©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die Bewurzelung von Stecklingen unter dem Einfluß von Heteroauxin im Jahresrhythmus

Von

Edeltraut GUMPELMAYER

(Aus dem Botanischen Institut der Universität Innsbruck)

Eingelangt am 31. August 1948

Nachdem man erkannt hatte, daß die Wurzelbildung an Stecklingen hormonal beeinflußt wird (WENT 1929, BOUILLENNE und WENT 1933) und nachdem KÖGL und seine Mitarbeiter (1933/34) in den Auxinen und dem Heteroauxin chemisch definierte Wuchsstoffe isoliert hatten, von denen die ersteren sehr wahrscheinlich dem Wuchshormon der Koleoptile, Vegetationspunkte u. a. Organe der höheren Pflanze entsprechen, während das Heteroauxin sich mit dem von Pilzen ausgeschiedenen Wuchsstoff identisch erwies, wurde in der Folge der Einfluß dieser und ähnlicher Stoffe auf die Wurzelbildung vielfach studiert. Ich erwähne nur die Arbeiten von HITCHCOK and ZIMMERMANN 1936, FISCHNICH, LAIBACH 1935, 1937, ROGENHOFER 1936, WENT 1939, WARNER and WENT 1939 und verweise im übrigen auf die Übersicht der einschlägigen Abschnitte bei SCHLENKER 1937, BÜNNING 1939 und FRIEDRICH 1943. Mit Vorliebe bediente man sich des synthetisch hergestellten Heteroauxins (β-Indolylessigsäure) das praktisch fast denselben Effekt zeitigt wie Auxin, allerdings nicht unmittelbar angreift wie dieses, sondern auf dem Umweg der Auxinmobilisierung wirkt (GUTTENBERG 1942, DETTWEILER 1943). Heteroauxin scheint übrigens der höheren Pflanze nicht ganz fremd zu sein, wie man ursprünglich glaubte. LEFEVRE hat es bei Radieschen und Blumenkohl nachgewiesen, GUTTENBERG und LEHLE-JOERGES 1947 fanden in ruhenden und angekeimten Samen von Mais, Weizen und anderen Pflanzen, sowie in austreibenden Knospen von *Syringa* außer einem säurefesten auch einen laugenfesten Wuchsstoff, der höchstwahrscheinlich Heteroauxin ist.

Es gelang mit Hilfe der β-Indolylessigsäure und verwandter Verbindungen bei verschiedenen Pflanzen kräftige und dichte Bewurzelung zu erreichen, was außer der theoretischen auch praktische Bedeutung für die Stecklingsvermehrung gewann. Die unter der Einwirkung von Heteroauxin neuentstehenden sproßbürtigen Wurzeln entspringen nach DORN 1938 demselben Muttergewebe und nehmen die gleiche Entwicklung wie an unbehandelten Stücken. Es werden also durch das Heteroauxin lediglich von Anfang an gegebene Bildungsmöglichkeiten

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

ausgelöst. Verschiedene Versuchsergebnisse ließen erkennen, daß außer dem Licht (FISCHNICH 1935, DORFMÜLLER 1938) das Vorhandensein von Knospen (VAN DER LEK 1925, MÜLLER 1935, MOLISCH 1935) und die Jahreszeit bei der Wurzelbildung von Stecklingen mitspricht. Im Winter macht sich eine autonome Ruhe geltend, die durch Warmbaden aufgehoben werden kann (MOLISCH 1917, SCHWARZ 1933). SCHWARZ hat im Herbst und Winter Stecklinge verschiedener Arten von Monat zu Monat bei verschiedener Temperatur und Dauer warm gebadet und damit teilweise guten Erfolg erzielt. Eine eingehende experimentelle Untersuchung darüber, wie weit die Fähigkeit zur Wurzelbildung von der Jahreszeit abhängt und im Wechsel derselben durch Heteroauxinbehandlung geändert werden kann, war in der erreichbaren Literatur jedoch nicht zu finden. Sie ist der Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Methodik

Unter den in Betracht kommenden Pflanzen, die leicht Wurzel bilden, wählte ich nach einigen Vorversuchen *Salix laurifolia*, *S. fragilis* und *Populus nigra* var. *pyramidalis*, deren Triebe stets von demselben Baum im Botanischen Garten entnommen wurden, so daß so weit als möglich die Gewähr für Einheitlichkeit des Materials gegeben war. Die Stecklinge wurden in der gärtnerisch üblichen Weise in ungefähr 10 cm Länge geschnitten, bei den krautigen Stecklingen (von diesjährigen Trieben) die Blattspreiten reduziert, die Knospen, deren Wichtigkeit aus den Arbeiten von VAN DER LEK 1925, MÜLLER 1935, MOLISCH 1935 u. a. hervorgeht, in allen Fällen an den Sproßstücken belassen.

Nach dem meist geübten Verfahren (HITCHCOK and ZIMMERMANN 1936 u. a.) wandte ich die ß-Indolylessigsäure (Merck) in wässrigen Lösungen und zwar in den Konzentrationen von 0,01, 0,005, 0,0025 und 0,001% an, in welchen die Stecklinge bei einer Temperatur von 17 bis 20 Grad durch 40 (Sommer) bis 48 Stunden (Winter) basal gebadet wurden (Normalbad). Im Winter wurden außerdem Warmbadreihen angesetzt, wobei die Stücke bei dem von SCHWARZ 1933 erprobten Optimum von 30 Grad durch 24 Stunden in Thermostaten gehalten waren. Die Kontrollen standen in allen Fällen unter denselben Verhältnissen wie die zugehörigen Heteroauxingruppen in reinem Leitungswasser. Die angegebenen Konzentrationen sind von verschiedenen Forschern als günstigster Bereich erprobt worden. Stärkere Lösungen können bei der eingehaltenen Einwirkungsdauer die Pflanzen bereits schädigen, schwächere wirkungslos bleiben.

Der kristallisierte Wuchsstoff wurde in einigen Tropfen 85%igen Alkohols gelöst, mit der entsprechenden Menge Leitungswasser eine 0,01%ige Lösung hergestellt und die übrigen Stufen durch entsprechende Verdünnung daraus gewonnen. Die Lösungen waren jedesmal unmittelbar vor der Verwendung frisch bereitet. Nach der Behandlung wurden die Stecklinge ungefähr 4 cm tief in ein Gemisch von Sand und Torfmull 1 : 1 gesteckt und, nachdem sie 31 Tage im Warmhaus bei normalem Licht kultiviert waren, das endgültige Ergebnis hinsichtlich Zahl und Länge der Wurzeln jedes Stückes sowie hinsichtlich des Entwicklungszustandes der Knospen und der Laubentfaltung festgestellt. Meine

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Angaben über die Durchschnittszahlen der Wurzeln beziehen sich stets auf die Gesamtzahl der Stücke in der betreffenden Gruppe, einschließlich der allfälligen Versager.

Auf diese Weise wurden von jeder der drei Arten allmonatlich ein bis mehrere Versuchsreihen angesetzt und protokolliert, deren jede meist fünf Gruppen, nämlich die vier Heteroauxinstufen und die Kontrollen, von je 20 Stecklingen umfaßte. Die Unterschiede zwischen den Gruppen einer Serie waren im allgemeinen hinsichtlich der mittleren Wurzellänge geringer, weniger regelmäßig und also auch weniger charakteristisch als hinsichtlich der Wurzelzahl, die wohl auch praktisch für das Anwachsen der Stücke wichtiger ist. Daher habe ich die Wurzelzahlen in Kurvenbildern dargestellt und erwähne die zugehörigen Längen nur an wichtigen Punkten. Für solche sind den Kurven der Abb. 1 schematische Stecklingsbilder über die mittere Wurzeldichte und -Länge, sowie den Entwicklungszustand der Knospen beigefügt.

Ergebnisse

a) Normalbad (42—48 Stunden bei 17—20°).

1. *Salix laurifolia*, krautige Stecklinge (von heurigen Trieben, Tab. 1).

Hetero-auxin-Konzentr.	Juni		Juli		August		September	
	Bewurzelte Stücke %	Mittl. Wurzel-dichte	Bewurzelte Stücke %	Mittl. Wurzel-dichte	Bewurzelte Stücke %	Mittl. Wurzel-dichte	Bewurzelte Stücke %	Mittl. Wurzel-dichte
0,01 %	75	10,2	85	7,1	100	10,3	100	5,6
0,005 %	95	9,9	80	6,4	100	9,2	100	4,8
0,0025 %	100	9,3	85	7,5	100	6,7	100	3,6
0,001 %	100	5,7	95	8,8	95	4,5	80	3,2
Kontrolle	100	4,8	80	6,0	80	2,8	65	1,5

Tab. 1. *Salix laurifolia*. Krautige Stecklinge (von heurigen Trieben).

Gleich im ersten Versuch im Juni trat eine stark fördernde Wirkung der Heteroauxinbehandlung insofern zutage, als mit Ausnahme der mit der niedersten Konzentration gebadeten Stecklinge alle Gruppen nach Ablauf eines Monates gegenüber den Kontrollen durchschnittlich ungefähr die doppelte Anzahl von Wurzeln gebildet hatten. Die Länge der Wurzeln wurde weniger und eher im entgegengesetzten Sinne beeinflußt. Anschaulicher ausgedrückt verhält sich die Sache so: während die Kontrollen im Mittel rund 5 Wurzeln von 25 mm aufwiesen, hatten die mit höheren Konzentrationsstufen behandelten Reihen 9—10 Wurzeln von je 20 mm gebildet. Hiezu muß noch erwähnt werden, daß innerhalb der 0,01%-Stufe individuelle Unterschiede von solchem Ausmaß zu verzeich-

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

nen waren, wie ich es sonst nie beobachtet habe. Während die Proben der übrigen Stufen und die Kontrollen ausnahmslos mindestens eine Wurzel hatten, fanden sich in der 0,01%-Gruppe neben Stücken mit mittleren Zahlen 5 Stecklinge, die sich überhaupt nicht bewurzelt hatten, und vereinzelte andere, die einen ganzen Bart von 40—44 Würzelchen aufwiesen. In allen sonstigen Versuchen war 24 das absolute Maximum. Diese einmalige, riesige Streuung ist wohl nur so zu verstehen, daß manche der jungen krautigen Triebe sich in einer besonders reaktionsfähigen Verfassung befanden, so daß die stärkste Lösung das Äußerste aus ihnen herauszuholen vermochte — sie gewissermaßen zur Explosion brachte — andere aber bereits schädigte.

Im Juli bewurzelten sich die Kontrollen nicht alle sondern nur zu vier Fünfteln, faßten aber dennoch durchschnittlich ausgiebiger Fuß als im Vormonat. Die Willigkeit zur Bewurzelung an sich hatte insoferne also etwas zugenommen. Mit ihr stieg der fördernde Einfluß des schwächsten Heteroauxinbades hinsichtlich Wurzelzahl und Hundertsatz der bewurzelten Stücke, wogegen die im Juni erfolgreichen stärkeren Lösungen diesmal weniger wirksam waren.

In den späteren Monaten ging der Erfolg der Heteroauxinbehandlung wieder mit der Konzentration und zwar zeitigten die stärkeren Lösungen im August absolut den gleichen Erfolg (9—10 Wurzeln von 13—17 mm Länge) wie im Juni. Relativ, d. h. bezogen auf die nunmehr bedeutend schwächere Wurzelbildung der Kontrollen (3 Wurzeln von 8 mm) war der Effekt der starken Konzentration sogar größer als damals, die Wurzelzahl im Vergleich zu jener der unbehandelten Stücke verdreifacht. Dabei reagierten die Proben diesmal im Gegensatz zum Juniversuch recht gleichmäßig, der mittlere Fehler hielt sich meist unter 10%. So blieb es auch im folgenden Monat, der aber in allen Stufen einschließlich der Kontrollen hinsichtlich der absoluten Zahlen einen jähen Rückgang brachte. (Kontrollen 1,5; 0,01%ige Lösung 5,5; Längen allgemein 8—9 mm.) Dieser Rückgang endete schließlich damit, daß von den Mitte Oktober geschnittenen Stecklingen binnen 31 Tagen kein einziger sich bewurzelt hat. Das Ergebnis war in Wasser und allen H-Stufen zunächst völlig negativ. Die Triebe befanden sich also um diese Zeit schon im Zustand tiefster Winterruhe, gegen die selbst die stärkste Wuchsstoffdosis zunächst nichts vermochte. Während die Kontrollen auch nach einem weiteren Monat alle wurzellos blieben, besserte sich das Ergebnis bei den mit Heteroauxin behandelten Stücken später insoferne, als bis Mitte Dezember die in mittleren Konzentrationen gebadeten Stecklinge zu 25% wenigstens eine kurze Wurzel gebildet hatten, von den mit der stärksten Lösung behandelten Proben wiesen sogar 60% mindestens eine Wurzel von 1 mm Länge auf. Wenn man darin eine genügende Gewähr für das weitere Anwachsen der Steck-

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

linge erblicken kann und vom Zeitfaktor absieht, dann ist der Effekt der Behandlung mit Rücksicht auf das völlige Versagen der Kontrollen eben im Herbst am größten.

Die Länge der Wurzeln variierte innerhalb der Reihen ohne erkennbare Regel; im ganzen nahm sie vom August an auffällig ab.

Die Knospen der Kontrollen trieben im Juni und Juli zu $^4/_5$ lebhaft aus *); gemessen daran drückten die stärkeren Wuchsstoffbäder wenigstens im Juli den Hundertsatz der knospentreibenden Stücke wie auch die Geschwindigkeit der Laubentfaltung etwas herunter während schwache Bäder auf die Knospenentwicklung eher fördernd wirkten.

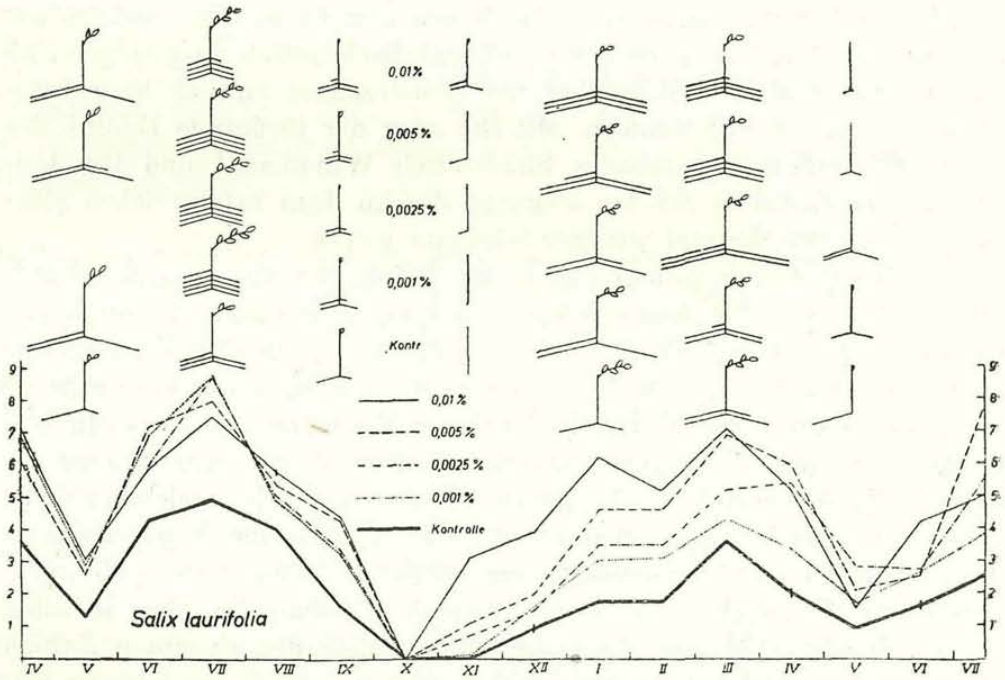

Abb. 1. *Salix laurifolia*, holzige Stecklinge (aus einjährigen Trieben). Mitte jeden Monats wurden je 20 Stück durch 40 bis 44 Stunden basal in Wasser (Kontrollen) und in Heteroauxinlösungen von 0,001—0,01% gebadet, hierauf in Sand-Torfgemisch gesteckt und nach 31 Tagen das Ergebnis verzeichnet. Dieses ist unter jenem Monat, in welchem die Behandlung erfolgte, eingetragen. Ordinaten = Durchschnittszahl der Wurzeln je Steckling (Wurzeldichte), auf die Gesamtzahl berechnet. Über den Kurven schematische Bilder betreffend Wurzeldichte und -Länge (1 mm des Bildes = 6 mm in Wirklichkeit) sowie den Entwicklungszustand der Knospen.

An den Stecklingen der späteren Monate verharrten die Knospen allgemein in Ruhe; eine Ausnahme machen nur die heteroauxinbehandelten

*) Es ist Regel, daß nur die oberste Knospe am Steckling austreibt.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Augustgruppen, bei welchen an 10—25% der Stücke nach Monatsfrist eine Schwellung — aber auch nicht mehr als dies — zu verzeichnen war.

2. *Salix laurifolia* — holzige Stecklinge (von 1jährigen Triebstücken, Abb. 1 u. 2).

Die Kontrollen der im April gesteckten Serie faßten zu $^{9}/_{10}$ Fuß und bildeten durchschnittlich 3,6 Wurzeln von 34 mm Länge. Alle Wuchsstoffbäder verstärkten die Bewurzelung ungefähr auf das Doppelte, nämlich auf 6—7 Wurzeln von 34—38 mm Länge (mittlerer Fehler um 15 %).

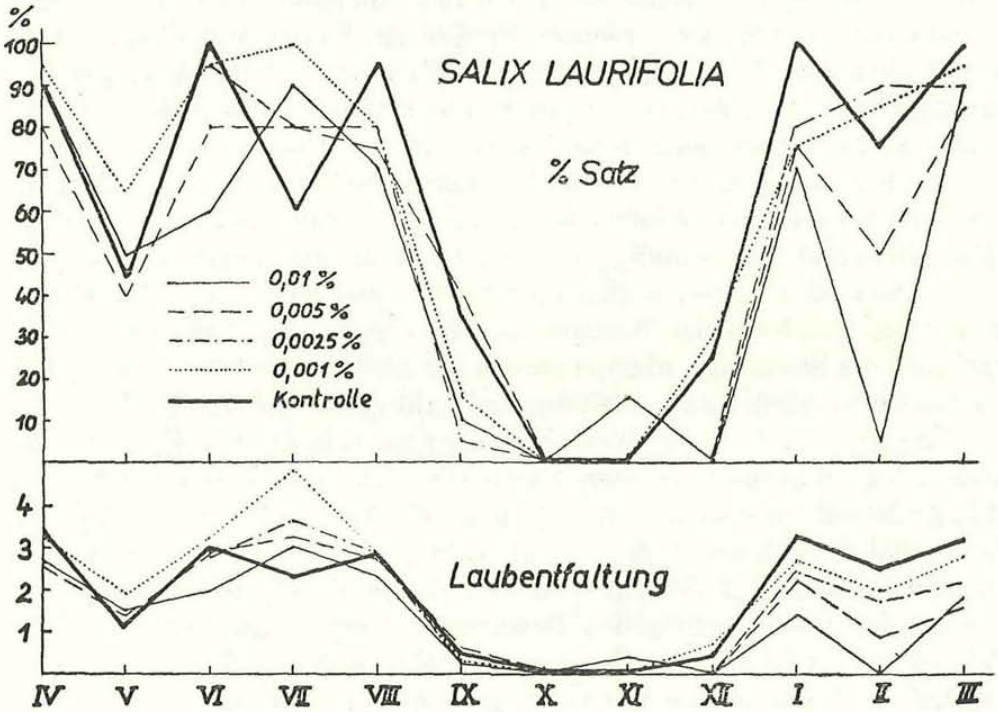

Abb. 2. *Salix laurifolia*, einjährige Stecklinge.
Oben: Hundertsatz der Stecklinge mit ausgetriebenen Knospen. Unten: Entwicklungsgeschwindigkeit der Triebe und Laubentfaltung (Ordinate 1 = Knospen springen eben auf, 6 = Triebe um 10 cm lang mit wenigstens 5 kräftig entwickelten Blättern).

In den folgenden Monaten blieb das Verhältnis zwischen den Kontrollen und den H-Stufen bis zum Juli ziemlich ähnlich. Die absoluten Wurzelzahlen bildeten dabei im Mai in allen Gruppen ein auffallendes und tief einschneidendes Minimum, dessen Bereich dadurch abgegrenzt wird, daß die Kontrollen im Mittel nur 1,2 Wurzeln von 28 mm, die mit 0,01%iger Lösung behandelten Proben rund 3 Wurzeln von 34 mm aufwiesen. Dieses Minimum kommt zum Teil dadurch zustande, daß fast

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

allgemein nur die Hälfte der Stecklinge Wurzeln schlug, weshalb auch der mittlere Fehler ausnahmsweise bis zu 30% beträgt. Die Höchstwerte des Sommers wurden im Juli erreicht. Trotz 40% Versagern hatten die Kontrollen durchschnittlich 5 Wurzeln von 16 mm. Die Wuchsstofflösungen brachten 90—100% der Stecklinge zur Bewurzelung, wobei diesmal die schwächsten Konzentrationen am meisten stimulierend zu wirken schienen (9 Wurzeln von 18—20 mm). Der mittlere Fehler mahnt allerdings, den unbedeutenden Unterschieden kein großes Gewicht beizumessen.

Im Spätsommer geht die Fähigkeit zum Wurzeltreiben (Kontrollen!) immer mehr zurück, womit — in Übereinstimmung mit den krautigen Stecklingen — auch der fördernde Einfluß des Heteroauxins wenigstens hinsichtlich des absoluten Effektes ständig sinkt; relativ, d. h. auf den gleichzeitigen Wert der Kontrollen reduziert, kann er besonders bei den stärksten Lösungen noch immer erheblich sein (September).

Nach völliger Ruhe im Oktober nahm die Fähigkeit der Wurzelbildung im Laufe des Winters bis zu einem zweiten Maximum im März allmählich und fast ständig wieder zu. In diesem Vorfrühlingsmonat bewurzelten sich die Kontrollen ausnahmslos und außerordentlich gleichmäßig im Mittel mit 3,6 Wurzeln von 27 mm Länge. Auf Heteroauxin sprachen die Stecklinge, abgesehen von der niedersten Stufe, schon gleich im November wieder an, vollzählig und kräftig auf die 0,01%ige Lösung (3 Wurzeln von 11 mm). Weiterhin stieg dann die ganze Kurvenschar ohne Überschneidung bis zum März. Dies war neben dem Jänner der einzige Monat, in dem in keiner Gruppe ein Versager auftrat (Abb. 3). Wenn dabei auch nicht die Wurzeldichten des Hochsommers erreicht wurden, so war doch der Effekt der stärkeren Wuchsstoffstufen gemessen an der relativ schwachen Bewurzelung der Kontrollen gerade im Winter am größten, die Streuung und der mittlere Fehler durchaus erträglich. Während des Vorfrühlings sank die Fähigkeit zur Wurzelbildung und die Stimulierbarkeit auf das schon im Vorjahre beobachtete Minimum, worauf sie beide wie damals neuerlich zunehmen.

Die im herbstlichen Ruhezustand (Oktober—November) entwickelten, spärlichen Wurzeln sind kurz. Dezemberstecklinge wiesen bereits wieder Durchschnittslängen von 16—32 mm auf. Am längsten gediehen die Wurzeln in allen Stufen in der Zeit vom Jänner bis April—Mai. Heteroauxinbehandlung wirkte in den Monaten November bis Jänner in allen Stufen eindeutig fördernd auf das Längenwachstum. Im übrigen war ein klarer Einfluß nicht erkennbar. Innerhalb der 11 Serien (Oktober ausgenommen) fand sich die jeweilige größte Durchschnittslänge ohne zeitliche Ordnung je dreimal bei den Kontrollen und bei der niedersten H-Stufe, je zweimal bei einer der mittleren und nur einmal bei der stärksten Konzentration, sodaß sich nur sagen läßt: im allge-

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

meinen gediehen die Wurzeln bei Behandlung mit Wasser und niederen H-Konzentrationen zu größerer Länge als bei Verwendung der stärksten Heteroauxinlösung, die jedoch in der Regel die größte Dichte hervorrief.

In der Neigung Wurzeln zu schlagen ist also eine ausgesprochene Jahres rhythmik festzustellen. Es fällt an dieser auf, daß das Winterminimum schon im Oktober eintritt und ein weiteres Minimum im Frühjahr (Mai) hinzukommt, das zwar keinen absoluten Ruhezustand vorstellt wie jenes, aber doch so stark einschneidet, daß die Jahresperiode klar zweigipfelig wird. Das spätwinterliche Maximum bleibt allerdings hinter jenem des Hochsommers etwas zurück. Diesen Rhythmus zeigen die mit Heteroauxin behandelten Stücke genau so wie die Kontrollen, doch verstärkt das Heteroauxin in allen angewendeten Konzentrationsstufen die Bewurzelung. Wenn auch kleine Unterschiede im Ergebnis der Konzentrationsstufen einer Versuchsreihe statistisch nicht immer ganz gesichert sind, so läßt sich doch sagen, daß im allgemeinen die H-Wirkung mit der Konzentration zunimmt und die 0,01%ige Lösung in der Regel den größten Effekt erzielt. Sie kann im Winter die Zahl der Wurzeln gegenüber den Kontrollen auf das drei- bis vierfache steigern. Nur zur Zeit der kurzen, tiefen Herbstruhe versagt selbst diese Dosis völlig. Das mag sich daraus erklären, daß in diesem Zustand der Pflanze die Auxinproduktion still steht (negativer Befund an ruhenden *Syringa*-Knospen bei GUTTENBERG und LEHLE-JOERGES 1947) und — im Sinne GUTTENBERGs (1942) gesprochen — durch das Heteroauxin auch nicht anregbar ist. Die Treibfähigkeit erwacht jedoch mit fortschreitender Jahreszeit rasch wieder und läßt sich gerade im Frühwinter ausgiebigst stimulieren.

Praktisch wichtig ist, daß alle verwendeten Heteroauxinlösungen nicht nur die durchschnittliche Wurzeldichte, sondern auch die Zahl der überhaupt bewurzelten Stücke zu jenen Zeiten, da der freiwillige Trieb zu wünschen übrig ließ (Mai—Juli, Oktober—Dezember) erhöhten. Eine Ausnahme machten nur die beiden Ruhemonate. Auch in dieser Hinsicht bewährte sich die stärkste Lösung am besten. Die damit behandelten Serien bewurzelten sich stets vollzählig, was besonders im November einen überraschenden Erfolg bedeutete, weil von den zugehörigen 20 Kontrollen 19 versagten, während sonst abgesehen vom Oktober stets mehr als 50% wenigstens eine Wurzel gebildet hatten.

In betreff der Knospenentwicklung war im wesentlichen dieselbe Periodizität wie bei den Wurzeln zu beobachten. Die Knospen trieben an Sommerstecklingen und — unter den hier eingehaltenen Versuchsbedingungen, d. h. einer Temperatur um 18° — schon bei den im Winter und weiter bis in den April entnommenen Stücken meist recht kräftig aus, wie die schematischen Bilder der Abb. 1 veranschaulichen mögen. Sie entwickelten sich kräftiger als an den krautigen Stecklingen.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

In den Herbstmonaten hingegen ruhten die Knospen beharrlich und zeigten im Mai nochmals relativ geringe Aktivität. H-Behandlung ließ sowohl hinsichtlich des Prozentsatzes der knospentreibenden Stücke wie hinsichtlich der durchschnittlichen Geschwindigkeit der Internodienstreckung und Laubentfaltung (Abb. 2) während des Sommerhalbjahres lediglich im Juli einen nennenswerten und zwar mindestens bei der schwächsten Konzentration deutlich fördernden Einfluß erkennen. In den übrigen Sommermonaten waren die Kontrollen allein oder zusammen mit der schwächsten Lösung weit voraus.

Die Wuchsstoffbäder wirkten also auf das Knospentreiben eher ungünstig. Vollkommen klar trat im Winter zutage, daß die Knospen der H-behandelten Stücke in der Entwicklung gehemmt wurden und in

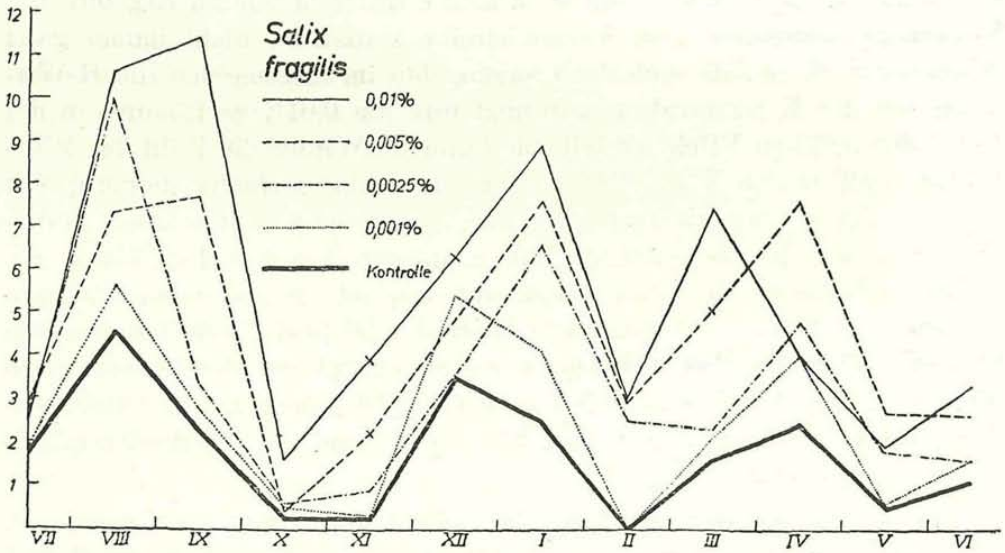

Abb. 3. *Salix fragilis*, Stecklinge aus einjährigen Trieben. Erläuterungen wie Abb. 1.

der Entfaltung um so mehr zurückblieben, je höher die verwendete Konzentration war (Abb. 2 unten!) — obschon sie mit den Lösungen nie in Berührung kamen.

3. *Salix fragilis* — einjährig. Abb. 3.

Nach der eingehenden Darstellung der Experimente mit *Salix laurifolia* kann sich die Besprechung der anderen in Versuch genommenen Arten darauf beschränken, das Gemeinsame und die Unterschiede hervorzuheben. *Salix fragilis* reagiert ebenso leicht und ausgiebig wie die Schwesterart. Sowohl die mit Wasser wie die mit Heteroauxin behandelten Stecklinge erreichten ganz ähnliche Duchschnitts d i c h t e der Bewurzelung, wobei wieder die stärkeren Konzentrationen besonders 0,01% in der Regel den größten Erfolg zeitigte. Doch ist das gegenseitige

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Verhältnis der einzelnen Stufen nicht so gleichmäßig wie bei *S. laurifolia;* daher überschneiden sich die Kurven teilweise auffälliger, was aber keinesfalls mit größerer individueller Streuung zusammenhängt. Auch die Wurzel l ä n g e n halten sich in demselben Bereich wie bei *laurifolia. S. fragilis* bildet sie im Jänner (26—40 mm) und März am längsten, später geraten sie kürzer (Mai 3—9 mm), im Sommer werden sie neuerlich länger, im Herbst ganz kurz. Die Länge der Wurzeln folgt also im wesentlichen derselben Periode wie ihre Zahl. Im *fragilis*-Rhythmus ist das Sommermaximum in den August verschoben, die Oktoberruhe nicht so absolut wie wir sie bei *laurifolia* fanden. Trieb doch in diesem Monat ein Fünftel der Kontrollen je eine Wurzel mit 2 mm, in der 0,01%igen Lösung hatten 70% 1—4 Wurzeln derselben Länge. Vor allem aber ist der Jahresgang von *S. fragilis* dadurch gekennzeichnet, daß das Wintermaximum durch ein eindeutiges und scharfeinschneidendes Ruhestadium im Feber geteilt wird. Nachträgliche Wiederholung des Versuches im Jahre darauf hat dies vollkommen bestätigt. Die *laurifolia*kurven (Abb. 1) zeigen zum selben Zeitpunkte wohl im Erfolg der stärksten H-Konzentration einen unwesentlichen Rückgang, in den übrigen Stufen einschließlich der Kontrollen nur eine flache Treppe — ein Zug, dem man keine Bedeutung beimessen möchte, träte er bei *Salix fragilis* nicht so scharf hervor. Vielleicht würde dieses Minimum auch bei *laurifolia* fühlbarer werden, wenn man die Versuchsserien dichter legte.

Die Entwicklung der K n o s p e n wurde durch die schwachen H.-Lösungen nur im März ungünstig, sonst wenig oder eher günstig beeinflußt, durch die stärkste Konzentration hingegen, mit Ausnahme des November, stets gehemmt. Der Einfluß der Wuchsstoffbehandlung war also in dieser Hinsicht klarer als bei der anderen Weide.

4. *P o p u l u s n i g r a — p y r a m i d a l i s* — einjährig (Abb. 4. u. 5)..

Die Pappel hatte eine geringere Fähigkeit zur Wurzelbildung als die Weide, was sofort daraus ersichtlich wird, daß die Kontrollen nie mehr als durchschnittlich eine Wurzel trieben und mit Ausnahme des Februar stets weniger als die Hälfte von ihnen, oft nur ganz wenige Stücke, überhaupt Fuß faßten. Daran gemessen war die stimulierende Wirkung des Heteroauxins, besonders in stärkster Lösung, mindestens im August und Jänner außerordentlich ausgiebig, wenn auch die absolute Wurzeldichte sich viel bescheidener als bei den Weiden ausnimmt. Vermochte doch die 0,01%ige Lösung die durchschnittliche Wurzelzahl im Jänner von nahezu 0 auf 3, im August von derselben Basis einmal auf fast 8, das anderemal auf 6 zu erhöhen. Praktisch noch viel mehr ins Gewicht fällt die geradezu verblüffende Steigerung in der Zahl der bewurzelten Stücke, die durch Behandlung mit der 0,01%igen Lösung im Dezember von 0 auf 50%, im Jänner und August

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

von 15 auf 100%, im Juli von 30 auf 90% erhöht werden konnte (Abb. 5). In dieser Hinsicht erwies sich die Pappel eben wegen ihrer an sich geringen Fähigkeit zur Wurzelbildung (Kontrollen!) als ungemein dankbares Objekt. Bei den Weiden, bei welchen die meisten Stücke an sich leicht Wurzeln treiben, sind die Möglichkeiten, den Hundertsatz zu erhöhen, naturgemäß mehr begrenzt.

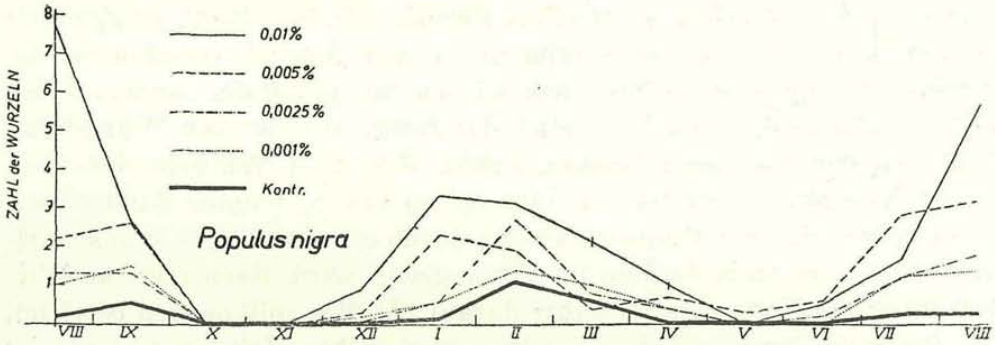

Abb. 4. *Populus nigra* var. *pyramidalis*, Stecklinge aus einjährigen Trieben. Erläuterungen wie Abb. 1.

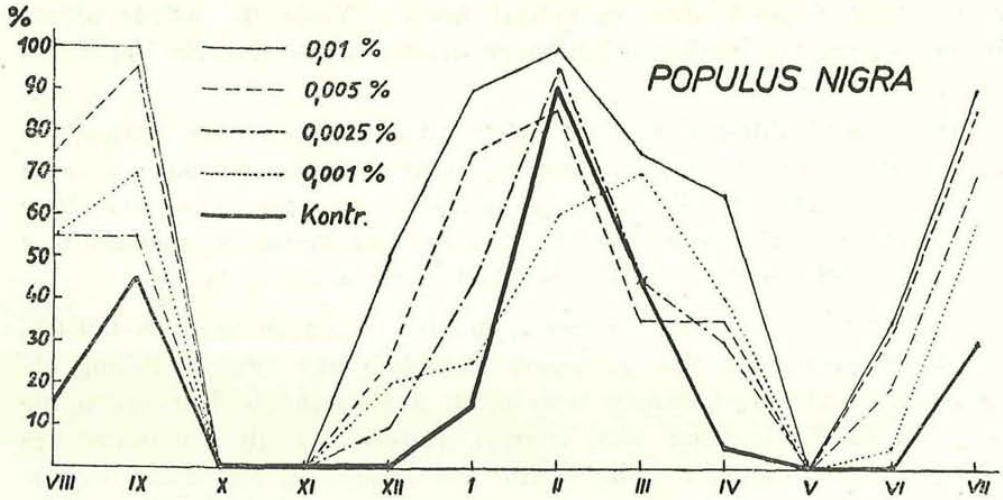

Abb. 5. *Populus nigra* var. *pyramidalis*, Stecklinge aus einjährigen Trieben. Hundertsatz der Stücke mit mindestens einer Wurzel.

Die Wurzellänge hält sich ungefähr innerhalb des bei den beiden andern Versuchsobjekten gefundenen Bereiches; sie wurde durch den Wuchsstoff, mit Ausnahme des April, fast immer gefördert, besonders durch seine stärkste Lösung.

Als auffallend und praktisch wichtig sei hervorgehoben, daß im Gegensatz zu den Weiden auch das Austreiben der Knospen nach Pro-

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

zentsatz und Geschwindigkeit der Laubentwicklung durch Heteroauxin jeder Stufe, im Sommer wie im Winter, ganz besonders aber im Dezember und Jänner gefördert wurde, wobei das Maximum der Förderung zweimal (Jänner, März) sogar bei der stärksten Konzentration lag. Nur im September war der Einfluß fast Null, im April in den höheren Konzentrationen ausgesprochen ungünstig; es sind dies die beiden Monate, in welchen der Trieb allgemein zurückgeht. Die Pappel kann man also im Winter durch Heteroauxinbäder von 0,01% zu relativ guter Bewurzelung bei gleichzeitig kräftigem Laubtrieb bringen.

Den Jahresablauf im ganzen betrachtet, ist Populus gegenüber den Weiden durch flachere Maxima und breitere, d. h. zeitlich weniger eingeengte Minima gekennzeichnet.

b) Warmbad. Tab. 2.

		Salix laurifol. 1jährig				*Populus nigra — pyramid.* 1jähr.				
		bewurzelte Stecklinge %		durchschnittl. Bewurzelungsdichte			bewurzelte Stecklinge %		durchschnittl. Bewurzelungsdichte	
		normal	warm	normal	warm		normal	warm	normal	warm
0,01 %	Dez.	100	75	3,9	5,1	Dez.	50	85	0,9	1,9
	März	100	100	7,1	6,7	Feber	100	0	3,1	0
0,005 %	Dez.	75	100	2,0	4,1	Dez.	25	75	0,3	1,1
	März	100	100	6,9	5,9	Feber	85	0	1,9	0
0,0025%	Dez.	75	80	1,5	3,0	Dez.	10	95	0,1	1,9
	März	100	70	5,2	3,0	Feber	95	55	2,7	1,0
0,01 %	Dez.	70	95	1,6	3,9	Dez.	20	65	0,2	1,6
	März	100	75	4,3	2,9	Feber	60	20	1,4	0,2
Kontr. (Wasser)	Dez.	55	90	0,9	2,1	Dez.	0	65	0	1,3
	März	100	100	3,6	4,1	Feber	90	20	1,1	0,2

Tab. 2. Einfluß der wuchsstoffhaltigen Warmbäder (24 Stunden bei 30°) auf den Hundertsatz der bewurzelten Stücke und die Wurzelzahl je Steckling im Vergleich zum Ergebnis des Normalbades.

Die unter den im Normalbad eingehaltenen Versuchsbedingungen, wie wir im Vorigen gesehen haben, stets günstige Wirkung des Heteroauxins konnte im Winter weiter gesteigert werden, wenn die Stecklinge bei einer Temperatur von 30% durch 24 Stunden gebadet wurden. Derartige Behandlung war jedoch nur in einer kurzen Zeitspanne eindeutig erfolgreich, nämlich während der zwei Monate, da einerseits das

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

tiefe herbstliche Ruhestadium schon überschritten, anderseits die volle Winteraktivität noch nicht erreicht war.

Bei *Salix laurifolia* gelang es im November durch Warmbaden mit reinem Wasser wie mit den schwächeren H-Lösungen im Vergleich zum Normalbad die Zahl der bewurzelten Stücke in bemerkenswertem Ausmaß zu steigern. Hinsichtlich der durchschnittlichen Wurzeldichte hatte bloß die stärkste Konzentration ein nennenswert positives Ergebnis. Warmgebadete Dezemberstecklinge aber übertrafen in beiderlei Hinsicht alle Vergleichsgruppen der Normalbadreihe, besonders in der Wurzelzahl, die in den drei niedern Stufen und bei den Kontrollen mindestens verdoppelt wurde. Mit zunehmender Aktivität ging die anregende Wirkung des Warmbades im Jänner zurück und schlug in der Februarreihe bei der Mehrzahl der Gruppen bereits ins Gegenteil um. Im März—April wirkten die warmen H-Bäder ausgesprochen ungünstig.

Salix fragilis reagierte schon im November in allen Gruppen sowohl rücksichtlich der durchschnittlichen Wurzeldichte als auch der Zahl der bewurzelten Stücke viel stärker positiv als im Normalbad. Wieder war der Erfolg bei den Kontrollen und den Stecklingen aus den schwachen H-Lösungen besonders auffällig. In denselben Stufen bewährte sich das Warmbad nochmals zur Zeit des Februarminimums, während es im März in allen Gruppen und in jeder Hinsicht ungünstigen Einfluß nahm.

Bei *Populus* trat dieser Umschlag nach eindeutiger und allgemeiner Förderung im Dezember schon im Februar mit aller Klarheit ein. Förderung und Hemmung betreffen in durchwegs gleicher Weise den Hundertsatz der bewurzelten Stücke wie die Wurzeldichte, treten aber, entsprechend dem Jahresversuch, Abb. 5, auch hier besonders in der Zahl der wurzelbildenden Stecklinge hervor.

Die Umkehr des Warmbadeinflusses im Spätwinter machte sich allgemein auch im Treiben der Knospen geltend (besonders schön bei *Salix fragilis)*, obwohl die Stecklinge bloß basal gebadet wurden.

Wie BÜNNING 1939 (eingehende Literaturübersicht) ausführt, hat man die frühtreibende Wirkung des seit MOLISCH 1909 vielfach angewendeten Warmbades daraus zu erklären versucht, daß es unmittelbar oder mittelbar die intramolekulare Atmung fördere, deren Produkte (Alkohol, Azetaldehyd, Brenztraubensäure usw.) erfahrungsgemäß gute Entwicklungsanreger sind. Unser Ergebnis zeigt, daß sie erst dann Einfluß nehmen, wenn eine gewisse Entwicklungsbereitschaft bereits besteht. Der bei größerer Aktivität bzw. fortgeschrittener Jahreszeit gefundene Umschlag ließe sich unter diesem Gesichtspunkt verstehen, wenn man annimmt, daß die intramolekulare Atmung nunmehr über das förderliche Maß hinausgeht.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Zusammenfassung und Besprechung der Ergebnisse.

1. Die Fähigkeit Wurzeln zu bilden, ließ bei den untersuchten drei Arten einen in mehrmaligem Auf und Ab verlaufenden, endogenen Jahresrhythmus erkennen. Er ist durch mindestens zwei Gipfel gekennzeichnet, von denen der höhere in den Hochsommer, der kleinere in den Winter (*Populus*, Abb. 4) oder Vorfrühling fällt (*Salix laurifolia*, Abb. 1). Dazwischen liegt ein absolutes Ruhestadium im Oktober und ein relatives im Mai. Das Verhalten von *Salix fragilis* (Abb. 3) zeigte, daß selbst bei Angehörigen desselben Genus der Gang gewisse Unterschiede aufweisen kann. Bei *Salix fragilis* ist er um eine dritte Welle bereichert. Der winterliche Gipfel wird hier durch Einschaltung eines sehr ausgeprägten und in der Wiederholung bestätigten Februarminimums gespalten. Bei der Schwesterart war dies nur angedeutet, bei *Populus nigra* fehlte es gänzlich. Dies Ergebnis fügt sich anderweitigen Beobachtungen an, an Hand deren BÜNNING schon 1939 und neuerlich 1943 das Problem der inneren Rhythmik, von der sich nur sagen läßt, „daß sie auf einem regelmäßigen Wechsel zweier verschiedenartiger, plasmatischer Zustände beruht", erörtert und in Zusammenhang mit der Anpassung an den jahresperiodischen Wechsel behandelt hat.

2. Es spricht für die primär plasmatische Natur des inneren Rhythmus, daß er den Erfolg der Heteroauxinbehandlung weitgehend beherrscht, was im gleichsinnigen Verlauf ihrer Kurvenscharen mit der Kurve der Kontrollen zum Ausdruck kommt. Im tiefen Ruhezustand des Oktober war der Erfolg der Behandlung Null oder — *Salix fragilis* — äußerst bescheiden, zur Zeit der anderen Minima relativ gering. In allen übrigen Monaten aber verstärkte der Wuchsstoff die durchschnittliche Wurzeldichte, wobei die Wirkung innerhalb des angewendeten Bereiches mit der Konzentration der Lösung im allgemeinen zunahm. Auch die Anzahl der überhaupt bewurzelten Stücke konnte zu allen Zeiten, da sie zu wünschen übrig ließ, gehoben werden, und auch in dieser Hinsicht erwies sich die 0,01%ige Dosis als die erfolgreichste. Ich erwähne nur das bemerkenswerte Ergebnis an *Salix laurifolia* im November (S. b. 3) und besonders die mehrmalige überraschende Hebung des Hundertsatzes bei *Populus nigra* (Abb. 5). Diese Hebung des Prozentsatzes der Stücke mit wenigstens einer Wurzel hat größere praktische Bedeutung, weil es für das Fortkommen eines Stecklinges wichtiger ist, daß er überhaupt eine Wurzel bildet, als daß er statt weniger deren viele treibt. Die Stimulation der Wurzelbildung durch die 0,01%ige H-Lösung wird allerdings bei den reichlich Wurzel treibenden Weiden mindestens im Winter durch gleichzeitige Hemmung der Knospenentwicklung erkauft (Abb. 2), ein Nachteil, der bei der weniger verschwenderischen *Populus* nicht in Erscheinung trat. Es liegt der Gedanke nahe, daß im ersteren Falle die Knospen im Konkurrenz-

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

lauf um das Reservematerial gegenüber den Wurzeln zu kurz kommen.

3. Durch Warmbaden kann der Erfolg der Heteroauxinbehandlung in der Zeit nach dem Überschreiten der tiefen Herbstruhe und vor Erreichung der vollen Winteraktivität, allenfalls auch noch im Februarminimum *(Salix fragilis)* ausgiebig gesteigert werden. Später wirkt es ausgesprochen ungünstig (Tab. 2).

Die Anregung zu dieser Arbeit verdanke ich Herrn Professor SPERLICH. Professor PISEK bin ich für seine Anleitung und stete Beratung zu Dank verpflichtet.

Literaturverzeichnis

BOUILLENNE, R. et WENT, F. 1933, Recherches experim. sur le neoformation des racines etc. Ann. Jard. Bot. Buitenz. 43

BÜNNING, E. 1939, Physiologie des Wachstums und der Bewegungen. Berlin.

— 1943, Die Anpassung der Pflanzen an den jahres- und tagesperiodischen Wechsel der Außenbedingungen. Naturw. 31.

DETTWEILER, Chr. 1943, Über den Einfluß des Heteroauxins auf die Wuchsstoffbildung in höheren Pflanzen. Planta 33.

DORFMÜLLER, W. 1938, Lichtwirkung und Wuchsstoffe in ihrer Bedeutung für die Bewurzelung von Commelinaceenstecklingen. Jahrb. wiss. Bot. 86.

DORN, H. 1938, Histologische Studien über die Entwicklung sproßbürtiger Wurzeln nach Heteroauxinbehandlung. Planta 28.

FISCHNICH, O. 1935, Über den Einfluß von ß-Indolylessigsäure auf die Blattbewegungen und die Adventivwurzelbildung von *Coleus*. Planta 24.

— 1937, Über die stofflichen Grundlagen der Wurzelbildung. Ber. deutsch. Bot. Ges. 55.

FRIEDRICH, H. 1943, Über die praktische Bedeutung von Wuchsstoffen in Gartenbau, Land- und Forstwissenschaft. Angew. Bot. XXV, 3 u. 4.

GUTTENBERG, H. 1942, Über die Bildung und Aktivierung des Wuchsstoffes in den höheren Pflanzen. Naturw. 30.

GUTTENBERG, H. u. LEHLE-JOERGES, E. 1947, Über das Vorkommen von Auxin und Heteroauxin in ruhenden und keimenden Samen. Planta 35.

HITCHCOK, A. E. and ZIMMERMANN, P. W. 1936, Effect of growth substances on the rooting response of cuttings. Contrib. Boyse-Inst. 7.

KÖGL, F. — HAAGN-SMIT, A. J. — ERXLEBEN, H. 1934, Über ein neues Auxin (Heteroauxin) aus Harn. Zeitschr. physiol. Chemie 228.

— — — 1934, Über den Einfluß des Auxins auf das Wurzelwachstum und über die chemische Natur des Auxins der Graskoleoptilen. Ebenda 228.

LAIBACH, F. 1935, Über die Auslösung von Kallus- und Wurzelbildung durch ß-Indolylessigsäure. Ber. deutsch. Bot. Ges. 53.

— 1937, Über die Bedeutung der ß-Indolylessigsäure für die Stecklingsvermehrung. Gartenbauwissenschaft 11.

LAIBACH, F. u. FISCHNICH, O. 1935, Künstliche Wurzelbildung mittels Wuchsstoffpaste. Ber. deutsch. Bot. Ges. 53.

VAN DER LEK, H. A. 1925, Over de wortelvorming van houtige stekken. Diss. Utrecht.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

MOLISCH, H. 1909, Das Warmbad als Mittel zum Treiben der Pflanzen. Jena.
— 1917, Über das Treiben von Wurzeln. Sitz. Ber. Akad. Wissensch. Wien I, 126/31.
— 1935, Das knospenlose Internodium als Steckling behandelt. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 53.
MÜLLER. A. M. 1935, Über den Einfluß von Wuchsstoff auf das Austreiben der Seitenknospen und auf die Wurzelbildung. Jahrb. wiss. Bot. 81.
MÜLLER-STOLL, W. 1938, Versuche über die Verwendbarkeit der ß-Indolylessigsäure als verwachsungsfähiges Mittel in der Rebenveredelung. Angew. Bot. XX, 3.
ROGENHOFER, G. 1936, Wirkung von Wuchsstoffen auf die Kallusbildung von Holzstecklingen. Sitz. Ber. Akad. Wiss. Wien I, 145.
SCHLENKER, G. 1937, Die Wuchsstoffe der Pflanzen. München/Berlin.
SCHWARZ, L. 1933, Wirkung des Warmbades und einiger chemischer Bäder auf das Wurzeltreiben von Stecklingen. Gartenbauwissenschaft 8.
THIMANN, K. V. — WENT, F. W. 1934, On the chemical nature of the rootforming hormone. Proc. Akad. Wetensch. Amsterdam 37.
WARNER, G. C. — WENT, F. W. 1939, Rooting of cuttings with indole acetic acid and Vit. B_1 Pasadena Cal. USA.
WENT, F. W. 1929, On a substance causing rootformation. Proc. Akad. Wetensch. Amsterdam 32.
— 1939, Growth hormones in higher plante. Ann. Rev. Biochemistry VIII.

* * *

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn

Jahr/Year: 1949

Band/Volume: 1_2-4

Autor(en)/Author(s): Gumpelmayer Edeltraut

Artikel/Article: Die Bewurzelung von Stecklingen unter dem Einfluß von Heteroauxin im Jahresrhythmus. 154-169