

Pflanzenwuchsstoffe

2., unveränderte Auflage
Nachdruck der 1. Auflage von 1963

Dr. Otto Henke



Die Neue Brehm-Bücherei Bd. 125
Westarp Wissenschaften · Hohenwarsleben · 2009

Vorwort

Die Wachstums- und Entwicklungsprozesse der Pflanzen werden von Wuchsstoffen und wachstumshemmenden Stoffen reguliert. Ihre Kenntnis und das Verständnis ihrer Wirkungsweise ist nicht nur von theoretischem Interesse, sondern besitzt auch große Bedeutung für die landwirtschaftliche und gärtnerische Praxis.

Während der letzten 25 Jahre hat sich die Wuchsstoffforschung zu einem selbständigen Arbeitsgebiet der Pflanzenphysiologie entwickelt, über das eine sehr umfangreiche und schwer zu überschauende Literatur vorliegt. In einer für den Nichtfachmann bestimmten Darstellung der Pflanzenwuchsstoffe können daher weder alle mit dem Wuchsstoffproblem im Zusammenhang stehenden Erscheinungen noch der gesamte Komplex des Wachstumsvorganges bei der höheren Pflanze behandelt werden. Das vorliegende Heft soll vielmehr dem interessierten Laien einen Einblick in die Probleme der Wuchsstoffforschung vermitteln und gleichzeitig zeigen, wie weit unsere Kenntnisse auf diesem interessantesten Forschungsgebiet vertieft werden konnten.

Zum Verständnis der Wirkungsweise der pflanzlichen Wuchsstoffe muß ein bestimmtes Wissen über den Aufbau der Pflanze und die in der Pflanze ablaufenden Lebensprozesse vorausgesetzt werden. Es sei deshalb auf die in der „Neuen Brehm-Bücherei“ erschienenen Hefte „Der Bau der Pflanze“ (Heft 155) und „Das Leben der Pflanze I“ (Heft 184) hingewiesen.

Naumburg, Oktober 1961.

Otto Henke

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Einleitung | 5 |
| I. Das Wachstum der Pflanzen | 6 |
| II. Die Wuchsstoffe | 9 |
| 1. Die Entdeckung der Wuchsstoffe | 9 |
| 2. Natürliche und synthetische Wuchsstoffe | 10 |
| 3. Nachweis und Bestimmung der Wuchsstoffe | 15 |
| III. Die Hemmstoffe | 20 |
| IV. Die Wuchsstoffe in der Pflanze | 22 |
| 1. Bildung und Transport der Wuchsstoffe in der Pflanze | 22 |
| 2. Wuchsstoff und Wurzel | 25 |
| 3. Wuchsstoff und Sproß | 31 |
| 4. Wuchsstoff und Blüte | 36 |
| 5. Wuchsstoff und abnorme Bildungen der Pflanze | 42 |
| 6. Wuchsstoffinaktivierung in der Pflanze | 44 |
| 7. Wuchsstoff und Streckungswachstum | 46 |
| 8. Verschiedene Wuchsstoffwirkungen | 49 |
| V. Die Gibberelline | 51 |
| VI. Die Wachstumsregulierung durch die Pflanze | 54 |
| VII. Wuchsstoffe in der Praxis | 55 |
| Schlußwort | 64 |
| Literaturhinweise | 66 |
| Abbildungsnachweis | 66 |
| Erklärung der Fremdwörter | 67 |

Wir haben uns bei der Besprechung der Wuchsstoffe auf die sog. Zellstreckungswuchsstoffe (Auxine), die Gibberelline und Kinine beschränkt. Die Auxine und Gibberelline treten vor allem durch eine Förderung des Zellstreckungswachstums, die Kinine durch Auslösung von Zellteilungen in Erscheinung. Es wurde aber bereits darauf hingewiesen, daß die beiden erstgenannten Wuchsstoffgruppen auch Zellteilungen auszulösen vermögen. Wir können allgemein feststellen, daß ein und derselbe Wachstumsprozeß meist von mehreren Wuchsstoffen beeinflusst wird. Neben den hier genannten Wuchsstoffgruppen und den einleitend erwähnten Bios-Stoffen gibt es vermutlich noch weitere wachstumsregulierende Verbindungen in den Pflanzen. Ihre Zahl dürfte aber relativ klein sein.

Verschiedene Experimente, vor allem solche mit Gewebekulturen, haben gezeigt, daß auch das Verhältnis der verschiedenen Wuchsstoffe zueinander eine große Rolle für das pflanzliche Wachstum spielt. Dies soll an einem von Skoog und Miller durchgeführten Versuch demonstriert werden.

Isoliertes Tabakstengelgewebe benötigt neben β -Indolylessigsäure auch Kinetin zum Wachstum. Werden beide Wuchsstoffe dem Nährmedium zugesetzt, so bestimmt ihr gegenseitiges Mengenverhältnis, in welcher Weise das Gewebe wächst. Bei 2 mg/l Indolylessigsäure und 0,1 mg/l Kinetin fanden in dem Gewebe viele Zellteilungen statt, es nahm an Volumen zu, bildete aber weder Wurzeln noch Sprosse. Wurde der Kinetingehalt auf 0,02 mg/l erniedrigt, so bildete das Gewebe Wurzeln. Eine Erhöhung des Kinetingehaltes auf 0,5 mg/l hatte die Ausbildung von Sprossen zur Folge.

Ähnliche Wechselwirkungen bestehen auch zwischen den Auxinen und Gibberellinen. Auf Grund dieser Beobachtungen beginnt man immer mehr an der Existenz von organbildenden Stoffen (Rhizokalin, Phyllokalin, Kaulokalin) zu zweifeln. Es wird vielmehr angenommen, daß die einzelnen Organe für ihr Wachstum unterschiedliche spezifische Wirkstoff-Verhältnisse benötigen. Bei der Pflanze wird vermutlich durch Veränderung der Menge und des Verhältnisses einer begrenzten Anzahl von relativ unspezifischen Verbindungen das Wachstum reguliert.

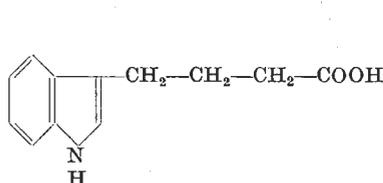
VII. Wuchsstoffe in der Praxis

Die Entdeckung der Wuchsstoffnatur der β -Indolylessigsäure (Heteroauxin) war deshalb von so großer Bedeutung, weil diese Verbindung synthetisch herstellbar ist und in größerer Menge zur Verfügung steht.

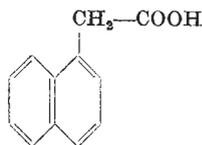
Man war daher in der Folgezeit bemüht, weitere synthetisch zugängliche Stoffe von gleicher oder ähnlicher Wirkung zu finden. In den letzten 25 Jahren wurden zahlreiche Substanzen geprüft und auch bei einer größeren Anzahl eine wuchsstoffartige Beeinflussung des Wachstums festgestellt. Da die synthetischen Wuchsstoffe eine starke Wirkung auf die verschiedenen physiologischen Vorgänge innerhalb der Pflanzen ausübten, wurde natürlich auch untersucht, ob diese Verbindungen in der landwirtschaftlichen und gärtnerischen Praxis Anwendung finden können.

Bevor wir aber im einzelnen die Möglichkeiten des Einsatzes von Wuchsstoffen in der Praxis betrachten, soll noch kurz der chemische Aufbau der verschiedenen Gruppen der synthetischen Wuchsstoffe behandelt werden.

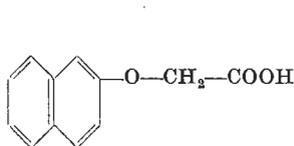
Die in der Praxis verwendeten Wuchsstoffe sind Verbindungen mit sehr unterschiedlicher chemischer Struktur. Sie gehören vor allem fünf Gruppen von organischen Verbindungen an.



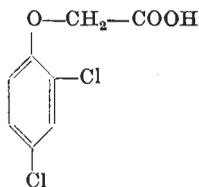
(I) Indolyl-3-buttersäure



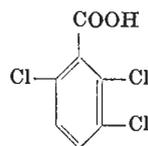
(II) α -Naphthyllessigsäure



(III) β -Naphthoxyessigsäure



(IV) 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure



(V) 2,3,6-Trichlorbenzoesäure

Es sind dies die Indol- (I), Naphthyl- (II), Naphthoxy- (III) und substituierten Phenoxy-Verbindungen (IV) sowie substituierte Benzoesäuren (V). Von jeder dieser Gruppen wurde eine Verbindung als Beispiel angeführt. Bei den meisten dieser Substanzen handelt es sich um Säuren. Ihre Salze, Ester und Amide sind jedoch leicht löslich, und so werden sie vielfach in dieser Form verwendet. Neben diesen syntheti-

schen Wuchsstoffen werden in den letzten Jahren in immer stärkerem Maße die Gibberelline eingesetzt.

Der Einsatz der Wuchsstoffe in der Praxis wird wesentlich durch die Tatsache erleichtert, daß sie auch durch die unverletzte Pflanze über Blatt, Stengel oder Wurzel aufgenommen werden können. Die Wuchsstoffe werden den Pflanzen in wäßriger Lösung, als Emulsion, Aerosol, Dampf oder in Form von Puder bzw. Paste zugeführt.

Wir wollen nun sehen, wie die Ergebnisse der umfangreichen Forschungsarbeiten für die Praxis nutzbar gemacht wurden und ob sich die damit verbundenen hochgespannten Erwartungen erfüllt haben.

Bei den Pflanzen unterscheiden wir zwischen geschlechtlicher und ungeschlechtlicher (vegetativer) Vermehrung. Die erstere erfolgt durch Samen, die zweite durch Stecklinge, Knollen, Ausläufer, Pfropfung usw. Die ungeschlechtliche Vermehrung durch Stecklinge ist vor allem bei Zierpflanzen und im Obstbau gebräuchlich. Die Möglichkeit der Vermehrung durch Stecklinge ist nur dann gegeben, wenn die abgeschnittenen Sproßteile Wurzeln zu bilden vermögen. Bei manchen Arten lassen sich die Stecklinge leicht bewurzeln, man braucht sie lediglich mit

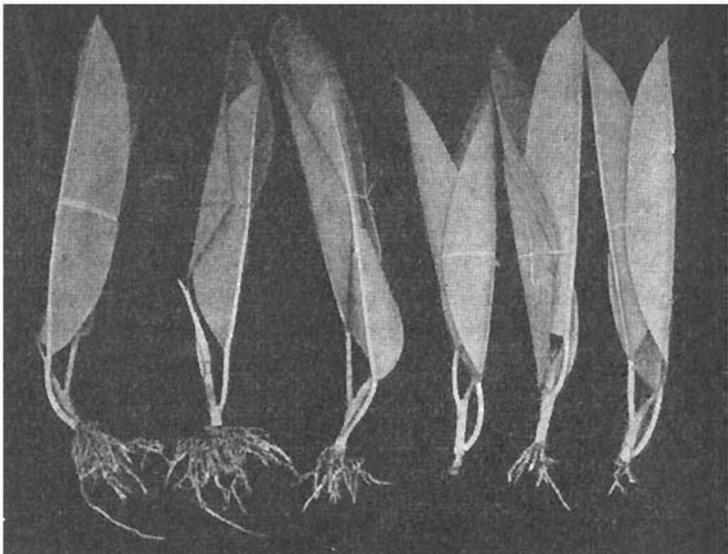


Abb. 25. Die linken drei Stecklinge des Gummibaumes wurden nach Abnahme von der Mutterpflanze 4 Std. in Wuchsstofflösung getaucht. Die drei rechten sind gleichalt, wurden jedoch nicht mit Wuchsstoff behandelt.

ihrem basalen Ende in feuchten Sand zu stecken. Die Stecklinge anderer Pflanzenarten sind dagegen nur sehr schwach oder überhaupt nicht zur Bewurzelung zu bringen.

Die Wurzelbildung wird bei den Stecklingen durch die Anhäufung von Wuchsstoffen am basalen Ende ausgelöst. Diese Wuchsstoffe stammen normalerweise aus den Knospen und Blättern des entsprechenden Stecklings. Es hat sich nun gezeigt, daß durch Eintauchen der Triebe in Wuchsstofflösungen oder durch Behandlung der Schnittfläche mit Wuchsstoffpaste in vielen Fällen die Bewurzelung stark gefördert wird. In Abb. 25 ist der Erfolg einer solchen Wuchsstoffbehandlung am Gumbibaum, einer beliebten Zierpflanze, dargestellt. Für Bewurzelungsversuche sind γ -Indolylbuttersäure und α -Naphthylelessigsäure am besten geeignet.

Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß nur bei solchen Pflanzen die Bewurzelung durch Wuchsstoffbehandlung gefördert wird, deren Stecklinge auch normalerweise wurzeln. Die Methode versagt jedoch bei Arten, die sich bisher überhaupt nicht durch Stecklinge vermehren ließen.

Die Wuchsstoffe können in der gärtnerischen Praxis auch bei Veredlungen angewendet werden. Sie fördern die Ausbildung von Wundgewebe (Kallus) und bewirken dadurch ein schnelleres und besseres Verwachsen der Pfropfpartner.

Zu Beginn des zweiten Weltkrieges wurde in England von Templeman die Beobachtung gemacht, daß durch Lösungen von α -Naphthylelessigsäure die Keimpflanzen von Ackersenf abgetötet, Haferpflanzen dagegen nur leicht im Wachstum gehemmt werden. Damit war zum ersten Male erkannt worden, daß gewisse Wuchsstoffe selektiv als Unkrautbekämpfungsmittel eingesetzt werden können. Auf Grund dieser Entdeckung wurden zahlreiche chemische Verbindungen hergestellt und geprüft. Die umfangreichen Versuche ergaben, daß die 4-Chlor-2-methyl-phenoxyessigsäure eine der aktivsten Verbindungen gegenüber den zweikeimblättrigen Pflanzen ist. Zur gleichen Zeit wurden auch in Amerika entsprechende Versuche durchgeführt. Hier erwies sich die 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure als besonders wirksam.

Die Feststellung, daß einige synthetische Wuchsstoffe innerhalb eines bestimmten Konzentrationsbereichs die meisten zweikeimblättrigen Pflanzen (Dikotylen), zu denen die Hauptmasse der Getreideunkräuter zählt, abtöten, während sie gegenüber den einkeimblättrigen Arten



Abb. 26. Die Wirkung von 4-Chlor-2-methyl-phenoxyessigsäure auf ein mit Ackersenf verunkrautetes Sommergerstenfeld. Links behandelt, rechts unbehandelt.

(z. B. Gräser und Getreide) größtenteils unwirksam sind, war von großer Bedeutung. Sie bildete die Grundlage für die Entwicklung der für Mensch und Tier ungiftigen **Wuchsstoffherbizide** (Herbizide = Chemikalien zur Unkrautbekämpfung). Die Verwendung von Wuchsstoffen zur Unkrautbekämpfung stellt insofern einen Fortschritt dar, als mit diesen Herbiziden auch die rhizombildenden zweikeimblättrigen Unkräuter wirksam bekämpft werden können.

Die gegenüber diesen Wuchsstoffen empfindlichen Pflanzen beginnen nach der Aufnahme der Präparate durch die Blätter und Wurzeln zu welken, es treten im Laufe der Zeit Wachstumsanomalien (Krümmungen, Verformungen, Gewebewucherungen) auf, die schließlich zum Absterben der Pflanzen führen. Eine allgemeine Erklärung kann für die selektive Wirkung der Wuchsstoffherbizide noch nicht gegeben werden. Auch über die physiologischen Vorgänge, die durch derartige Präparate bei empfindlichen Pflanzen ausgelöst werden, wissen wir noch verhältnismäßig wenig.

Nach dem Kriege wurden in großem Ausmaße Wuchsstoffpräparate zur Unkrautbekämpfung entwickelt. Nachdem auch geeignete Methoden für die praktische Anwendung bekannt geworden waren, entstand eine neue chemische Industrie für die Produktion von selektiven Unkrautbekämpfungsmitteln auf Wuchsstoffbasis. Die Weltproduktion an Wuchsstoffherbiziden betrug 1957 bereits 30 000 t und ist in ständigem Steigen begriffen.

Von den vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten der Wuchsstoffherbizide sollen im folgenden nur einige genannt werden:

In Getreidefeldern (Weizen, Gerste, Hafer usw.) können durch Sprühen von 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure (2,4-D) und 4-Chlor-2-methylphenoxyessigsäure (als 0,1–0,2%ige wäßrige Lösungen) so allgemein verbreitete Unkräuter, wie Ackersenf, Hellerkraut, Klatschmohn und Gänsefuß, leicht vernichtet werden (Abb. 26).

Durch Sprühen mit 2,4-D wird in Zuckerrohrkulturen ein sehr lästiges Unkraut, *Commelina longicaulis*, das durch Hacken nicht niederzuhalten ist, abgetötet. Auch bei Rasenflächen und Weiden hat sich der Einsatz von Wuchsstoffpräparaten bewährt. Auf diese Weise werden



Abb. 27. Durch 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure an den Blättern der Baumwolle hervorgerufene Schäden; rechts normales Blatt.

z. B. für das Weidevieh giftige Pflanzen entfernt. Eine andere Möglichkeit ist die Vernichtung störender holziger Pflanzen an Bahndämmen und Straßen. Hierbei hat sich vor allem die 2,4,5-Trichloressigsäure bewährt.

In den Tropen können bestimmte Wasserpflanzen (Lotosblume, Wasserhyazinthe), deren Blätter auf der Wasseroberfläche schwimmen, in kurzen Zeiträumen große Wasserflächen völlig bedecken. Unter verhältnismäßig wenig Aufwand ist es durch Einsatz von 2,4-D möglich, die Wasserwege und Seen freizuhalten.

Bei der Verwendung von Wuchsstoffen zur Unkrautbekämpfung sind allerdings bestimmte Vorsichtsmaßnahmen zu beachten. Wichtig ist z. B. der Zeitpunkt der Anwendung, da sonst auch Kulturpflanzen geschädigt werden können. Ferner ist darauf zu achten, daß die Präparate nicht durch den Wind auf anliegende Felder mit empfindlichen Kulturen gelangen, da sonst größere Schäden und Ernteausfälle auftreten (Abb. 27). Die verstärkte einseitige Anwendung von Wuchsstoffherbiziden hat auch den Nachteil, daß sich unter Umständen bisher harmlose, aber gegen die Herbizide widerstandsfähige Unkrautarten in zunehmendem Maße ausbreiten und lästig werden. Die Anwendung der Wuchsstoffherbizide kann natürlich nicht die notwendigen agrotechnischen Maßnahmen ersetzen, sondern nur unterstützen und ergänzen.

Außer dem vegetativen Wachstum der Pflanzen wird durch die Wuchsstoffe auch die generative Phase, d. h. die Blüten- und Fruchtentwicklung beeinflusst. Dies überrascht uns nicht, da auch normalerweise bei diesen physiologischen Vorgängen die Wuchsstoffe eine wichtige Rolle spielen. Für die Praxis ergaben sich daraus bisher u. a. folgende Anwendungsmöglichkeiten:

Gibberelline beschleunigen bei einer Anzahl zweijähriger Pflanzen (z. B. Kohl und Rüben) das Blühen, wenn sie vorher niedrigen Temperaturen ausgesetzt waren. Bei der Mohrrübe vermag das Gibberellin sogar das Kältebedürfnis ganz zu ersetzen (Abb. 28). Diese Tatsachen haben für diejenigen Pflanzenbauer große praktische Bedeutung, die bei zweijährigen Pflanzen an der Samengewinnung interessiert sind. Mit Hilfe des Wuchsstoffes α -(2-Chlorphenoxy)-propionsäure kann aber auch die entgegengesetzte Wirkung erzielt werden, d. h. die Verhinderung des sog. „Schießens“ (Ausbildung der Blütenstengel) von zweijährigen Pflanzen. Die Gefahr des Schießens ist vor allem dann gegeben, wenn nach dem Verpflanzen der jungen Sämlinge kaltes Wetter



Abb. 28. Auslösung des Blühens bei der Mohrrübe ohne Kälteeinwirkung durch Gibberellin. Links: unbehandelte Pflanze ohne Kälteeinwirkung. Mitte: mit Gibberellin behandelte Pflanze. Rechts: unbehandelte Pflanze nach 8wöchiger Kälteeinwirkung.

einsetzt. Durch Behandlung mit Wuchsstoffen werden z. B. beim Anbau von Sellerie und Salat in dieser Hinsicht große Verluste vermieden.

Bei einigen Kulturpflanzen (z. B. Stachelbeere) kann durch Gibberellinbehandlung der Blühetermin bedeutend vorverlegt werden. Die Förderung der Blütenbildung hat vor allem bei der Kultur von Ananas praktische Bedeutung erlangt. Durch Sprühen mit dem Natriumsalz

der α -Naphthylessigsäure wird das Blühen der behandelten Areale so gelenkt, daß das ganze Jahr über geerntet werden kann. Bei einigen Obstbäumen (Apfel, Kirsche, Pfirsich u. a.) kann durch Behandlung der Blütenknospen mit synthetischen Wuchsstoffen im Spätsommer erreicht werden, daß sich im nächsten Frühjahr bei diesen Bäumen die Blütenknospen bis zu 14 Tagen später öffnen als die unbehandelten. Dieses Ergebnis kann in Gebieten, wo häufig Spätfröste auftreten, große praktische Bedeutung besitzen.

Im Obstbau können wir oft beobachten, daß auf Jahre mit übermäßigem Fruchtbehang solche mit geringem Fruchtansatz und kleinen Früchten folgen. Diese als Alternanz bezeichnete Erscheinung ist aus verschiedenen Gründen unerwünscht. Sie kann durch Spritzen mit Wuchsstoffen zur Zeit der Vollblüte oder besser 2 bis 3 Wochen nach



Abb. 29. Wirkung von Wuchsstoffen auf die Fruchtgröße. Die Behandlung erfolgte nach der Vollblüte der Reben. Von links nach rechts: 1. unbehandelte Kontrolle, 2. aus den Trieben wurden ringförmige Rindenstücke entfernt („geringelt“), 3. mit 4-Chlorphenoxyessigsäure behandelt, 4. mit 2-Benzthiazoloxycarboxylsäure behandelt.

der Blüte vermieden oder abgeschwächt werden. In einigen Ländern erfolgt bei zu starkem Fruchtbehang vor allem bei Apfel- und auch Birnenbäumen eine Ausdünnung durch Spritzen mit Naphthyllessigsäure. Die Folge davon ist ein normaler Behang im nächsten Jahr und gleichmäßigere Erträge. Eigenartigerweise kann mit dem gleichen Wuchsstoff auch erreicht werden, daß das vorzeitige Abfallen der Früchte stark eingeschränkt wird. Diese verwunderliche Tatsache wird auf die unterschiedliche Wirkung des Wuchsstoffes auf junge und auf reifende Früchte zurückgeführt.

Die Behandlung der Obstbäume mit Wuchsstoffen darf aber nur von erfahrenen Praktikern durchgeführt werden, da bei unsachgemäßer Anwendung große Verluste auftreten können.

Bei Reben, Erdbeeren, Bohnen und anderen Kulturpflanzen kann durch Besprühen der Blüten bzw. der jungen Früchte mit geeigneten Wuchsstoffen die Zahl und Größe der Früchte gesteigert werden (Abb. 29). Bei anderen Früchten (Pflirsich, Pflaumen, Feigen) wiederum bewirkt eine Wuchsstoffbehandlung vor der Ernte, daß sie schneller reifen. Wuchsstoffe vermögen auch während der Lagerung den Reife-prozeß zu beschleunigen. Auf die Erzeugung parthenokarper Früchte durch Wuchsstoffe wurde bereits hingewiesen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Wuchsstoffe in der Praxis zur Lösung vieler spezieller Aufgaben verwendet werden. Zu großen Erfolgen hat ihre Anwendung vor allem bei der selektiven Vernichtung bzw. Unterdrückung zahlreicher Unkräuter in Getreide und anderen Kulturen geführt.

Schlußwort

Überblicken wir noch einmal rückschauend die Entwicklung der Wuchsstofflehre. Zu Beginn der eigentlichen Wuchsstoffforschung glaubte man, mit der Entdeckung der Auxine a und b den Schlüssel zum Verständnis des größten Teils der bekannten Wachstumsprozesse gefunden zu haben. In diesem Stadium wurde die Mehrzahl der mit dem Wachstum verbundenen physiologischen Reaktionen auf die Wirkung eines Wuchsstoffes zurückgeführt. Damit war eine starke Überschätzung der beiden Auxine bzw. der β -Indolylessigsäure verbunden. In der darauffolgenden Zeit wurde eine ganze Reihe von verschiedenen Stoffen entdeckt, die für das Wachstum wichtig sind. Nun bestand die Gefahr, daß für die Vielzahl der zu beobachtenden Wachstumserscheinungen ebenso viele spezifisch wirkende Verbindungen verantwortlich