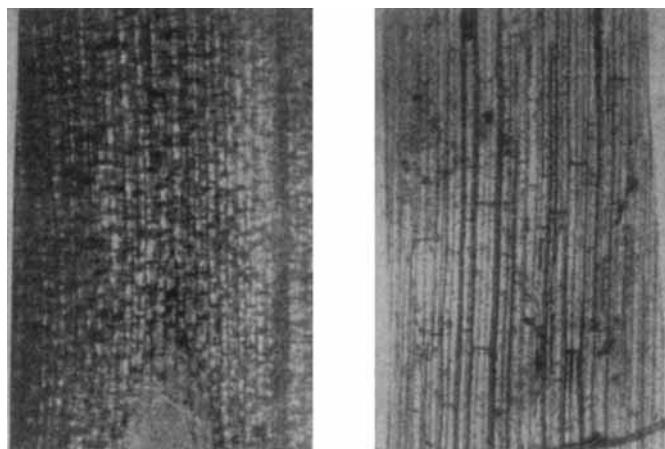


Abb. 1. a) b)

Zwei Stadien der Zellstreckung bei der Koleoptile von Hafer (*Avena sativa*): a) beim zwei Tage alten, b) beim vier Tage alten Pflänzchen.

hohe Anerkennung finden konnten, so ist dies in erster Linie den hervorragenden Leistungen meiner Mitarbeiter zuzuschreiben.

Die hauptsächlich in Gemeinschaft mit Herrn Dr. Haagen-Smit und Fräulein Dr. Erxleben durchgeführten Arbeiten über pflanzlichen Wuchsstoff fußen auf neueren pflanzenphysiologischen Untersuchungen über das Wachstum; wir verdanken diese in erster Linie der Schule von Prof. Went in Utrecht. Zum Verständnis des Folgenden seien die wichtigsten Befunde kurz zusammengefaßt. Während das tierische Wachstum fast nur durch Zellvermehrung erfolgt, ist bei der Pflanze zwischen Zellteilung und Zellstreckung zu unterscheiden. Die augenfällige Volumzunahme, welche man beim Wachstum der höheren Pflanze beobachtet, beruht hauptsächlich auf Zellstreckung. Abb. 1 zeigt zwei Stadien der Zellstreckung beim Keimpflänzchen von Hafer. Diese Zellstreckung erfolgt unter dem Einfluß bestimmter Wuchsstoffe, die wir Auxine nennen wollen. Ihre physiologische Wirkungsweise und ihr Nachweis ist in Abb. 2 schematisch dargestellt. Die wirksamen Stoffe werden in der Spitze des Keimlings gebildet und wandern von dort zur Basis; wird die Spitze entfernt, so schaffen wir eine „Ausfallserscheinung“, durch welche das Streckungswachstum für ein paar Stunden unterbrochen wird. Innerhalb dieser Zeit können wir mit Auxinen irgendwelcher Herkunft neues Wachstum hervorrufen. Wird das wuchsstoffhaltige Agar-Agar-Würfelchen einseitig auf den Koleoptilstumpf gebracht, so entsteht durch ungleiches Wachstum der beiden Flanken eine Krümmung. Diese ist nach F. W. Went unter gewissen Voraussetzungen proportional

der Konzentration des Wuchsstoffs; beträgt der Krümmungswinkel 10° , so haben wir den Wachstumseffekt einer *Avena*-Einheit (AE). Es sei noch erwähnt, daß auch die phototropischen und geotropischen Krümmungen der Pflanze durch Auxine verursacht werden; die Schattenflanke bzw. die Unterseite eines Sprosses zeigt nämlich einen höheren Wuchsstoffgehalt als die Lichtflanke bzw. die Oberseite. Die *Went*sche Testreaktion, mit deren Hilfe uns die Isolierung der Auxine gelungen ist, läßt sich am besten im Film zeigen (Vorführung).

Als wir vor $2\frac{1}{2}$ Jahren nach einem geeigneten Ausgangsmaterial für die Isolierung der Auxine suchten, wurden wir auf den hohen Wuchsstoffgehalt des menschlichen Harns aufmerksam. Wie wir heute wissen, ist für die Isolierung des Auxins aus Harn etwa eine 21 000fache Anreicherung zu leisten; für die Isolierung des Wuchsstoffs aus den damals bekannten pflanzlichen Ausgangsmaterialien wäre dagegen mindestens eine 500 000fache Anreicherung zu leisten gewesen. Unter diesen Umständen wird man es vollauf verstehen, daß wir — dem Weg des geringsten Widerstandes folgend — zunächst einmal die Isolierung des Wuchsstoffs aus Harn in Angriff nahmen, obschon das ein tierisches Ausgangsmaterial ist, dessen Verwendung wohl mancher Botaniker als Schönheitsfehler unserer Arbeit empfand.

Über den Gang der Reindarstellung des Auxins aus Harn haben wir früher berichtet. Die Menge kristallisierten Auxins, die wir bisher erhalten haben — 345 mg — hätte vor 17 Jahren, also vor der Einführung der Mikroanalyse durch *Fritz Pregl*, zu drei Elementaranalysen ausgereicht. Nun, wenn wir alle Kräfte an die

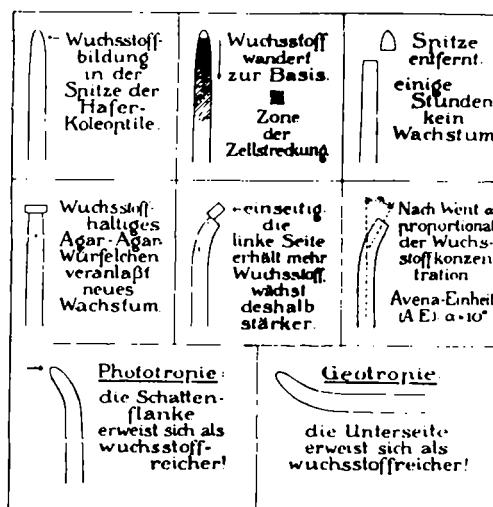


Abb. 2.

Reindarstellung von Auxin gesetzt hätten, wäre es wohl möglich gewesen, den „Knüppelweg“, der uns zum kristallisierten Auxin führt, zu einer gut gangbaren Straße auszubauen. Für das Gesamtproblem schien es uns aber wichtiger, einen Teil der Arbeitskraft dem Studium neu aufgetauchter physiologischer Fragen zu widmen, was übrigens auch für die chemische Forschungsrichtung in mancher Hinsicht von Nutzen war;

überdies konnten wir den Materialmangel durch Ver vollkommen in der präparativen Mikrotechnik leidlich gut ausgleichen.

Mikroanalysen, Molekulargewichtsbestimmungen und Titrationen führten uns zur Formel $C_{18}H_{32}O_5$ für Auxin; mit dieser Zusammensetzung stehen auch die bisher dargestellten Derivate in Einklang. Das Molekül enthält neben der Carboxylgruppe drei alkoholische Hydroxyle; aus dem Verlauf der Hydrierung ist zu schließen, daß Auxin eine Doppelbindung und einen Kohlenstoffring besitzt; es ist also eine monocyclische, einfach ungesättigte Trioxycarbonsäure. Wenn wir den zugrunde liegenden Kohlenwasserstoff $C_{18}H_{32}$ Auxan nennen, ist der Wuchsstoff als Auxen-tri-ol-säure zu bezeichnen.

Als zweites physiologisch ebenso aktives Kristallisat haben wir das Auxin-lacton ($C_{18}H_{30}O_4$) kennengelernt. Wie Auxin zeigt auch das Lacton Mutarotation; diese ist offensichtlich durch die Einstellung eines Gleichgewichts zwischen Säure und Lacton bedingt. Der konstante Endwert der Drehung wird bereits nach 2 bis 3 Stunden erreicht; hieraus läßt sich auf die Größe des Lactonrings schließen, wenn wir Ergebnisse von Haworth und seinen Mitarbeitern zum Vergleich heranziehen dürfen. Nach diesen Autoren erreichen δ -Lactone den Gleichgewichtszustand zumeist in wenigen Stunden, γ -Lactone dagegen erst nach Tagen. Wir halten es daher für wahrscheinlich, daß in unserem Fall ein δ -Lacton vorliegt. Da wohl die Bildung eines γ -Lactons vor der eines δ -Lactons bevorzugt wäre, muß man dann ferner annehmen, daß das zum Carboxyl γ -ständige Kohlenstoffatom des Auxinmoleküls keine Hydroxylgruppe trägt.

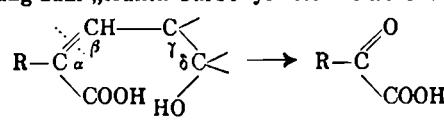
Für die Abbauversuche haben wir bisher nur 126 mg Substanz verwenden können. Fräulein Dr. Erxleben ist es gelungen, zwei wichtige Abbauprodukte zu fassen. Den ersten oxydativen Angriff richteten wir gegen die Doppelbindung des Auxins. Bei der Oxydation von 25 mg Substanz mit Permanganat in sodaalkalischer Lösung wurde eine schön kristallisierende optisch aktive Säure erhalten. Der Versuch wurde mit dem gleichen Ergebnis noch zweimal mit der Säure und einmal mit dem Lacton wiederholt, so daß wir das Abbauprodukt durch Analyse, Titration und Darstellung des p-Phenylphenacyl-esters charakterisieren konnten; es liegt eine Dicarbonsäure der Formel $C_{13}H_{24}O_4$ vor.

Natürlich wird man annehmen, daß das Auxinmolekül an der Stelle der Doppelbindung gesprengt worden ist, und daß eines der Carboxyle der Dicarbonsäure identisch sei mit jenem des Auxins. Dann tritt aber sofort eine Schwierigkeit auf: Da unsere C_{13} -Säure die zum „Auxin-Carboxyl“ δ -ständige Hydroxylgruppe nicht enthält, muß sich diese im abgespaltenen C_6 -Rest befinden haben. Wenn man nicht einen Lactonring annehmen will, der mehr als sechs Ringglieder enthält, so kommt man zur Formulierung von Abb. 3, nach welcher die C_{13} -Säure eine substituierte Malonsäure sein müßte. Sie ließ sich jedoch 100° über ihren Schmelzpunkt erhitzen, ohne daß Abspaltung von Kohlendioxyd eintrat. Wir nehmen deshalb an, daß die beiden Carboxyle der C_{13} -Säure bei der Oxydation des Auxins neu entstanden sind, während das „Auxin-Carboxyl“ dem abgespaltenen C_6 -Rest angehört.

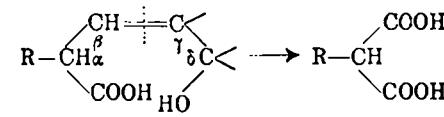
Um diese Auffassung weiter zu prüfen, haben wir Dihydro-auxin in Eisessiglösung mit Chromtrioxyd oxydiert. Der Versuch konnte bisher leider nur einmal mit 22 mg Substanz durchgeführt werden. Glücklicherweise haben wir bei diesem Abbau nicht ausschließlich Oxalsäure erhalten, sondern auch ein Neutralprodukt, das in ein kristallisiertes p-Nitrophenyl-

$C_{18}H_{32}O_5 \xrightarrow{KMnO_4} C_{13}H_{24}O_4$
(Auxin) (Dicarbonsäure)

In δ -Stellung zum „Auxin-Carboxyl“ steht eine OH-Gruppe!



Diese Formel würde zu einer α -Ketosäure führen ↑

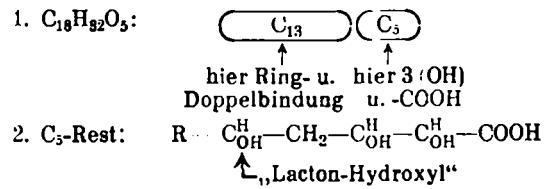


Diese Formel würde zu einer Malonsäure führen ↑

Abb. 3.

hydrazone übergeführt werden konnte. Aus den Mikroanalysen dieses Derivates läßt sich für das Oxydationsprodukt die Formel $C_{13}H_{24}O$ ableiten. Da es keine Aldehydreaktionen zeigt, muß ein Keton vorliegen. Auch bei dieser Oxydation sind die im Auxinmolekül vorhandenen Sauerstoffatome mit der Abspaltung des C_6 -Restes verschwunden, offensichtlich ist also das der C_{13} -Säure entsprechende Ringketon entstanden.

Deutung der Abbau-Ergebnisse:



3. C_{13} -Rest und Verknüpfung mit C_6 -Rest:

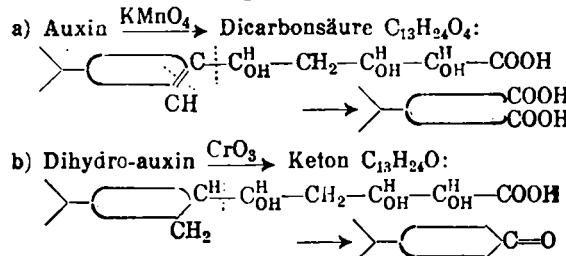


Abb. 4.

Die einfachste Deutung der Abbauergebnisse führt zu folgender Arbeitshypothese (Abb. 4):

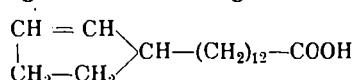
1. Die drei Hydroxylgruppen sind nicht über das ganze Molekül „verstreut“, sondern in einem Bezirk von fünf Kohlenstoffatomen lokalisiert; eines dieser fünf Kohlenstoffatome gehört der Carboxylgruppe an.

2. In diesem C_6 -Rest befindet sich wahrscheinlich eine Hydroxylgruppe in δ -Stellung zum Carboxyl, während die γ -Stelle hydroxylfrei sein dürfte. Die beiden anderen Hydroxyle müßten sich dann in α - und β -Stellung befinden.

3. Der Ring des Auxins ist nicht endständig; er enthält sehr wahrscheinlich die Doppelbindung, und zwar muß an dieser der erwähnte C_6 -Rest abzweigen.

In einem derartigen Stadium der Konstitutionsaufklärung pflegt man im Laboratorium Dutzende von eventuell möglichen Formeln aufzuschreiben, die als Arbeitshypothesen berechtigt, ja notwendig sind. Eine andere Frage ist es, ob man sie veröffentlichen soll. Tut man es nicht, so beeilen sich manchmal andere, mit ihrer Phantasie helfend einzuspringen; umgekehrt mag aber die Veröffentlichung solcher hypothetischer Formeln mitunter etwas voreilig erscheinen. Ich möchte mich hier auf ein paar Formeln beschränken, die heute

bereits widerlegt oder unwahrscheinlich geworden sind, die aber doch einen Einblick in das Konstitutionsproblem geben. Zunächst sei auf die Formel der Chaulmoograsäure hingewiesen:



Diese aus dem Pflanzenreich isolierte Säure enthält ebenso wie Auxin 18 C-Atome, eine Doppelbindung und einen Ring; es bestehen jedoch sicher keine verwandtschaftlichen Beziehungen, da Chaulmoograsäure einen

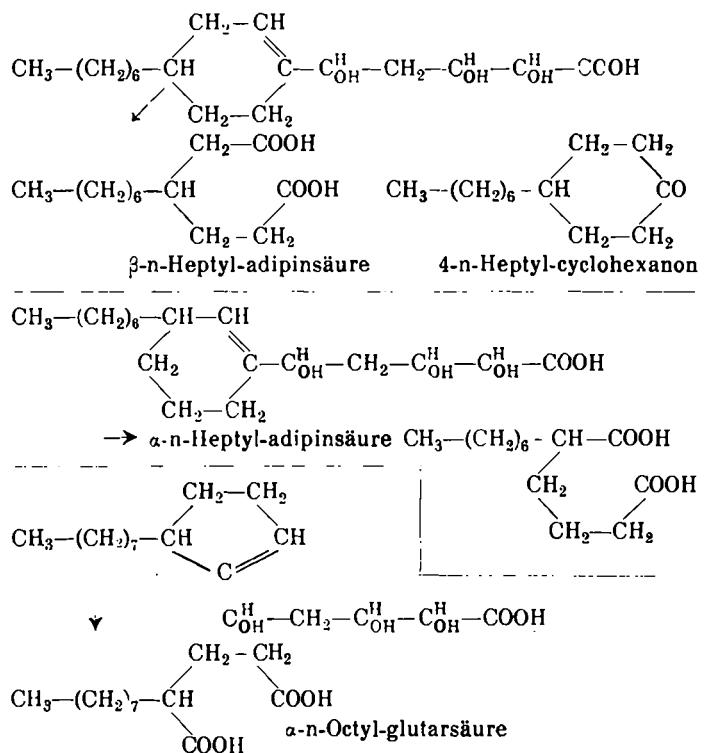


Abb. 5.

endständigen Ring besitzt. Von den Formeln in Abb. 5 ist die erste mit Sicherheit auszuschließen, da das von Herrn *Picard* synthetisierte 4-n-Heptyl-cyclohexanon mit unserem C₁₃-Keton nicht identisch war. Der exakte Vergleich der ebenfalls synthetisch dargestellten β-n-Heptyl-adipinsäure mit unserer Abbausäure steht noch aus, da die synthetische Verbindung noch nicht in die Antipoden gespalten ist; dasselbe gilt von der durch Herrn *Koningsberger* synthetisierten α-n-Heptyl-adipinsäure, welche nach der nächsten Formel beim Abbau entstehen müßte. Die Schmelzpunkte dieser beiden racemischen Adipinsäuren liegen jedoch erheblich niedriger als jener unserer C₁₃-Säure, und die folgenden Versuche geben uns in der Tat die Gewißheit, daß der analytischen Verbindung eine andere Struktur zukommt. Wir haben nämlich diese Adipinsäuren in Mengen von 20 mg der *Blancschen* Reaktion unterworfen und konnten hierbei eindeutig die Bildung der Brenzketone nachweisen. Dagegen lieferte unsere Abbausäure bei derselben Behandlung kein Brenzketon, sondern ein Säureanhydrid; die fraglichen Säuren sind also sicher voneinander verschieden. Säureanhydridbildung bei der *Blancschen* Reaktion ist bei Glutarsäuren die Regel, bei Adipinsäuren die Ausnahme. Wir halten es daher für wahrscheinlicher, daß unser Abbauprodukt eine Glutarsäure ist und Auxin demnach einen Fünfring enthält. In meinem Institut sind zahlreiche Synthesen substituierter Glutarsäuren in Angriff genommen worden, z. B. auch die Synthese der α-n-Octyl-glutarsäure.

Wenn unsere Arbeitshypothese in den großen Zügen das Richtige trifft, so besteht das Problem jetzt in erster Linie darin, wie der C₈-Rest an die Glutarsäure bzw. an den Cyclopentenring anzugliedern ist. Vielleicht kommen wir der Auxin-Konstitution durch die ebenfalls im Gange befindlichen Synthesen der Dibutyl-glutarsäuren näher; wir denken dabei vor allem auch an Isopren als Baustein. Natürlich wird auch die röntgenographische Methode herangezogen werden, und wir hoffen, daß wir nicht die theoretisch möglichen 1200 Glutarsäuren der C₁₃-Reihe synthetisieren und spalten müssen . . .

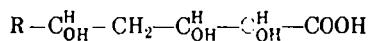
Wenn es auch selbstverständlich war, den pflanzlichen Wuchsstoff zunächst aus dem günstigsten Ausgangsmaterial zu isolieren, so waren wir uns doch von Anfang an bewußt, daß sich später die Isolierung aus pflanzlichen Ausgangsmaterialien anschließen müsse. Nach unseren ganzen Erfahrungen konnte man die *Wentsche* Reaktion als streng spezifischen Test bezeichnen und vermuten, daß die wirksamen Stoffe der verschiedenen Ausgangsmaterialien identisch oder sehr nahe verwandt seien. In der letzten Zeit verlangen solche Vorhersagen den experimentellen Beweis noch mehr als früher, da z. B. bei den Follikelhormonen die Erfahrung gemacht wurde, daß das „Schloß“ nicht nur durch den „klassischen Schlüssel“, sondern auch durch weniger gut funktionierende Nachschlüssel oder gar Dietrichen geöffnet werden kann . . .

Mein Mitarbeiter *Kostermans* hat die schwierige Aufgabe übernommen, den pflanzlichen Wuchsstoff aus Hefe zu isolieren, wozu etwa 500 000fach angereichert werden muß. Fräulein Dr. *Erxleben* ist es in den letzten Monaten bereits gelungen, aus anderen pflanzlichen Materialien aktive Kristallisate darzustellen, und zwar zuerst aus Maisöl und dann aus Malz. Beide Ausgangsmaterialien stehen der ursprünglichen Fundstätte des Wuchsstoffs — den Koleoptilspitzen der Haferpflänzchen — außerordentlich nahe. Obwohl wir besonders günstige Sorten verwendeten, war beim Maisöl eine 300 000fache und beim Malz eine 100 000fache Anreicherung nötig, die im wesentlichen nach dem beim Harn ausgearbeiteten Verfahren gelang. Wir erhielten aus Maisöl und aus Malz jeweils zwei aktive Kristallisate. Das erste war nach Schmelzpunkt, Mischschmelzpunkt, Analyse und physiologischer Wirksamkeit identisch mit dem aus Harn isolierten Auxin. Das zweite Kristallisat schmilzt 13° niedriger als Auxin. Nach der sehr wahrscheinlichen Formel C₁₈H₃₀O₄ ist es isomer mit Auxin-lacton, von diesem aber — schon durch die Säurenatur — sicher verschieden. Eine nahe Verwandtschaft zum Auxin war auf Grund verschiedener chemischer Eigenschaften anzunehmen; die physiologische Wirksamkeit ist von derselben Größenordnung (um 50 Milliarden AE pro Gramm) wie jene des Auxins und seines Lactons. Wir haben in den letzten Monaten 120 mg des neuen Kristallisats dargestellt, das wir im folgenden Auxin b nennen wollen; das zuerst aus Harn isolierte Kristallisat soll künftig die Bezeichnung¹⁾ Auxin a erhalten. Von den vier Sauerstoffatomen des Auxin b gehören zwei der Carboxylgruppe und eines einer Hydroxylgruppe an. Aus dem Verlauf der Mutation vermuten wir, daß dieses Hydroxyl wieder in δ-Stellung zum Carboxyl steht. Das letzte Sauerstoffatom trafen wir in einer Ketogruppe an: Auxin b gibt ein kri-

¹⁾ Im Vortrag wurde für das neue Kristallisat die Bezeichnung Proto-auxin verwendet. Aus hier nicht näher zu erörternden Gründen wollen wir jedoch künftig von Auxin a und Auxin b sprechen; diese Bezeichnungsweise ist auch für die botanische Literatur vorteilhafter.

stallisiertes Semicarbazone und bei der Behandlung mit Methanol-Chlorwasserstoff ein kristallisiertes Lacton des Dimethyl-acetals. Schließlich können wir auch noch eine Angabe über die relative Lage des Carbonyls zur Carboxylgruppe machen. Beim Schmelzpunkt spaltet Auxin b stürmisch Kohlendioxyd ab und geht hierbei in ein Neutralprodukt über. Soweit wir sehen, ist dies nur mit der Annahme zu erklären, daß Auxin b

Auxin a $C_{18}H_{32}O_5$ (Auxen-tri-ol-säure)



Auxin b $C_{18}H_{30}O_4$ (Auxen-ol-on-säure)

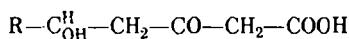


Abb. 6.

eine β -Ketosäure ist (Abb. 6); es hat uns überrascht, daß die Verbindung trotzdem isolierbar ist.

Den experimentellen Übergang von Auxin b zu Auxin a haben wir noch nicht verwirklicht. Es gelang aber bereits, Auxin b mit Permanganat zu derselben Tridecan-disäure abzubauen, die wir aus Auxin a erhalten haben; die Doppelbindung muß sich also in beiden Molekülen an derselben Stelle befinden. Schließlich sei noch erwähnt, daß die Kristalle des Auxin b wie jene des Auxin a nach einigen Monaten physiologisch völlig inaktiv werden. Nach allem steht die sehr nahe Verwandtschaft unserer beiden Phytohormone außer Zweifel.

Aus Harn haben wir bisher kein Auxin b isolieren können; es ist daher anzunehmen, daß das mit der Nahrung aufgenommene Auxin b im Organismus in Auxin a umgewandelt wird. Es sei hierzu an die Beziehungen zwischen Methyl-glyoxal und Glycerin sowie an jene zwischen Follikelhormon und seinem Hydrat erinnert.

Natürlich hat die Isolierung des Auxin b auch in physiologischer Hinsicht wieder manche neue Fragen gebracht. Heute sei nur kurz erwähnt, daß nach Versuchen, die wir Herrn Dr. Albert Fischer in Kopenhagen verdanken, das Wachstum von Herzfibroblasten nicht be-

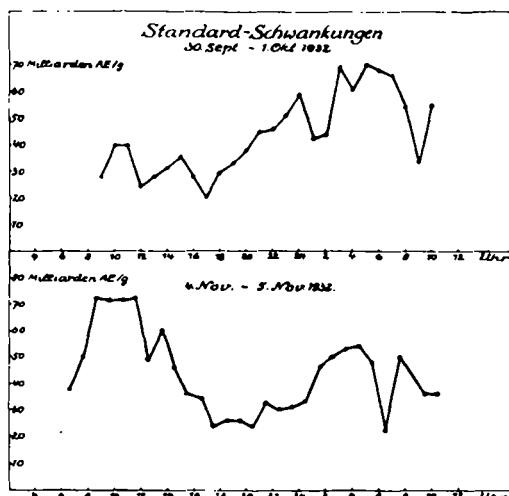


Abb. 7.

fördert wird, wenn Auxin a oder Auxin b bei Gewebekulturen dem Nährmedium zugesetzt wird.

Zum Schluß möchte ich nun noch über Untersuchungen berichten, die für uns Chemiker eigentlich ein „Nebenprodukt“ darstellen, denen aber in biologischer Hinsicht wohl großes Interesse zukommt. Die Wirksamkeit von 50 Milliarden AE pro Gramm unserer Phytohormone stellt nur einen Durchschnittswert dar;

der wirkliche Wert schwankt von Tag zu Tag, im Laufe der Zeit haben wir bei den Standardlösungen alle möglichen Werte zwischen ungefähr 10 Milliarden und 100 Milliarden AE pro Gramm beobachtet. Wir wurden immer mehr darin bestärkt, daß diese großen Schwankungen nicht durch analytische Fehler, sondern durch

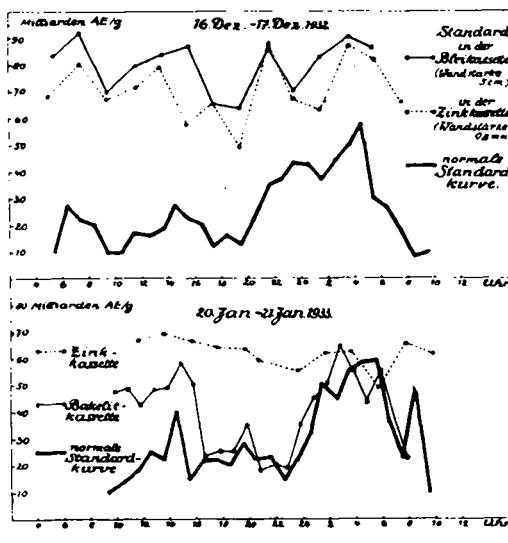


Abb. 8.

unbekannte äußere Einflüsse verursacht wurden, die sich in unserem temperatur- und feuchtigkeitskonstanten Dunkellaboratorium noch geltend machen konnten. Wir achteten vor allem auf die verschiedenen Faktoren der atmosphärischen Verhältnisse; sichere Zusammenhänge ließen sich aber auch nach monatelanger Beobachtung nicht erkennen. Wie mir Kollege Went mitteilte, hat man in der Pflanzenphysiologie wohl vielfach die Möglichkeit solcher unbekannter Wettereinflüsse in Betracht gezogen, aber alle Versuche, sichere Beziehungen, z. B. zur „Luftelektrizität“, aufzudecken, seien gescheitert.

Wir kamen erst zu einem Fortschritt, als wir uns die Aufgabe stellten, die Wirksamkeit der Auxine im Laufe einzelner Tagesperioden von Stunde zu Stunde zu bestimmen. Der Plan war leichter als die Verwirklichung! Aber durch die Geschicklichkeit und die Ausdauer meines Mitarbeiters Dr. Haagen-Smit sind alle technischen Schwierigkeiten überwunden worden. Während wir die Testreaktion normalerweise täglich an 300 bis 400 Pflänzchen durchführen, mußten an den folgenden wichtigen Versuchstagen bis zu 1500 Pflänzchen geprüft werden. Da das Alter der Pflänzchen bei der Testreaktion nicht gleichgültig ist, verwenden wir die Keimlinge genau 88 Stunden nach der Aussaat. Die Bestimmung der Wirksamkeit während der 24 Stunden des Versuchstages war demnach nur einwandfrei, wenn vier Tage vorher auch die Aussaat von Stunde zu Stunde vorgenommen war. Das Ergebnis der Versuche ist in den Abb. 7 und 8 in historischer Reihenfolge dargestellt; ich möchte es hier in einige Erfahrungssätze zusammenfassen:

Es zeigte sich, daß in den Morgenstunden — nicht immer, aber meist — ein ausgesprochenes Maximum der Wirksamkeit auftritt; so wirkte z. B. ein und dieselbe Auxinlösung am 17. Dezember um 4 Uhr morgens sechsmal stärker als in den Vormittagsstunden des Vortages! Wirksamkeiten, die wir bisher als charakteristisch für den einzelnen Tag angesehen hatten, gelten also in Wirklichkeit nur für die betreffende Versuchsstunde.

Nachdem wir uns im physikalischen Institut bei Prof. Ornstein und seinem Assistenten, Herrn Jan Went, beraten hatten, haben wir zur Aufklärung der Ursache

unserer Standardschwankungen verschiedene neue Versuchsserien durchgeführt. Wir prüften nämlich die Wirksamkeit der Auxinlösungen bei Pflänzchen, die im Faraday-Käfig, in Metallkassetten oder in Bakelitkassetten gezüchtet waren und die auch während der 24 Stunden des eigentlichen Versuchstages in diesen Gehäusen gehalten wurden. Selbstverständlich

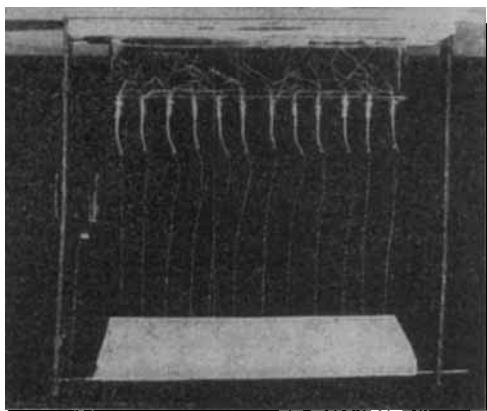


Abb. 9.

haben wir dafür gesorgt, daß im Inneren der Kassetten gleiche Temperatur und gleiche Feuchtigkeit herrschten wie in unserem Versuchslaboratorium.

Während nun die Wirksamkeit des Auxins bei den „Käfig-Pflänzchen“ und den „Bakelit-Pflänzchen“ im wesentlichen übereinstimmte mit der Wirksamkeit bei den im freien Raum stehenden Kontrollpflanzen, zeigte sich bei den Pflänzchen der Metallkassetten eine ganz andere Kurve der Wirksamkeit; sie liegt hier durchschnittlich höher, und die Schwankungen sind prozentual erheblich geringer. Der Unterschied ist um so bemerkenswerter, wenn man bedenkt, daß die Pflänzchen für die Manipulationen der Testreaktion jeweils kurze Zeit aus den Kassetten herausgenommen werden müssen.

Welche Schlüsse lassen sich nun aus diesen Versuchen ziehen? Der wesentliche Unterschied zwischen den Metallkassetten und der Bakelitkassette ist wohl der, daß wir in ersteren, also im Inneren von Leitern, ein elektrisches Feld ausschalten und Luftionen beseitigen. Auch im Inneren des Käfigs ist das elektrische Feld ausgeschaltet, dagegen haben wir eine weniger große Verarmung an Luftionen anzunehmen. Ein Unterschied zwischen der Zinkkassette mit 0,8 mm und der Bleikassette mit 5 cm Wand-

stärke hat sich nicht gezeigt. Die Bleikassette ist von unseren physikalischen Beratern vorgeschlagen worden, um einen eventuellen Einfluß kosmischer Strahlung zu erkennen.

Es war natürlich unser Ziel, die Wirksamkeit der Auxinlösungen durch physikalische Versuche willkürlich beeinflussen zu können. Mit Hilfe von definierten elektrischen Feldern, unter Zufuhr von Luftionen, war dies noch nicht möglich, wohl aber durch eine Versuchsanordnung, auf die wir durch eine Unterredung mit Prof. Pohl in Göttingen kamen. In der Annahme, daß die beobachteten Schwankungen durch sehr schwache elektrische Ströme in der Pflanze verursacht werden, haben wir künstlich eine Potentialdifferenz in der Pflanze erzeugt. Hierzu (vgl. Abb. 9) wurde ein feuchter Seidenfaden am Agar-Agar-Würfchen angeklebt und z. B. mit dem + -Pol der Stromquelle verbunden, während der Pflanzentrog mit dem - -Pol in Verbindung stand, oder umgekehrt; beispielsweise hatten wir eine Potentialdifferenz von 80 mV/cm und einen Strom von 0,0008 mA. Und der Effekt?

Die Auxine sind Säuren. Wenn der Seidenfaden mit dem - -Pol verbunden ist, wird der Transport des physiologisch aktiven Auxin-Anions zur Basis beschleunigt. In diesem Falle können wir die Wirksamkeit bis über 120 Milliarden AE pro Gramm steigern. Wenn wir dagegen umpolen, wird der Transport des Auxin-Anions zur Basis gehemmt, und wir können die Wirksamkeit bis auf etwa 10 Milliarden AE pro Gramm senken.

Schließlich muß noch auf die bekannte physikalische Erfahrung hingewiesen werden, daß die Leitfähigkeit der Luft auch in geschlossenen Räumen einen täglichen Gang zeigt.

Wir haben also guten Grund, anzunehmen, daß auch die normalen Schwankungen durch Veränderungen in den luftelektrischen Verhältnissen zustande kommen.

Es wird die Aufgabe der Botaniker sein, aus diesen Versuchen Folgerungen über den feineren Mechanismus pflanzlicher Tropismen zu ziehen. Aber auch die medizinische Forschung wird unseren Versuchen wohl Interesse entgegenbringen, zumal die Rolle unbekannter Wettereinflüsse bei Krankheiten und die ungleiche Häufigkeit der Geburten und der Todesfälle während der 24 Stunden des Tages in der letzten Zeit wieder viel diskutiert worden sind. Der Arzt hat es allerdings schwieriger als wir — der Mensch ist ein weniger geeignetes „Testobjekt“ als unsere Pflänzchen! [A. 60.]

Über die Darstellung und Eigenschaften einiger Berylliumfluoridgläser.

Von Dr. G. HEYNE.

Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung, Osram-Konzern, Berlin.

(Eingeg. 12. Mai 1933.)

Die Bedingungen, die erfüllt sein müssen, damit eine Verbindung der allgemeinen Formel AX_2 der Verbindung SiO_2 , isomorph ist, wurden von V. M. Goldschmidt folgendermaßen formuliert¹⁾: 1. Das Verhältnis der Atomradien der Elemente A und X muß zwischen 0,22 und 0,41 liegen; 2. X darf nicht stärker polarisierbar sein als etwa Sauerstoff oder Fluor.

Hand in Hand mit dem Isomorphismus mit SiO_2 geht auch die Fähigkeit, Gläser zu bilden. Tatsächlich sind außer SiO_2 auch nur zwei Verbindungen der allgemeinen Formel AX_2 bekannt, die dieses tun: GeO_2 und BeF_2 . Zu den Bedingungen, unter denen Verbindungen fähig sind,

glasartig zu erstarren, hat später Zachariasen²⁾ noch drei weitere hinzugefügt, die die Lage der Atome im Atomgitter betreffen, die bei den drei genannten Verbindungen auch erfüllt sind.

Wie nun nicht nur reines SiO_2 , Glas bildet, sondern auch in Verbindung mit Basen, wobei meist SiO_2 im Überschuß vorhanden ist, so bilden auch die Beryllium-doppelfluoride Gläser, und zwar nicht die der Formel R_2BeF_4 , entsprechenden Doppelfluoride, sondern die, bei denen Berylliumfluorid im Überschuß vorhanden ist. Solche Gläser hat V. M. Goldschmidt hergestellt³⁾. Bei der Beschreibung ihrer Eigenschaften weist er auf ihren niedrigen Erweichungspunkt, ihre niedrige Lichtbrechung

¹⁾ Skr. Vid. Akad. Oslo. Mat. Naturv. Kl. 1926, Nr. 8. Ztschr. techn. Physik 8, 251—264 [1927].

²⁾ Journ. Amer. chem. Soc. 54, 3841/51 [1932]. ³⁾ A. a. O.