

# Chemische Konstitution und Zellstreckungswirkung verschiedener Stoffe.

(Versuch einer allgemeinen Wirkstoffhypothese.<sup>1</sup>)

Von

**Hans Linser.**

Aus der Biologischen Abteilung der Österreichische Stickstoffwerke A. G.,  
Linz/Donau.

Mit 5 Abbildungen.

*(Eingelangt am 30. Okt. 1953. Vorgelegt in der Sitzung am 19. Nov. 1953.)*

Die Pastenmethode gestattet als einziger Zellstreckungstest fördernde und hemmende Wirkungen von außen zugeführter Stoffe am normal gesteuerten pflanzlichen Streckungswachstum gleichzeitig und gleichwertig festzustellen und zu messen. Ihre Beziehung zu anderen Testmethoden wird diskutiert.

Auf Grund einer einfachen Überlegung über die allgemeinen Wirkungsmöglichkeiten von Wirkstoffen innerhalb der von ihnen beeinflussten Systeme wird eine allgemeine Wirkstoffhypothese entwickelt, welche annimmt, daß ein Wirkstoff entweder eine Wirkgruppe und eine Affinität zu einer Wirklücke oder eine Hemmgruppe und eine Affinität zu einer Hemmlücke oder aber beides haben muß, wenn er Wirkstoffeigenschaften besitzen soll. Die im speziellen Fall als „Gruppen“ oder „Affinitäten“ bezeichneten Strukturbereiche können sich auch überschneiden oder untereinander identisch sein, doch ist ihre anfänglich getrennte Betrachtung aus heuristischen Gründen in jedem Falle zweckmäßig. Beliebige Stoffe können jeweils eine oder mehrere der genannten Gruppen oder Affinitäten in verschiedenen Stärken aufweisen und sich im Wirkstoffsystem dementsprechend verhalten. Es wird eine Deutung verschiedener Konzentrations-Wirkungskurven auf Grund dieser Hypothese gegeben.

Die Kennzahlen der Konzentrations-Wirkungskurven von

---

<sup>1</sup> Die hier veröffentlichte Wirkstoffhypothese wurde zusammen mit einem Teil des Materials dieser Mitteilung am 13. 8. 1953 beim Wuchsstoff-symposium der Universität Lund/Schweden erstmals vorgetragen.

über 50 verschiedenen Stoffen im Pastentest werden mitgeteilt und vergleichend diskutiert.

Im folgenden wird über Testergebnisse berichtet, welche mit der vom Verfasser ausgearbeiteten, bereits früher (*Linser*)<sup>2</sup> beschriebenen quantitativ arbeitenden Pastenmethode an Stoffen verschiedenartiger chemischer Konstitution gewonnen wurden. Ferner wird versucht, an Hand dieser Ergebnisse zu einer möglichst allgemeinen Modellvorstellung über die Wirkungsweise von Wirkstoffen zu gelangen, welche *als Arbeitshypothese* eine kausale Deutung der erhaltenen Testergebnisse ermöglichen und zu einer Klärung der Zusammenhänge zwischen chemischer Konstitution und Wirkung führen soll<sup>3</sup>. Sowohl der methodische Ausgangspunkt wie auch der Weg, auf welchem die Klärung des Zusammenhanges zwischen Konstitution und Wirkung angestrebt wird, unterscheidet sich — auf Grund bestimmter Überlegungen — von bisherigen Versuchen dieser Art, weshalb hier etwas näher darauf eingegangen werden soll.

#### Methodische Überlegungen.







Wenn man beabsichtigt, den Einfluß chemisch verschieden gebauter Stoffe auf einen biologischen Vorgang zu studieren, so wird es zweckmäßig sein, diesen bestimmten Vorgang so ablaufen zu lassen, daß die zugefügte Substanz ihre Wirkung in einer *Förderung* oder in einer *Hemmung* dieses Vorganges zum Ausdruck bringen kann oder ihr indifferentes Verhalten dadurch anzeigt, daß sie den betreffenden Vorgang unbeeinflußt läßt. Die meisten üblicherweise zur Testung zellstreckender Wuchsstoffe herangezogenen Methoden entsprechen dieser Zweckmäßigkeit, wie eine auf der normalen Wuchsstoffverteilung in den Organen der Testpflanze (Beispiel vgl. Abb. 1) basierende, in Tabelle I schematisch dargestellte Überlegung zeigt, nicht. In dem zur Zeit der Entwicklung der Auxinforschung verständlicherweise herrschenden Bestreben, möglichst *empfindliche* Nachweismethoden zu schaffen, gelangte man zu Versuchsbedingungen, welche den Zellstreckungsvorgang durch Verarmung des Testobjektes an eigenen Wirkstoffen zunächst stilllegten und erst durch zugefügte Wirkstoffe wieder in Gang setzten. Dies ist beispielsweise bei der klassischen *Avena*-Testmethode nach *F. W. Went*<sup>4</sup> der Fall, in gleicher Weise aber auch bei allen übrigen, mit dekapitierten oder abgeschnittenen Koleoptilen bzw. -teilen Epi- oder Hypocotylen arbeitenden Testmethoden. Alle diese Methoden sind daher nicht geeignet, den *hemmenden Einfluß*


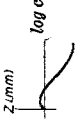

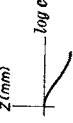

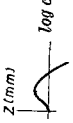

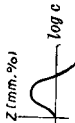
<sup>2</sup> *H. Linser*, *Planta* 28, 227 (1938).

<sup>3</sup> Eine ausgezeichnete Übersicht über den Stand der zahlreichen Versuche, einen Einblick in die Zusammenhänge zwischen chemischer Konstitution und zellstreckender Wirkung verschiedener Stoffe zu gewinnen, gab neuerdings *H. Veldstra*, *Ann. Rev. Plant Physiol.* 4, 151 (1953).

<sup>4</sup> *F. W. Went* und *K. V. Thimann*, *Phytohormones*, S. 27/28. New York 1937.

Tabelle 1. Übersicht über die Eignung verschiedener Organe von Keimlingen als Testobjekte für Wuchs- und Hemmstoffe in Abhängigkeit von ihrer natürlichen Versorgung mit Wuchsstoffvorstufen sowie mit aktivem polar geleitetem Wuchsstoff.

Test nach	Testorgan	Schema des Testversuches	Versorgung des Testorgans mit Wuchsstoffvorstufe aus pflanzeneigenen Quellen	Umwandlungsfähigkeit des Testorgans für Wuchsstoffvorstufe in aktiven Wuchsstoff während der Versuchsdauer	Versorgung des Testorgans mit Wuchsstoff aus pflanzeneigenen Quellen	Empfindlichkeit des Gewebes des Testorgans	Wachstumskapazität des Testorgans durch vorhandenen Wuchsstoff ausgenutzt	Wirkung zugegebener Wuchsstoffe gemessen als Krümmungswinkel ( $\alpha^\circ$ ) oder Längenzuwachs ( $Z$ in mm oder in Prozent des Zuwachses der unbehandelten Kontrollpflanzen)	Methode, geeignet zur Bestimmung von
Went	dekapitierte Koleoptile		+	fehlt	schlecht, da Spitze fehlt, welche die Vorstufe umwandeln könnte	} klein	nur zu kleinem Teil		Förderungswirkung
Bonner	Koleoptilzylinder		-	fehlt	fehlt völlig, da auch Versorgung mit Wuchsstoffvorstufe wegfällt		} klein	gar nicht	
-	Wurzelabschnitte (mit Spitze)		-	?	mittelmäßig, da vorhandene Vorstufen durch Spitze umgewandelt werden können			zum größten Teil	

<i>Morus</i>	intakte Wurzeln		+	vorhanden	fast vollkommen, da volle Versorgung aus pflanzeigenen Quellen mit aktivem Wuchsstoff, der nur basalwärts geleitet wird und sich in der Wurzel ansammelt	groß	fast völlig		Hemmungswirkungen (Förderungen meist innerhalb der Fehlergrenzen)
—	Primärblatt bei intakter Koleoptile		+	?	vollkommen, da volle Anlieferung der Gesamtproduktion der intakten Koleoptile zum Primärblatt abfließt	mittel	völlig		Hemmungswirkung
—	Primärblatt bei entfernter Koleoptile		+	?	mittelmäßig bis schlecht, da keine Anlieferung durch Koleoptile erfolgt und nur die durch eigene Tätigkeit aktivierte Menge an Vorstufe zur Verfügung steht		zum größten Teil		Förderungswirkung (Hemmungswirkung)
<i>Linser</i>	intakte Koleoptile		+	vorhanden	mittelmäßig, da zwar volle Versorgung aus pflanzeigenen Quellen mit Wuchsstoffvorstufe und aktivem Wuchsstoff, doch wird letzterer stets basalwärts abgeleitet	Klein	etwa zur Hälfte		Förderungswirkung ebenso wie Hemmungswirkung

einer Substanz auf den *normalen* Ablauf der Zellstreckung erkennen zu lassen. Auch der sog. Koleoptilzylindertest läßt nur nach Zufügung von Wuchsstoffen von außen her hemmende Wirkungen von Auxin-Antagonisten erkennen und es bedarf der

### Umwandlungszentrum

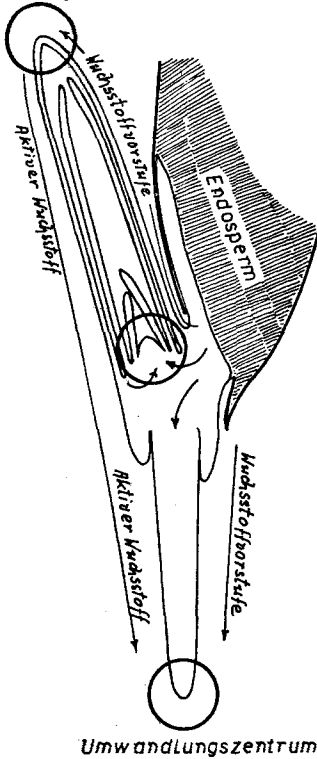


Abb. 1. Schematischer Längsschnitt eines Haferkeimlings, zeigt die Normalversorgung der einzelnen Organe mit Wuchsstoffvorstufen und Wuchsstoffen. Aus dem Endosperm gelangen Wuchsstoffvorstufen in die Koleoptile und in die Wurzel zu den Spitzen, wo sie in aktive Wuchsstoffe umgewandelt werden, deren Weiterleitung polar von der Spitze zur Basis erfolgt.

Durchführung *zweier* Teste, um die fördernde und die hemmende Wirkung einer Substanz auf die Zellstreckung nebeneinander prüfen zu können. Andererseits besitzen jene Testmethoden, welche den Krümmungswinkel (nach einseitiger Anbringung einer Wirkstoffquelle) als alleiniges Kriterium der Wirkung verwenden, den wesentlichen Nachteil, daß der Ausfall des Ergebnisses weitgehend von der Geschwindigkeit abhängig ist, mit welcher die untersuchte Substanz sich in dem Pflanzenorgan (der Koleoptile) quer (horizontal) verbreitet. Die Größe dieses Quertransportes, welche durch die eingangs erwähnte Pastenmethode meßbar ist, kann völlig unabhängig von der Größe der Wuchsstoffwirkung eines Stoffes sein, bestimmt aber primär die Größe des Krümmungswinkels. Auch ein stark wuchsstoffwirksamer Stoff wird, wenn er sehr schnell auf die gegenüberliegende Seite des Testorganes diffundiert, fast keine oder gar keine Krümmungswerte bringen können. Dies ist beispielsweise bei dem sehr stark wuchsstoffwirksamen Natriumsalz der 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure der Fall, welche im *Went*-Test ohne besondere Vorsichtsmaßnahmen über-

haupt keine Wuchsstoffwirkung erkennen lassen muß (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2. 2,4-dichlorphenoxyessigsäures Natrium im *Went*-Test an einmal dekapitierten *Avena*-Koleoptilen; Versuchsdauer 2 Stdn. (je zirka 80 Pflanzen).

% 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure-Na in Agar .....	10°	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>
Krümmungswinkel .....	- 1,9±5,1	+ 0,2±5,6	- 1,8±4,1	+ 0,0±4,9	+ 0,55±3,7

Die in diesem Falle überraschend hohen mittleren Abweichungen trotz großer Pflanzenanzahl sind dadurch verständlich, daß die geprüfte Substanz ja hohe Wuchsstoffwirksamkeit besitzt, welche nur durch den Quertransport verdeckt ist, welcher in seiner Größe weitgehend von der vom Agarwürfelchen bedeckten Schnittfläche sowie von dem Vorgang des Aufsetzens beeinflußt wird, weshalb überdurchschnittlich hohe, individuelle Schwankungen der erzielten Werte, damit aber auch hohe Abweichungen erwartet werden müssen. Ein weiterer Nachteil der mit Agar arbeitenden Methoden besteht darin, daß sie die zu testenden Stoffe ausschließlich in wäßriger Lösung, also in der wäßrigen Phase an die Testpflanze heranbringen, so daß die hydrophoben bzw. lipophilen, lipoidlöslichen Stoffe den wasserlöslichen gegenüber bereits auf dem Wege in das Pflanzeninnere transportmäßig benachteiligt werden. Auch die Verteilung lipophiler Stoffe kann in wäßriger Phase nicht so fein vorgenommen werden wie jene wasserlöslicher Stoffe. Da ferner bekannt ist, daß die Plasmagrenzschichten sowohl aus hydro- wie auch aus lipophilen Anteilen aufgebaut sind, erscheint es, wenn es sich um die vergleichende Testung einer großen Anzahl von Stoffen mit verschiedenartigen Löslichkeitseigenschaften handelt, zweckmäßiger, die zu testenden Stoffe sowohl in wäßriger wie auch in lipoider Phase an das lebende Testobjekt heranzubringen.

Alle hier gegen die Brauchbarkeit üblicher Testmethoden zur Prüfung chemisch unterschiedlicher Stoffe vorgebrachten Einwände werden durch die quantitative Pastenmethode (*Linsler*<sup>2</sup>) vermieden, da diese

1. die zu testenden Stoffe in Form eines innigen Gemisches von wäßriger und lipoider Phase (Wasser + Wollfett = Lanolin) an das Testobjekt heranbringt;

2. durch Längenmessung (neben der Winkelmessung) den Einfluß der Quertransportgeschwindigkeit auf das Testergebnis ausschaltet (bzw. meßbar macht) und einen reinen Zellstreckungswert liefert;

3. nicht nur eine Förderung des Zellstreckungswachstums (bis zu fast 100%) erkennbar werden läßt, sondern auch eine Hemmung (bis zu 100%) zum Ausdruck bringt und *beides* mit adaequater Genauigkeit zu messen gestattet.

Während bei der Avena-Methode nach *Went* bei zweistündiger Versuchsdauer der Zuwachs einer Kontroll-Koleoptile insgesamt nur 0,26 mm, bei zweimaliger Dekapitation nach *van der Wey* sogar bloß 0,12 mm beträgt, so daß eine eintretende Hemmung dieses minimalen Wachstums ohne Benutzung umständlicher Einrichtungen praktisch unerkennbar ist, beträgt der durchschnittliche Zuwachs einer Kontroll-Koleoptile bei der quantitativen Pastenmethode etwa 22,9 ( $\pm 3,8$ ) mm in 24 Stdn., so daß für die Wachstumshemmungen ebenso große Meßwerte in mm gefunden werden wie für die Wachstumsförderungen. Hemmungs- und Förderungs-

wirkung einer Substanz kommen im quantitativen Pastentest daher *gleichwertig* zum Ausdruck, weshalb gerade dieser Test sich besonders für die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen chemischer Konstitution und Wirkung verschiedenartiger Stoffe eignet.

Die *hemmende* Wirkung verschiedener Stoffe auf das Streckungswachstum der Wurzeln zu testen gestattet der *Kressewurzeltest*, der natürlich nicht nur mit Kresse, sondern analog auch mit anderen Pflanzenarten durchgeführt werden kann (Zeller und Gretschy<sup>5</sup>). Auch hier können Stoffe aus-

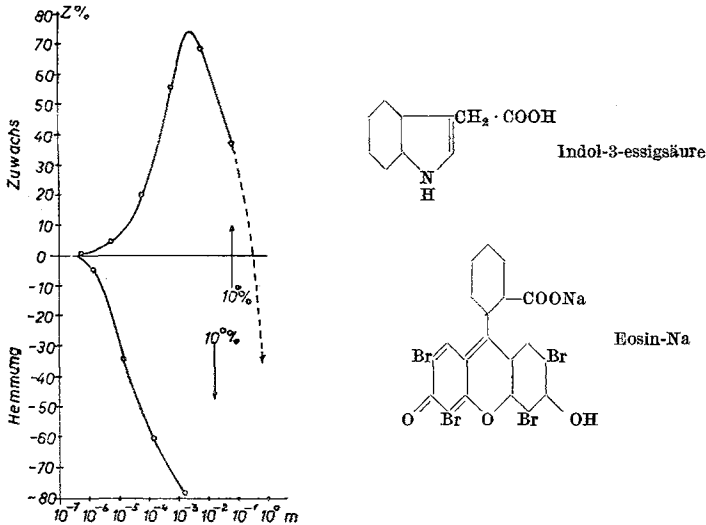


Abb. 2. Die beiden gegensätzlichen Wirkungstypen: „Wachsstoff“ (obere Kurve) und „Hemmstoff“ (untere Kurve). Die Konzentration der Wirkstoffe in der Paste ist molar (*m*) angegeben.

schließlich in wäßriger Phase getestet werden. Nach Moewus<sup>6</sup> soll sich der Test auch zum Nachweis fördernder Wirkungen eignen. Die relativ großen Versuchsfehler dieses Testes (welche die von Moewus angegebenen Werte beträchtlich übersteigen) machen jedoch im Hinblick auf die geringe Größe der möglichen Förderungswerte (maximal 20 bis 30%) alle Beobachtungen im Förderungsbereich der Konzentrationswirkungskurve so unsicher, daß die Methode in der Praxis für eine Charakterisierung von Wachstoffsstoffen nicht in Frage kommt.

Über die Untersuchung einiger synthetischer Wachstoffsstoffe und pflanzlicher Extrakte mit der quantitativen Pastenmethode wurde bereits an mehreren Stellen berichtet (Linser<sup>7, 8, 9</sup>). Es stellte sich dabei heraus, daß

<sup>5</sup> A. Zeller und G. Gretschy, Veröff. Bundesanst. alpine Landw. Admont 6, 124 (1952).

<sup>6</sup> F. Moewus, Biol. Zbl. 68, 118 (1949).

<sup>7</sup> H. Linser, Planta 31, 32 (1940).

<sup>8</sup> H. Linser, Protoplasma 39, 358 (1950).

<sup>9</sup> H. Linser, Biochim. Biophys. Acta 6, 384 (1951).

verschiedene Stoffe völlig verschiedenartige Konzentrations-Wirkungskurven liefern und daß diese *zwei extreme Formen* annehmen können, zwischen welchen alle denkbaren Übergangsformen möglich sind.

Bei dem einen Extrem tragen die für alle noch als „physiologisch“ zu bezeichnenden Konzentrationen gefundenen Wirkungswerte (Längen-zuwachswerte  $Z$  in % des Zuwachses der Kontroll-Koleoptilen während der Versuchsdauer) ein positives Vorzeichen und liegen somit im Förderungsbereich. Bei dem anderen Extremfall aber tragen die Wirkungswerte bei allen Konzentrationen ein negatives Vorzeichen, so daß die Kurve zur Gänze im Hemmungsbereich liegt (vgl. Abb. 2). Beide Kurven zeigen einen S-förmigen Verlauf und streben einem maximalen Förderungsbzw. Hemmungswert zu. Dementsprechend kann man, um zu einer Einteilung von allerdings nur *vorläufigem* Charakter zu gelangen, die Stoffe, welche Konzentrations-Wirkungskurven solcher Art liefern, als „Wachsstoffe“ bezeichnen, wenn alle Wirkungswerte positiv sind, oder aber als „Hemmstoffe“, wenn alle Wirkungswerte ein negatives Vorzeichen tragen. Inerte Stoffe weisen bei allen Konzentrationen theoretisch den Wirkungswert Null, praktisch Werte mit negativem Vorzeichen auf, welche (mit etwa  $\pm 5\%$ ) innerhalb der Fehlergrenze des jeweiligen Ansatzes um den Null-Wert schwanken. Zahlreiche Stoffe und pflanzliche Extrakte zeigen jedoch verschiedenartige Konzentrations-Wirkungskurven von kompliziertem Verlauf, wobei sie teils positive, teils negative Wirkungswerte durchlaufen und oft ein ausgeprägtes Optimum aufweisen (vgl. beispielsweise Indol-3-essigsäure in Abb. 2), dessen Lage nach Höhe des Wirkungswertes wie auch der Konzentration gegenüber verschieden sein kann. Ganz ähnliche Kurvenverläufe finden sich übrigens nicht nur für Wachstoffsphänomene bei Pflanzen, sondern auch bei zahlreichen andersartigen biologischen Vorgängen, welche durch Wirkstoffe in Gang gebracht oder gesteuert werden; beispielsweise für die Glykokollanreicherung von Tumorzellen unter dem Einfluß von Pyridoxal (*Riggs, Coyne* und *Christensen*<sup>10</sup>). Die nun folgenden Überlegungen haben daher *ganz allgemein* auf alle biologischen Wirkstoffvorgänge Bezug. Man kann die einfache S-förmige Wirkungskurve der Hemmstoffe als eine Adsorptionsbzw. Affinitätsfunktion so deuten, daß das Wirkstoffmolekül der durch die Konzentration bestimmten Wahrscheinlichkeit folgend an einer bestimmten Stelle des lebenden Systems, welche wir als „Lücke“ bezeichnen wollen, durch eine „Affinität“ (durch zwischenmolekulare oder Hauptvalenzbindung also) festgehalten wird. Ganz allgemein können wir danach annehmen, daß das Wirkstoffmolekül an dieser Stelle dann — ähnlich einem in eine Werkzeugmaschine eingespannten Werk-

<sup>10</sup> *T. H. Riggs, B. Coyne* und *H. N. Christensen*, *Biochim. Biophys. Acta* 11, 303 (1953).



zeug — seine Funktion im Lebensgeschehen ausübt, welche sich in dem gemessenen Vorgang als Förderung oder als Hemmung auswirkt. Ob diese Funktion in einer chemischen Reaktion mit anderen Teilen des lebenden Systems besteht oder ob sie sich allein schon in der durch den Eintritt eines bestimmt gestalteten Moleküls in die „Lücke“ bewirkten Änderung der physikalischen Eigenschaften des Systems erschöpft, bleibt hierbei nebensächlich. Diese einfache Vorstellung reicht jedoch nicht hin, um den eigenartigen Verlauf der erwähnten Wirkungskurven mit ausgesprochenem Optimum zu erklären, bei welchen wir es offenbar mit Stoffen zu tun haben, die nicht nur mit einer, sondern in komplizierterer Weise mit mehreren chemischen Gruppen, Affinitäten oder biologischen Funktionen in das lebende System eingreifen.

Bevor wir die Entwicklung einer Modellvorstellung versuchen wollen, welche das verschiedenartige Verhalten unterschiedlicher Stoffe in einem Wirkstoffsystem verständlich machen könnte, soll betont werden, daß bei allen den Zusammenhang zwischen Konstitution und biologischer Wirkung verschiedener Stoffe betreffenden Überlegungen berücksichtigt werden muß, daß die mit der Paste an die Testpflanze herangebrachten Stoffe, bevor sie an die Wirklücke oder Hemmlücke gelangen, innerhalb der lebenden Substanzen in ihrer Struktur verändert werden können, indem sie vielleicht in den Stoffwechsel einbezogen und fermentativen Umwandlungen unterzogen werden oder aber Bindungen eingehen, durch welche sie „inaktiviert“ werden. Diese Möglichkeit, welche für einzelne Stoffe mit Sicherheit bekannt ist, aber auch bei anderen nicht stets ausgeschlossen werden kann, erschwert naturgemäß die Auffindung der wirksamen Gruppen außerordentlich. Ferner bedarf die Frage einer Klärung, inwieweit der Verlauf der Konzentrations-Wirkungskurven durch die Eigenart der verwendeten Testmethode und des verwendeten Testmaterials beeinflusst ist.

Bereits eingangs wurden die Gründe diskutiert, welche die Pastenmethode als für die vergleichende Prüfung verschiedener wirksamer Substanzen als besonders geeignet erscheinen lassen, wobei festgestellt wurde, daß sich die Gestalt der Konzentrations-Wirkungskurve eines bestimmten Stoffes von der Art des gewählten Versuchsmaterials (Versuchspflanze) wie auch von der Art der Ausführung des Testes weitgehend abhängig erweist. In einer früheren Arbeit (*Linser*<sup>11</sup>) wurde gezeigt, daß auch dann, wenn eine ganz bestimmte Testmethode mit konstanten Bedingungen verwendet wird und auch eine einzige bestimmte Pflanzenart als Testobjekt herangezogen wird, der Ausfall der Konzentrations-Wirkungskurve von der in der Testpflanze selbst bereits vorliegenden Wuchsstoffmenge einerseits und von der Reaktionsbereitschaft des Protoplasmas

<sup>11</sup> H. Linser, *Planta* 41, 25 (1952).

der Testpflanze andererseits bestimmt wird. Dies kann so weit führen, daß eine Wuchsstoffkurve zu einer inerten und eine Wuchs-Hemmstoff-Mischkurve zu einer scheinbar einfachen Hemmstoffkurve werden kann. Ist nämlich in der Testpflanze aus eigenen, physiologischen Quellen bereits soviel Wuchsstoff vorhanden, daß die physiologische Reaktionsbereitschaft des Protoplasmas dadurch schon voll beansprucht ist, so kann jede zusätzlich von außen her eingebrachte Wuchsstoffmenge keine Förderung, höchstens noch eine Hemmung herbeiführen. Ist andererseits die physiologische Reaktionsbereitschaft des lebenden Systems überhaupt noch nicht beansprucht, weil pflanzeigener Wuchsstoff etwa völlig fehlt, so kann keinerlei Hemmwirkung zustande kommen, wenn nicht gleichzeitig eine Wuchsstoffwirkung gesetzt wird. Wir müssen daher, wenn wir einen normalen biologischen Vorgang (wie im vorliegenden Fall) fördernd oder hemmend beeinflußt sehen wollen, diesen unter solchen Bedingungen ablaufen lassen, unter welchen er beiden Einflüssen zugänglich ist. Dies ist aber nur dann der Fall, *wenn gerade so viel Wirkstoff im Testobjekt vorhanden ist, daß etwa die Hälfte der physiologischen Leistungsfähigkeit des Wirksystems ausgenutzt ist.* Im Hinblick auf diese Forderung enthalten die Wurzeln bedeutend zu viel, die dekapitierten Koleoptilen oder abgeschnittene Koleoptilstümpfe dagegen bedeutend zu wenig pflanzeigenen Wuchsstoff, während eben gerade die intakte Koleoptile dieser Forderung unter normalen Testverhältnissen entspricht (vgl. Tabelle 1). Da nun auch bei Anzucht von *Avena*-Keimlingen unter konstanten Außenbedingungen jahresperiodische sowie individuelle Schwankungen im Wuchsstoffgehalt zu erwarten sind, hat es sich als notwendig erwiesen, Testserien mit verschiedenen Konzentrationen verschiedener Stoffe nicht nur zu einem einzigen Zeitpunkt mit einer genügend großen Zahl von Einzelpflanzen pro Testpunkt der Kurve durchzuführen, um statistisch gesicherte Werte zu erhalten, sondern diese ganze Serie auch noch zu verschiedenen Jahreszeiten zu wiederholen, um schließlich einen statistisch so hoch als möglich gesicherten Durchschnittswert für jeden Kurvenpunkt zu erhalten, der sich nun auf den statistischen Durchschnittswert an Wuchsstoffgehalt der Koleoptile während des Jahres und durchschnittlich ausgenutzten bzw. nicht ausgenutzten Teil der Reaktionsbereitschaft des Systems bezieht.

Aus diesem Grunde wurde beispielsweise die in Abb. 2 für Indol-3-essigsäure wiedergegebene Wirkungskurve aus Mittelwerten von 26 einzelnen Bestimmungsserien konstruiert, welche zu verschiedenen Jahreszeiten angesetzt worden waren und zu welchen für jeden einzelnen Kurvenpunkt jeweils zirka 30 Einzelpflanzen herangezogen wurden, so daß jeder Kurvenpunkt der Abb. 2 also insgesamt aus etwa 780 Einzelpflanzen zu verschiedenen Jahreszeiten gewonnen wurde.

Der Verlauf dieser Konzentrations-Wirkungskurve ist jener, welcher

für die bestimmten synthetischen „Wuchsstoffe“ Indol-3-essigsäure,  $\alpha$ -Naphthylessigsäure, 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure, 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure u. a. m. gefunden wird und weist ein ausgesprochenes *Wirkungsoptimum* auf.

Um die verschiedenen Testergebnisse, die an verschiedenartigen Stoffen gewonnen wurden, für praktische Zwecke systematisch ordnen zu können, ohne umfangreicher graphischer Darstellungen zu bedürfen,

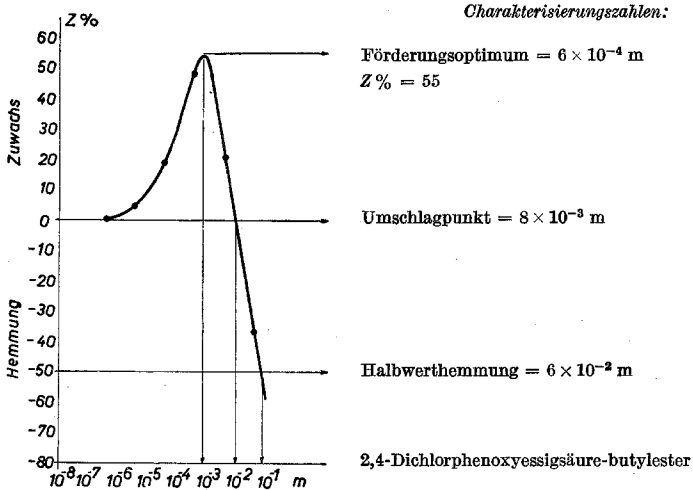


Abb. 3. Darstellung der in der Tabelle 4 angegebenen Charakterisierungszahlen einer Wuchsstoffwirkungskurve (Beispiel: 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure-butylester).

erschien es zweckmäßig, charakteristische Kennzahlen für die einzelnen Wirkungskurven zu ermitteln, durch welche der Kurvenverlauf möglichst eindeutig charakterisierbar ist. Als solche Kennzahlen boten sich an:

1. die Wirkstoffkonzentration (in der Paste), bei welcher das Förderungsoptimum erreicht wird;

2. der bei diesem Optimum erreichte Höchstwert (Z%);

3. der Umschlagspunkt, d. h. diejenige Wirkstoffkonzentration, bei welcher die Wirkungskurve aus dem Förderungsbereich in den Hemmungsbereich übertritt und den Wert  $Z\% = 0$  erreicht;

4. die Wirkstoffkonzentration, bei welcher eine 50%ige Hemmung erreicht wird (= „Halbwerthemmungskonzentration“). Abb. 3 zeigt an dem Beispiel des 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure-butylesters die Lage dieser charakteristischen Punkte an der Wirkungskurve.

Reine Wuchsstoffe (ohne Hemmungskomponente) werden nur die unter 1 und 2 genannten Kennzahlen liefern, Wuchsstoffe mit Hemmkomponente dagegen alle Kennzahlen 1 bis 4, mindestens jedoch 1 bis 3,

während reine Hemmstoffe (ohne Förderungskomponente) nur die Kennzahl 4, die Halbwertthemmungskonzentration liefern können.

Was bedeuten nun die Größen dieser Kennzahlen?

Zweifellos sind die verschiedenartigen Wirkstoffe um so geeigneter, die Wirkfunktion auszuüben, bei je geringerer Konzentration ihre Kennzahlen 1, 3 und 4 liegen und je größer die Kennzahl 2 ist.

Wie nun in einer früheren Arbeit (*Linser*<sup>9</sup>) und in einer daran anschließenden von *Kaindl*<sup>12</sup> gezeigt werden konnte, verhalten sich Wuchs- und Hemmstoffe im Gemisch so, daß die Hypothese berechtigt erscheint, daß beide Stoffe gegeneinander in *Adsorptionskonkurrenz* stehen. Das bedeutet, daß die Annahme gerechtfertigt erscheint, daß das Wuchsstoff- (bzw. Wirkstoff-)molekül nach seinem Eindringen in die lebende Zelle in eine „Lücke“ des lebenden, großmolekularen Systems eintreten und dort wenigstens eine gewisse Zeitspanne lang festgehalten werden muß, damit es seine Wirkung ausüben kann. Es ist dann notwendig anzunehmen, daß das Wirkstoffmolekül eine bestimmte Wahrscheinlichkeit besitzt, um in die Lücke zu gelangen und daß diese Wahrscheinlichkeit bestimmt wird durch die Größe der *Affinität* zwischen Lücke und Wirkstoffmolekül. Die Wahrscheinlichkeit eines Wirkstoffmoleküls, in eine Lücke aufgenommen zu werden, ist danach um so größer anzusetzen, je größer die *Affinität* dieses Moleküls ist. Da nun die Wirkung eines Wirkstoffes in ihrer Größe von der Anzahl der Lücken abhängig sein muß, in welche einzutreten es ihm gelingt, so muß der am stärksten wirksame Wirkstoff auch die größte *Affinität* zur Wirklücke besitzen und daher muß die Größe der Kennziffern einen Maßstab für die Größe der betreffenden *Affinitäten* zwischen Molekül und Lücke darstellen. Einen unmittelbaren Maßstab bieten diese Werte allerdings nur beim Vorliegen von Wirkstoffen mit nur einer einzigen *Affinität* und Wirkgruppe, beispielsweise für reine Hemmstoffe. Beim Vorliegen einer aus verschiedenen *Affinitäten* und Wirkgruppen hervorgehenden Konzentrations-Wirkungskurve dagegen kann erst nach einer (eventuell auf mathematischem Wege erreichbaren) Zergliederung der Mischkurve in ihre einfachen Komponenten (eine Wirk- und eine Hemmkurve) eine zahlenmäßige Bestimmung der *Affinitäten* erfolgen. Im allgemeinen aber darf zunächst gelten: Je kleiner die Konzentration, bei welcher Wirkungsoptimum, Umschlagspunkt und Halbwertthemmung erreicht werden, desto größer die *Affinität* des Wirkstoff- bzw. Hemmstoffmoleküls zu der entsprechenden „Lücke“. Eine Ordnung der verschiedenen Stoffe nach der Größe ihrer Kennzahlen stellt danach eine Ordnung nach der Größe ihrer *Affinitäten* dar. Da nun die „*Affinität*“ nichts anderes ist, als der Ausdruck einer Übereinstimmung oder Korrelation im räumlichen Bau von *Wirkstoffmolekül* und Wirk-

<sup>12</sup> K. Kaindl, Biochim. Biophys. Acta 6, 395 (1951).

*lücke*, so muß sich aus einer solchen Ordnung diejenige räumliche Strukturgruppe ermitteln lassen, welche für die Affinität zwischen Wirkstoff und Lücke bestimmend ist. Es eröffnet sich damit ein systematisch gangbarer Weg zur Auffindung bestehender Zusammenhänge zwischen chemischer Konstitution und physiologischer Wirkung.

Dabei darf natürlich nicht vergessen werden, daß verschiedene Stoffe, je nach ihrer chemischen Beschaffenheit, ihrer Molekülgröße und ihren chemischen Eigenschaften, verschiedene Wahrscheinlichkeiten für das *Durchdringen* der Zellwand und der Plasmagrenzschichten besitzen, also verschieden große *Intrabilitätskonstanten*, deren Größe auf das Ergebnis des Testversuches von Einfluß sein kann und in den meisten Fällen auch sein muß. Diese unterschiedlichen Intrabilitätskonstanten können beim Vergleich der Ergebnisse für verschiedene Stoffe verschiedene Affinitäten vortäuschen bzw. nachweislich vorhandene Affinitäten kleiner erscheinen lassen, als sie tatsächlich sind. Von dieser Tatsache wird man absehen können, wenn es sich um den Vergleich von Stoffen mit sehr ähnlichen Molekülgrößen und Löslichkeitseigenschaften handelt.

#### Allgemeine Wuchsstoffhypothese.

Überlegen wir nun ganz allgemein, welche Möglichkeiten der Einwirkung einem beliebigen Molekül gegeben sind, wenn es in ein beliebiges Wirkstoffsystem eintritt. In jedem solchen System ist eine *Förderungs-*, eine *Hemmungswirkung* und ein *inertes Verhalten* des betreffenden Moleküls möglich. Wir dürfen annehmen, daß dieses Verhalten durch das Vorhandensein oder Fehlen bestimmter Atomgruppierungen im Molekül bestimmt ist, und bezeichnen jene charakteristisch strukturierte Gruppe des Wirkstoffmoleküls, welche eine Förderung des Systems hervorbringt, als „Wirkgruppe“ (= *W*), jene, welche infolge ihrer ebenfalls eigenartigen Struktur eine Hemmung des Systems bewirkt, als „Hemmgruppe“ (= *H*), während wir ein inertes Molekül, dessen Struktur weder eine Wirk- noch eine Hemmgruppe aufweist, also ohne Wirkung ist, mit *O* bezeichnen wollen. Wir wollen mit dieser Bezeichnungsweise keine bestimmte Vorstellung darüber verbinden, wie diese Gruppen beschaffen sind und wie sie sich voneinander unterscheiden, wir wollen sie zunächst nur nach ihren Funktionen charakterisieren. Es bleibt dabei die Möglichkeit offen, daß *W* und *H* sogar identisch sind und daß diese Gruppe je nach der Wahrscheinlichkeit, mit welcher sie in die Lücke eintritt, d. h. je nach der Konzentration, in der sie geboten wird, die Eigenschaft *W* oder *H* annimmt. Wir wollen jedoch der heuristischen Zweckmäßigkeit wegen an der ursprünglich gegebenen, logischen Gliederung in *W* und *H* festhalten und uns im Falle der Identität von *W* und *H* erst durch die mathematische Auswertung der Wirkungskurven überzeugen lassen. Wenn wir uns so eine Vorstellung über das Eingreifen von Wuchsstoffen in das lebende System machen, welche als Modell Dienst zu tun geeignet

sein soll, dürfen wir freilich nicht vergessen, daß dieses Modell stark vereinfacht und zu starr ist, um den tatsächlichen Gegebenheiten voll gerecht zu werden. Wir müssen beachten, daß es wahrscheinlich nicht nur das *Vorhandensein* bestimmter Gruppen im Molekül ist, welches diesem Wirkstoffeigenschaft verleiht, sondern daß in vielen Fällen wohl damit zu rechnen ist, daß diese Eigenschaft erst dadurch hergestellt wird, daß diese bestimmte Gruppe durch eine ganz bestimmte Beweglichkeit gekennzeichnet ist, welche erst ermöglicht, daß diese Gruppe in dem betreffenden Lebensvorgang ihre *Funktion* ausübt. Es ist also nicht allein die *Konfiguration* eines Moleküls (statisch betrachtet), welche für seine Wirkstoffeigenschaften maßgeblich sein muß, sondern ebenso die Beweglichkeit bzw. Funktionsfähigkeit, d. h. die Fähigkeit, durch bestimmte Bewegungen innerhalb des Moleküls an bestimmten Vorgängen teilzunehmen, also seine *Funktionsfähigkeit*. Freilich ist diese nur unter der Voraussetzung einer bestimmten Konfiguration gegeben bzw. möglich (dynamisch betrachtete Konfiguration). So konnte z. B. von R. Riemschneider bei Insektiziden der DDT-Gruppe gezeigt werden, daß die freie Drehbarkeit der beiden Phenylreste gegeneinander erhalten bleiben muß, wenn die insektizide Wirkung nicht verlorengehen soll. Ganz ähnlich scheinen die Verhältnisse bei den Chlorphenoxyessigsäuren und ihrer Zellstreckungswirkung zu liegen (vgl. S. 213).

Wenn wir hier zu unserer Modellvorstellung den Begriff „Gruppe“ heranziehen, so wollen wir ihn in diesem Sinne einer dynamisch betrachteten Konfiguration verstanden wissen. Es ist nun keineswegs sicher, daß die gleiche „Gruppe“, welche die Wirkung hervorbringt, auch für die Affinität zwischen dem Wirkstoffmolekül und jener Stelle des lebenden Systems, an welcher sie allein ihre Wirkung ausüben kann (der „Wirklücke“) verantwortlich ist. Denn es besteht die Möglichkeit, daß das Wirkstoffmolekül zunächst einmal an einer bestimmten Stelle dieses Systems durch eine Affinität fixiert werden muß, damit es anschließend dann mit einer anderen Gruppe (bzw. deren Affinität  $W$  zu einem Wirkungspartner  $M$ ) die Wirkung herbeiführen kann. Wir müssen daher, wenn wir ganz allgemein gültige Verhältnisse beibehalten wollen, neben der Wirkgruppe  $W$  noch eine Haftgruppe  $w$  annehmen, welche mit der Affinität  $w$  dafür sorgt, daß das Wirkstoffmolekül in der Wirklücke fixiert wird. Ebenso muß dann der Hemmgruppe  $H$  eine

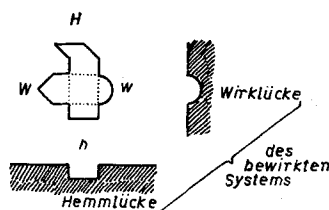


Abb. 4. Modellvorstellung zu einer allgemeinen Wirkstoffhypothese.  $W$  = Wirkgruppe des Moleküls,  $w$  = Affinität des Moleküls zur Wirklücke,  $H$  = Hemmgruppe des Moleküls,  $h$  = Affinität des Moleküls zur Hemmlücke. Ergänzend hiezu werden außerdem folgende Bezeichnungen benutzt:  $O$  = wirkungslose Gruppe des Moleküls, welche Affinität zur Wirk- oder Hemmlücke haben und dort verdrängend wirken kann,  $o$  = fehlende Affinität.

Haftgruppe  $h$  mit einer Affinität  $h$  zur „Hemmlücke“ entsprechen, so daß wir zu einem schematischen Gesamtbild des Wirkstoffmoleküls kommen, wie es in Abb. 4 schematisiert ist. Auch hier soll keineswegs vorausgesetzt werden, daß  $W$  und  $w$  voneinander verschiedene Gruppen des Moleküls sein *müssen*, sondern bloß, daß sie es, ganz allgemein gesprochen, sein *können*. Es soll damit die Möglichkeit nicht verschlossen sein, daß sich  $W$  und  $w$  als identische Gruppen erweisen, auch nicht, daß sich beide Gruppen etwa teilweise überschneiden. Ob eine solche Möglichkeit tatsächlich vorliegt oder nicht, müßte sich ja aus der Anwendung des vorliegenden Schemas auf den Einzelfall und an Hand der bei ihrer mathematischen Behandlung gewinnbaren Werte für die Konstanten erkennen lassen. Das gleiche gilt natürlich für  $H$  und  $h$  und es besteht auch die weitere Möglichkeit, daß  $W$  und  $h$  oder  $H$  und  $w$  als Gruppe identisch sind.

Tabelle 3. Übersicht über die möglichen Kombinationen von Wirk- und Hemmgruppen und ihren Haftgruppen bzw. Affinitäten bei Wirkstoffen (vgl. Text).

Das Molekül:	besitzt Affinität zu:		beiden	keiner
	Wirklücke	Hemmlücke	Lücken	Lücke
$WH$	$Ww Ho$	$Wo Hh$	$WwHh$	$Wo Ho$
$WO$	$Ww Oo$	$Wo Oh$	$WwOh$	$Wo Oo$
$OH$	$Ow Ho$	$Oo Hh$	$OwHh$	$Oo Ho$
$OO$	$Ow Oo$	$Oo Oh$	$OwOh$	$Oo Oo$

Wenn wir nun annehmen, daß jede einzelne der hier skizzierten fakultativen Eigenschaften eines Wirkstoffmoleküls vorhanden sein oder aber fehlen kann, so ergeben sich die in Tabelle 3 übersichtlich zusammengestellten kombinatorischen Möglichkeiten, wobei jedes beliebige Molekül in seiner Beziehung zu einem besonders ausgewählten Wirkstoffsystem durch vier Buchstaben bezeichnet bzw. charakterisiert werden kann. Als „Wirkstoffe“ wird man danach nur jene Stoffe bezeichnen können, welche entweder eine Wirkgruppe *und* eine Affinität zur Wirklücke oder aber eine Hemmgruppe *und* eine Affinität zur Hemmlücke besitzen oder beides, nicht aber solche Stoffe, welche zwar eine Wirk- oder Hemmgruppe, aber keine Affinität zur Wirk- oder Hemmlücke besitzen, auch nicht solche, welche zwar eine derartige Affinität besitzen und daher den pflanzeeigenen Wuchs- oder Hemmstoff in großen Konzentrationen zu verdrängen vermögen, es sei denn, diese Affinitäten wären von ganz besonderer Größe, so daß bereits kleinste Konzentrationen zur Verdrängung führen.

Diese eben gegebene Charakterisierung läßt nun voraussehen, welche Art von Wirkungskurven ihr entsprechen muß. Eine übersichtliche Zusammenstellung von Beispielen der den verschiedenen Kombinations-

typen eines Wirkstoffes wahrscheinlich entsprechenden Konzentrations-Wirkungskurven ist in der folgenden Abb. 5 gegeben. Sie zeigt, daß einige voneinander verschiedenen Konzentrationstypen untereinander gleiche Wirkungskurven entsprechen können, so daß also ein bestimmter Typ einer Wirkungskurve durch verschiedene Stoffe auf verschiedene Weise zustande gebracht werden kann.

Ein anscheinend erfolgreicher Versuch, aus der Auswertung von Konzentrations-Wirkungskurven zu einem kinetischen Modellbild der Wuchsstoff-wirksamkeit zu gelangen, wurde vor kurzem von *J. Bonner*<sup>13</sup> unternommen, dessen experimentelles Material jedoch an Hand von Testmethoden gewonnen wurde, bei welchen die Konzentrations-Wirkungskurven ausschließlich im Förderungsbereich liegen. *Bonner* gelangt zu der Annahme, daß

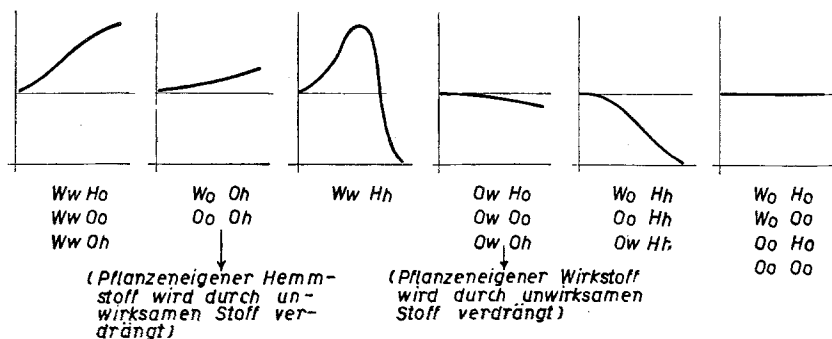


Abb. 5. Beispiele für einige wahrscheinliche Wirkungskurventypen für die verschiedenen in Tabelle 3 zusammengestellten Wirkstofftypen.

das Molekül eines zellstreckenden Wuchsstoffes zwei Gruppen tragen müsse, von denen jede Affinität zu zwei verschiedenen, benachbarten Stellen des lebenden Systems besitze. Es könne nur dann seine Zellstreckungswirkung entfalten, wenn es mit beiden Affinitäten zugleich an das System gebunden sei. Eine Hemmung komme dadurch zustande, daß bei hohen Konzentrationen die Wahrscheinlichkeit ansteige, daß die beiden benachbarten „Lücken“, welche durch ein Wirkstoffmolekül ausgefüllt werden müßten, um die Wirkung zu erhalten, nunmehr durch Teile von zwei Molekülen ausgefüllt würden, wodurch keine Wirkung mehr erfolgen könne. Diese Hypothese kann der hier vorgebrachten, allgemeineren als spezieller Fall untergeordnet werden. Der von ihr geforderte Verlauf der Wirkungskurve entspricht dem Falle  $W_w O_h$ , wobei die Funktion von  $H$  durch ein zweites Wirkstoffmolekül übernommen wird und die zusätzliche Annahme gemacht ist, daß zur Wirkung nicht nur die Affinität  $w$ , sondern auch die Affinität  $h$  erforderlich ist und  $W$  nicht nur mit  $w$ , sondern zugleich auch mit  $h$  im lebenden System fixiert werden muß. Im folgenden zeigt sich aber, daß diese spezialisierte Modellvorstellung *Bonnners* nicht notwendig ist, um die experimentellen Ergebnisse mit Wuchsstoffen zu erklären, da dies auch mit der hier vorgebrachten allgemeineren Hypothese möglich erscheint.

<sup>13</sup> *J. Bonner*, The hormonal control of plant growth, a lecture delivered before the Harvey Society New York City, Oct. 23 (1952).



## Untersuchungsergebnisse.

Wenn man nun daran geht, die experimentell erhaltenen Wirkungskurven verschiedener Stoffe nach ihrem Verlauf zu ordnen, so kann man jedem Stoff eine bzw. mehrere Buchstabencharakteristiken zuordnen, welche dem Kurvenverlauf entsprechen. Ordnet man weiterhin nach der Größe der Affinitäten für  $W$  bzw.  $H$ , so müßte die Auffindung der größten gemeinsamen Strukturbereiche bei diesen verschiedenen Stoffen eine Zuordnung von Strukturbereichen zu den Gruppen  $W$ ,  $H$ ,  $w$  und  $h$  ermöglichen und so zu einer Klärung des Zusammenhanges zwischen Konstitution und Wirkung führen. Diese Aufgabe, jene räumliche Gruppierung von Atomen aufzufinden, welche den größtmöglichen, allen wirkenden Stoffen gemeinsamen *Strukturbereich* darstellt, ist allerdings besonders schwierig, um so mehr, als nach vorliegender Hypothese zu erwarten ist, daß es sich bei jedem Wirkstoffsystem nicht nur um einen einzigen, sondern nebeneinander um mehrere solche, voneinander unterschiedene Strukturbereiche handeln dürfte ( $W$ ,  $H$ ,  $w$ ,  $h$ ). Die Lösung der Aufgabe dürfte nur unter Heranziehung zutreffender Molekülmodelle (etwa durch Abdruckvergleiche) und an einem großen experimentellen Erfahrungsmaterial möglich werden und setzt wohl dessen mathematische Behandlung (die Findung der zugehörigen Konstanten) voraus. Das im folgenden (Tabelle 4) gebrachte Material von etwa 50 mit der Pastenmethode mehrfach untersuchten Substanzen<sup>14</sup> verschiedenartiger chemischer Struktur reicht allerdings (zahlenmäßig) noch nicht hin, um zu einem Ergebnis hinsichtlich der Identifizierung von  $W$ ,  $w$ ,  $H$  und  $h$  mit chemischen Strukturen zu gelangen, doch soll es die Grundlage für eine spätere Inangriffnahme des Problems bilden.

Die Durchsicht der in Tabelle 4 gegebenen Übersicht zeigt zunächst, daß die am stärksten (d. h. in geringsten Konzentrationen) wirksamen Hemmstoffe ihre Halbwertswirkung bei molaren Konzentrationen von  $10^{-5}$  bis  $10^{-3}$  (in der Paste) erreichen, während die am stärksten wirksamen Wuchsstoffe ihre optimale Förderungswirkung bei nur wenig höheren Konzentrationen zwischen  $10^{-4}$  bis  $10^{-3}$  besitzen, während sie den Halbwertthemmungswert aber erst bei den 10- bis 100fachen Konzentrationen zeigen, wie die typischen Hemmstoffe. Die Größe der Affinitäten  $w$  und  $h$  für ihre Wirk- bzw. Hemmlücken ist daher bei den stark wirk-

<sup>14</sup> Die hier geprüften Substanzen wurden, sofern sie nicht als reine Präparate des Chemikalienhandels bezogen werden konnten, von den Herren Dipl.-Ing. Hagen, Dr. Hinterbauer, Dr. Schmid, Dr. Schönbeck und Dr. Thoma im Hauptlaboratorium der Österr. Stickstoffwerke A. G., Linz, für die Zwecke der Testung hergestellt. Die Oxycumarin- und Oxycarboxystyrylderivate wurden uns von Herrn Prof. Dr. A. Müller, I. Chem. Universitätslaboratorium in Wien, zur Testung übergeben. Die Durchführung der Pastentestversuche lag in Händen von Frau Lina Haller.

samen Wuchs- und Hemmstoffen von etwa gleicher Größenordnung. Die zahlenmäßige Ermittlung könnte zeigen, inwieweit sie bei ähnlichen, aber gegensätzlich wirksamen Stoffen tatsächlich übereinstimmen.

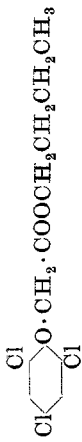
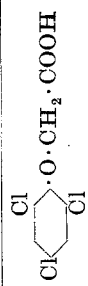
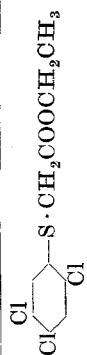

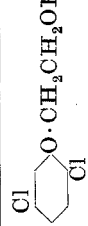
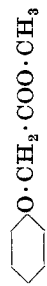
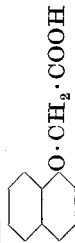
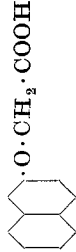
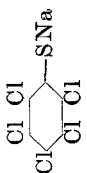
Ein solches Gegensatzpaar ähnlicher Substanzen liegt uns beispielsweise in der 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure (Wuchsstofftyp) und der 2,4,6-Trichlorphenoxyessigsäure (Hemmstofftyp) vor, welches sich hinsichtlich Molekülgröße gar nicht, in ihren Eigenschaften der wäßrigen wie der lipoiden Phase gegenüber fast gar nicht unterscheiden, so daß bei beiden der Intraabilitätsfaktor als gleich angesetzt werden darf. Die Halbwerthemmung der 2,4,6-Trichlorphenoxyessigsäure liegt bei  $8 \cdot 10^{-8}$  m, während das Förderungsoptimum der 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure bei  $2 \cdot 10^{-4}$  m liegt. Die (der Halbwerthemmung entsprechende) Halbwertsförderung dieser Substanz ist bei ungefähr  $1 \cdot 10^{-4}$  m anzusetzen, so daß die Affinität von 2,4,5-T zu ihren Hemmlücken nur etwa  $\frac{1}{30}$  jener der 2,4,5-T zu ihren Wirklücken beträgt. Man könnte nun die Annahme machen, daß die Hemmwirkung von 2,4,6-T durch Eintreten in die Wirklücken der 2,4,5-T aber durch Fehlen von deren Wirkgruppe (die etwa uneingeschränkter Drehbarkeit der Seitenkette gleichzusetzen wäre) hervorgerufen sei, daß also der Fall  $O_w O_o$  (bei großem Wert von  $w$ ) vorliege. Dann wäre der Wert von  $w$  durch die Verschiebung eines Chloratoms im Molekül der Isomeren von der Stelle 6 auf die Stelle 5 die Affinität  $w$  auf das 80fache erhöht worden, zugleich aber auch durch Beseitigung der teilweisen Hinderung der freien Drehbarkeit der Seitenkette dem Molekül die Eigenschaft  $W$  verliehen worden. Diese Deutung bleibt jedoch hypothetisch, da, wie das Schema der Abb. 5 zeigt, noch 5 weitere Deutungen (die Fälle  $O_w H_o$ ,  $O_w O_h$ ,  $W_o H_h$ ,  $O_o H_h$  und  $O_w H_h$  für 2,4,6-T) möglich sind.

Der stärkste, uns bisher bekannte Hemmstoff, das Eosin-Natrium, zeigt seine Halbwerthemmung bei  $5 \cdot 10^{-5}$  m, der stärkste Wuchsstoff, die 2,3,5-Trichlorphenoxyessigsäure aber zeigt ihr Wirkungsoptimum bei  $2 \cdot 10^{-4}$  m, also in etwas kleinerer Größenordnung. Würde man nun hypothetisch beide Größen gleichsetzen, was annähernd für den zweitstärksten Hemmstoff, die Trijodbenzoesäure, zutrifft, so dürfte man die Annahme machen, daß die Trijodbenzoesäure sich mit gleicher Affinität in die gleichen Lücken einlagert wie die 2,3,5-Trichlorphenoxyessigsäure, daß sie sich von dieser aber durch das Fehlen von  $W$  und eventuelles Vorhandensein eines  $H$  unterscheidet. Da das substituierte Ringsystem jedoch die Größe von  $w$  nicht unbeeinflusst lassen dürfte, kann ohne Kenntnis der Größe von  $w$  für beide Stoffe keine Entscheidung über die Richtigkeit der Annahme getroffen werden; dies um so weniger, als nach dem Schema der Abb. 5 auch noch andere Deutungsmöglichkeiten gegeben sind.

Diese wenigen Beispiele schon zeigen, wie kompliziert die tatsächlichen Zusammenhänge zwischen Konstitution und Wirkung von Wirkstoffen sind und daß es eines weiteren, vor allem zahlenermittelnden Eindringens in die Materie an einem umfangreichen Material bedürfen wird, bevor endgültige Schlüsse gezogen und gültige Vorstellungen gewonnen werden können.

Tabelle 4. Übersicht über die Kennzahlen einer Reihe verschiedener untersuchter Stoffe.

Substanz (Mol-Gewicht)	Struktur	Molare Halbwert-hemmungs-kon-zentration	Umschlags-punkte	Molares Optimum	Förderungs-Z%	Charakte-ristik (W = Wuchs-stoff, H = Hemm-stoff)
Eosin-Na (669,94)		$5 \cdot 10^{-5}$	—	—	—	H
2,3,5-Trijodbenzoesäure (499,55)		$3 \cdot 10^{-4}$	—	—	—	H
Dinitro-o-sek. Butylphenol (240,21)		$6 \cdot 10^{-4}$	—	—	—	—
4,6-Dinitro-o-kresol (198,13)		$7 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	5—15	H
Pentachlorphenol (266,37)		$2 \cdot 10^{-3}$	—	—	—	H
Pentachlorphenoxyessig-säureäthylester (352,46)		$3 \cdot 10^{-3}$	—	—	—	H

2,4,6-Trichlorphenoxy-essigsäure-butylester (311,60)		—	—	—	—	6 · 10 <sup>-3</sup>	—	H
2,4,6-Trichlorphenoxy-essigsäure (255,50)		—	—	—	—	8 · 10 <sup>-3</sup>	—	H
2,4,5-Trichlorthio-phenoxyessigsäure-äthylester (299,61)		—	—	—	—	1 · 10 <sup>-2</sup>	—	H
2,4,5-Trichlorthio-phenoxyessigsäures-Na (293,56)		—	—	—	—	1 · 10 <sup>-2</sup>	—	H
2,5-Dichlorphenyl-glykoläther (207,06)		—	—	—	—	2 · 10 <sup>-2</sup>	—	H
Phenoxyessigsäure-methylester (166,17)		—	—	—	—	2 · 10 <sup>-2</sup>	—	H
α-Naphthoxyessigsäure (202,20)		—	—	—	—	2 · 10 <sup>-2</sup>	—	H
β-Naphthoxyessigsäure (202,20)		—	—	—	—	2 · 10 <sup>-2</sup>	—	H
Pentachlorthiophenol-Na (302,42)		—	—	—	—	2 · 10 <sup>-2</sup>	—	H




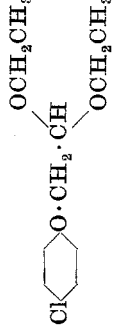

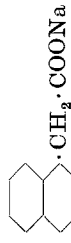

(Fortsetzung der Tabelle 4.)

Substanz (Mol.-Gewicht)	Struktur	Molare Halbwert-hemmungs-konzentration	Umschlags-punkte	Molares Optimum	Förderungs-Z %	Charakte-ristik (W = Wachstumsstoff, H = Hemmstoff)
2,4,6-Trichlorphenol (197,46)		$3 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	H
Pentachlorthiophenol (282,43)		$3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-3}$	—	—	H
2,4-Dichlorphenoxy-essigsäuremethylester (235,07)		$3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	30—40	W
2,4,5-Trichlorphenylglykolläther (241,52)		$6 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	H
2,4-Dichlorphenoxy-essigsäure-butylester (277,15)		$6 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$	45—55	W
Cumarin (146,14)		$7 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	H
Zimtaldehyd (132,15)		$8 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	H

2,4,5-Trichlorphenoxy-essigsäure (255,50)		$1 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	55—65	W
p-Monochlorkresolyl-essigsäure (200,62)		$1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	5—15	W
Tetrachlorphenoxy-essigsäure-äthylester (318,00)		$1 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	10—20	W
2,4,5-Trichlorphenoxy-essigsäure-butylester (311,60)		$2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	40—50	W
$\alpha$ -Methylindol (131,17)		$10^{-1}$	—	—	—	H
$\alpha$ -Naphthyllessigsäure (186,20)		$10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	60—70	W
4-Chlorphenoxyessig-säure (186,60)		$10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	20—30	W
2,4-Dichlorphenoxy-essigsäure-glycerinester (295,18)		$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	50—60	W
2,4-Dichlorphenoxy-essigsäure-glykolester (265,10)		$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-3}$	50—60	W

(Fortsetzung der Tabelle 4.)

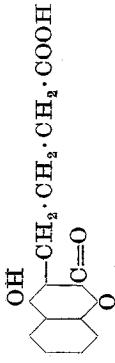
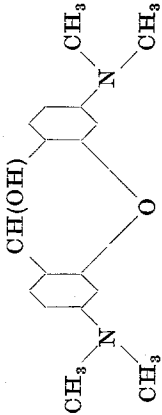
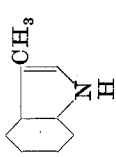

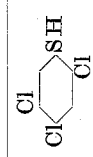


Substanz (Mol-Gewicht)	Struktur	Molare Halbwert- hemmungs- kon- zentration	Umschlags- punkte	Molares Opitimum	Förderungs- Z %	Charakte- ristik (W = Wuchs- stoff, H = Hemm- stoff)
2,4,6-trichlorphenoxy- essigsäures-Na (277,49)		$2 \cdot 10^{-1}$	---	---	---	H
Phenoxyessigsäure (152,14)		$2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	5—10	(H)
2,4-Dichlorphenoxy- essigsäure (221,05)		$5 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	25—35	W
Chloramil (245,90)		$10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$10^{-4}$	0—10	---
p-Benzochinon (108,09)		$10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	5—15	(W)
Indol-3-propionsäure (189,21)		$10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	20—30	W
N,N-Methylphenyl- glycinmethylester (193,24)		$10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	30—40	W

Indol-3-buttersäure (203,32)		$10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-3}$	65—75	W
Carbanilsäureisopropyl- ester (179,21)		$10^{-1}$	—	—	—	(H)
$\beta$ -naphthoxyessig- sures Kalium (240,29)		$10^{-1}$	—	—	—	—
2,4,5-Trichlorphenoxy- acetaldehyd-diäthyl- acetal (345,62)		$10^0$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	5—15	(W)
$\alpha$ -Naphthylessigsäure- methylester (200,23)		$10^0$	$10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	70—80	W
$\alpha$ -Naphthylessigsäures Natrium (208,19)		$10^0$	$10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$	80—90	W
2,4-Dichlorphenoxy- essigsäureester des 2,5-Dichlorphenyl- glykoläthers (410,10)		$10^0$	$6 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	45—55	W

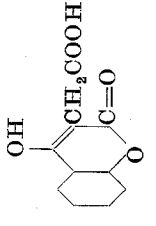
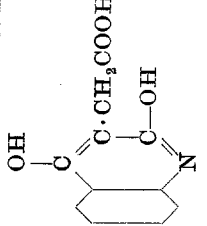
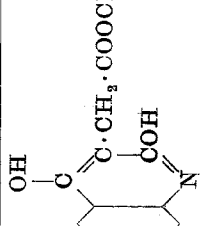


(Fortsetzung der Tabelle 4.)

Substanz (Mol.-Gewicht)	Struktur	Molare Halbwert- hemmungs- konzentration	Umschlags- punkte	Molares Optimum	Förderungs- Z %	Charakte- ristik (W = Wuchsstoff, H = Hemmstoff)
2,4,5-trichlorphenoxy- essigsäures Na (277,49)		10°	5 · 10 <sup>-2</sup>	5 · 10 <sup>-4</sup>	45—55	W
2,5-Dichlorphenoxy- essigsäureester des 2,5-Dichlorphenyl- glykoläthers (410,10)		10°	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	30—40	W
Indol (117,14)		10°	—	—	—	—
Indol-3-essigsäure (175,18)		10°	10 <sup>-1</sup>	2 · 10 <sup>-3</sup>	70—80	W
2,4-dichlorphenoxy- essigsäures Na (243,04)		10°	10°	4 · 10 <sup>-3</sup>	45—55	W
Phenylessigsäure (136,14)		10°	6 · 10 <sup>-2</sup>	6 · 10 <sup>-3</sup>	10—20	W
2,5-dichlorphenoxy- essigsäures Na (243,04)		10°	10°	10 <sup>-1</sup>	40	W

	10°	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	0—5	—
4-Oxycoumarin-3-butter-säure (248,21)		—	—	—	—
Pyronin (284,35)		—	—	—	—
3-Methylindol (Skatol) (131,17)		—	—	—	—
Tryptophan (190,21)		—	—	—	—
2,4,5-Trichlorthiophenol (213,51)		—	—	—	—
Phenoxyessigsäures Natrium (174,14)		—	—	—	—
1,1-Dimethyl-3-(p-chlorphenyl)-harnstoff (CMU) (198,66)		—	—	—	—

(Fortsetzung der Tabelle 4.)

Substanz (Mol.-Gewicht)	Struktur	Molare Halbwert-hemmungs-konzentration	Umschlags-punkte	Molares Optimum	Förderungs-Z %	Charakte-ristik (W = Wachs-stoff, H = Hemm-stoff)
Maleinsäurehydrazid (112,09)	$\begin{array}{c} \text{HC}-\text{CO}-\text{NH} \\ \parallel \\ \text{HC}-\text{CO}-\text{NH} \end{array}$	—	—	—	—	—
4-Oxycoumarin-3-essig-säure (220,16)		—	—	—	—	—
4-Oxycarbostryl-3-essigsäure (219,19)		—	—	—	—	—
4-Oxycarbostryl-3-essigsäure-methylester (233,22)		—	—	—	—	—

Eine Betrachtung der verschiedenen untersuchten Indolderivate zeigt zunächst, daß die Indol-3-essigsäure, welche den Typus  $W_w H_h$  repräsentiert, keineswegs die stärkste Wuchsstoffwirkung unter allen bisher bekannten Wuchsstoffen besitzt, wenngleich sie die stärkste Wirkung unter den hier untersuchten Indolderivaten zeigte. Während die Indol-3-buttersäure wenig schwächer wirksam war als die Indol-3-essigsäure, zeigte die Indol-3-propionsäure (übereinstimmend mit Befunden von *R. L. Wain*) wesentlich schwächere Förderungswirkung und eine verstärkte Hemmungskomponente. Während sich Tryptophan und Skatol praktisch unwirksam verhielten, zeigte  $\alpha$ -Methylindol deutliche Hemmwirkung.

Während  $\alpha$ -Naphthylessigsäure eine der Indol-3-essigsäure fast gleiche Förderungskurve (vom Typus  $W_w H_h$ ) ergab, wurde für  $\alpha$ -Naphthoxyessigsäure die gleiche Hemmstoffkurve gefunden wie für die  $\beta$ -Naphthoxyessigsäure.

Die Phenylessigsäure zeigte eine flache Förderungskurve, die Phenoxyessigsäure dagegen eine ausgeprägte Hemmstoffwirkung. Ihr p-Monochlorderivat zeigte sich schwächer wirksam als die 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure und diese wiederum schwächer als die 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure, welche die stärkste, bisher im Pastentest beobachtete Wuchsstoffwirksamkeit aufweist. Die 2,4,6-Trichlorphenoxyessigsäure dagegen war nur hemmstoffwirksam, worüber bereits oben diskutiert wurde. Besonderes Interesse verdient die für 2,5-dichlorphenoxyessigsäures Na gefundene Kurve, da diese dem reinen Wuchstofftypus ( $W_w H_o$ ,  $W_w O_o$ ,  $W_w O_h$ ) zu entsprechen scheint und keinen Hemmungsast der Kurve erkennen läßt. (Es ist freilich möglich, daß ein solcher bei einer „überphysiologisch“ hohen Konzentration von mehr als  $10^{-1}$  m in Erscheinung treten würde.) Die Wuchsstoffwirkung von 2,5-D ist jedoch bedeutend geringer als jene von 2,4-D.

Der Methylester der 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure zeigte im ansteigenden Förderungsast seiner Konzentrations-Wirkungskurve etwas geringere Wirkung als der Butylester. Wenn auch sein Wirkungsoptimum bei etwas niedrigerer Konzentration gefunden wurde als jener des Butylesters, so muß doch berücksichtigt werden, daß seine zahlenmäßige Kleinheit gegenüber jenem des Butylesters darauf hinweist, daß die Hemmungskomponente stärker ist als jene des Butylesters. Dies bestätigt sich auch dadurch, daß die Halbwertthemmung beim Methylester bei kleinerer Konzentration liegt als beim Butylester. Ob daraus die Annahme gerechtfertigt werden kann, daß die 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure als Methylester die gleiche fördernde Wirksamkeit besitzt wie als Butylester, daß aber die Hemmungskomponente bei beiden Estern verschieden stark ist, könnte eine mathematische Behandlung der Kurve zeigen. Etwa gleich große Wirksamkeit wie der Butylester zeigten der 2,4-D-Glykol-ester wie auch der 2,4-D-Glycerinester (obwohl sie infolge erhöhter

Wasserlöslichkeit mit anderen Löslichkeitseigenschaften versehen sind wie der Butylester). Während sich so die niedrigmolekularen Ester annähernd gleich stark wirksam erwiesen, zeigte der 2,4-D-Ester des 2,5-Dichlorphenylglykoläthers eine (pro Molekül) fast nur  $\frac{1}{10}$  so starke Wirkung.

Der 2,5-D-Ester des 2,5-Dichlorphenylglykoläthers zeigte eine dem 2,5-D-Charakter entsprechende Wuchsstoffwirksamkeit, jedoch mit Hemmungskomponente; dagegen erwies sich der 2,5-Dichlorphenylglykoläther stark hemmungswirksam, was die Hemmungskomponente im 2,5-D-Ester der 2,5-Dichlorphenylglykoläthers erklären könnte, wenn man annehmen will, daß die Esterbindung in der Pflanze gespalten wird, bevor der Wirkstoff an seine Wirk- bzw. Hemmlücke gelangt. Auch der 2,4,5-Trichlorphenylglykoläther zeigte im Vergleich zur Wirksamkeit der 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure stark verringerte Förderungs- und starke Hemmungswirkung.

Wird der Sauerstoff der chlorierten Phenoxyessigsäure durch Schwefel ersetzt, so geht offenbar die Förderungswirkung (der Charakter  $W_w$ ) verloren, denn das Na-Salz der 2,4,5-Trichlorthiophenoxyessigsäure zeigte ebenso wie der Äthylester des gleichen Stoffes nur ausgeprägte Hemmstoffwirkung.

Pentachlorphenol erwies sich als Hemmstoff (Halbwerthemmung bei  $2 \cdot 10^{-3}$ ), während Pentachlorthiophenol jedoch (mit  $3 \cdot 10^{-2}$ ) diesem unterlegen war; das Na-Salz erwies sich hier allerdings als etwas stärker hemmungswirksam. 2,4,6-Trichlorphenol war etwa ebensostark hemmungswirksam wie Pentachlorthiophenol.

p-Benzochinon zeigte eine im Förderungsteil flache und im Hemmungsteil normal steile Wirkungskurve, welche eine nur schwache Hemmungskomponente erkennen läßt. Die p-Chlorphenoxyessigsäure zeigte eine fast identische Wirkungskurve. Da die letztgenannte Substanz in der Unkrautbekämpfung erwünschte Eigenschaften besitzt, war es naheliegend, nun p-Benzochinon auf ebensolche zu prüfen, doch zeigte sich hierbei, daß letzteres diese erwünschten Eigenschaften nicht besitzt. Dies zeigt, daß das Verhalten verschiedener Stoffe in Wuchsstofftesten nicht ohne weiteres Rückschlüsse auf ihr Verhalten bei der Unkrautbekämpfung gestattet; es darf jedoch nach den bisher vorliegenden Erfahrungen als Regel gelten, daß *nur* solche Stoffe in der „hormonalen“ Unkrautbekämpfung Bedeutung erlangen können, welche sich im physiologischen (Zellstreckungs-) Test entweder als starke Wuchsstoffe oder aber als starke Hemmstoffe ausweisen. Der Zellstreckungstest gestattet danach also, schnell aus einer großen Zahl von Stoffen jene auszuscheiden, von welchen auf Grund fehlender Wirkung auf das Zellstreckungswachstum keine Wirksamkeit als „hormonales“ Unkrautbekämpfungsmittel erwartet werden kann. Umgekehrt aber muß vorhandene Zellstreckungswirkung noch keine Eignung zur selektiven Unkrautbekämpfung erwarten lassen.

Cumarin erwies sich erwartungsgemäß als (mäßig starker) Hemmstoff, ebenso  $\beta$ -Oxy- $\beta$ -O-carboxyphenyl-propionsäurelacton. Na-Isopropylxan-

thogenat erwies sich in der Wirkung fast identisch mit dem vorgenannten Lacton. N,N-Methylphenylglycinäthylester zeigte den Typus einer Wuchsstoffkurve ( $W_w H_n$ , Förderungsoptimum bei  $4 \cdot 10^{-3}$  m).

Was der Vergleich der Konzentrations-Wirkungskurven von freien Säuren, ihren Salzen und ihren Estern betrifft, können folgende Feststellungen getroffen werden:

Bei der  $\alpha$ -Naphthylessigsäure lag das Wirkungsoptimum für freie Säure, Na-Salz und Methylester bei der annähernd gleichen molaren Konzentration von  $2 \cdot 10^{-3}$ , doch kam die Hemmungskomponente beim Methylester stärker zum Ausdruck als beim Na-Salz und bei der freien Säure wiederum stärker als beim Methylester.

Bei der 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure lag das Förderungsoptimum der freien Säure bei  $2 \cdot 10^{-4}$  m, jenes des Na-Salzes dagegen bei  $5 \cdot 10^{-4}$  m, immerhin in der gleichen Größenordnung. Die Hemmungskomponente kam auch hier bei der freien Säure stärker zur Geltung als beim Na-Salz.

Die 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure zeigte ihr Förderungsoptimum bei  $1 \cdot 10^{-3}$  m, ihr Na-Salz dagegen bei  $4 \cdot 10^{-3}$  m (ebenfalls in gleicher Größenordnung), wobei ebenfalls die Hemmungskomponente bei der freien Säure stärker ausgeprägt war als beim Na-Salz.

Auch bei dem Hemmstoff 2,4,6-Trichlorphenoxyessigsäure war die Hemmungswirkung bei der freien Säure wesentlich stärker als beim Na-Salz (Halbwerthemmung bei  $8 \cdot 10^{-3}$  m gegenüber  $2 \cdot 10^{-1}$  m beim Na-Salz). Noch stärker kam dieser Unterschied zum Ausdruck bei der Phenoxyessigsäure, welche als freie Säure eine Halbwerthemmung von  $2 \cdot 10^{-1}$  m als Methylester eine solche von  $2 \cdot 10^{-2}$  m, als Na-Salz aber fast überhaupt keine Wirkung zeigte. Auch bei der  $\beta$ -Naphthoxyessigsäure war die freie Säure um etwa eine Größenordnung stärker hemmend wirksam als das Na-Salz.

Die Pasten waren ungepuffert, doch zeigten Versuche mit niedrigen Fettsäuren, daß der Gehalt einer Paste an freier Säure bzw. die dadurch veränderte Wasserstoffionenkonzentration im Pastentest ohne Einfluß auf das Streckungswachstum ist. Über Versuche mit gepufferten Pasten wird an anderer Stelle berichtet werden.

Bei weiterer Betrachtung der in Tabelle 4 zusammengestellten Ergebnisse zeigt sich, daß die als „Wuchsstoff“ bekannte  $\beta$ -Naphthoxyessigsäure sich im Pastentest ebenso wie die  $\alpha$ -Naphthoxyessigsäure als Hemmstoff erweist und nicht in Parallele, sondern im Gegensatz zur  $\alpha$ -Naphthylessigsäure zu betrachten ist, welche auch im Pastentest Wuchsstoffwirkung erkennen läßt. Es erhebt sich hierbei die Frage, welche physiologischen Funktionen den „Wuchsstoffen“, und zwar ihrer Förderungswirkung zukommen und welche den Hemmstoffen bzw. der analogen Hemmungswirkung der Wuchsstoffe zuzuschreiben sind. Es wird von Interesse sein, zu untersuchen, inwieweit auch Hemmstoffe (im Sinne

dieser Arbeit) in der Lage sind, Funktionen im physiologischen Geschehen der Pflanzen zu übernehmen, welche man den Wuchsstoffen zuzuschreiben gewöhnt ist, wie z. B. die Neubildung von Wurzelanlagen, Callusbildung, Entstehung parthenokarper Früchte, abnorme Blattausbildung, selektive Unkrautbekämpfungswirkungen usw.

Eine eingehende Behandlung dieser Frage würde den Rahmen der vorliegenden Mitteilung sprengen; es ist hier jedoch von Interesse festzustellen, daß mehrere in der selektiven Unkrautbekämpfung eingesetzte Stoffe sich im Gegensatz zur 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure und der 2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure sowie deren Salzen und Estern, welche Wuchsstoffcharakter besitzen, im Pastentest als hochwirksame Hemmstoffe erweisen, so z. B. das Dinitro-o-sec. Butylphenol, 4,6-Dinitro-o-kresol, Isopropylphenylcarbanat (Carbanilsäure-isopropylester), während 1,1-Dimethyl-3-p-chlorphenyl-harnstoff („CMU“) und das zur Wachstumsverzögerung benützte (wohl nur als Fermentinhibitor wirksame) Maleinsäurehydrazid weder Wuchsstoff- noch Hemmstoffcharakter besitzt.