

Beiträge zur Kenntnis der Wurzel- und Sproßbildung an Stecklingen.

Von

Ernst Küster.

Mit 4 Textfiguren.

Der nachfolgende Bericht über eine große Reihe experimenteller Untersuchungen bezieht sich auf die Erscheinungen der Wurzel- und Sproßbildung an Stecklingen verschiedener Art. Von den vielen Faktoren, welche auf die genannten Vorgänge von Einfluß sind, sollen in der vorliegenden Mitteilung nur zwei näher behandelt werden, die — wie scheint — bisher wenig oder garnicht bei den einschlägigen Forschungen in Betracht gezogen worden sind. Im ersten Abschnitt wollen wir an einigen Objekten den Einfluß des Sauerstoffs auf die Wurzelbildung verschiedener Pflanzen prüfen; im zweiten soll untersucht werden, ob und inwieweit durch Zentrifugieren die Organbildung von Stecklingen sich beeinflussen läßt.

I. Einfluß des Sauerstoffs.

Die Bedingungen, unter welchen Stecklinge beliebiger Pflanzen oder intakte Individuen neue Wurzeln bilden und vorhandene Wurzelanlagen zur Entfaltung bringen, sind schon wiederholt geprüft worden und sind verhältnismäßig gut bekannt. Die praktischen Erfahrungen der Pflanzenzüchter wie die Versuche im Laboratorium haben ergeben, daß reicher Wassergehalt der Zellen Wurzelbildung und Wurzelwachstum sehr fördern: Aufenthalt im feuchten Raume oder Benetzung mit Wasser garantiert bei den Stecklingen sehr vieler Pflanzen beschleunigte Bewurzelung. Zweitens wissen wir — besonders aus den Untersuchungen von Vöchting¹⁾ —,

1) Über Organbildung im Pflanzenreich, I. Bonn 1878.

daß bei der Wurzelbildung von Stecklingen neben den äußeren Bedingungen, die den Versuchspflanzen geboten werden, noch andere, uns nicht näher bekannte „innere“ Faktoren wirksam sind, welche, wie bekannt, die Bewurzelung des basalen Stecklingepoles fördern, sodaß an diesem — gleiche äußere Bedingungen vorausgesetzt — Wurzelbildung und Wurzelwachstum viel früher und viel intensiver sich betätigen als am apikalen Pol. Wenn auf alle Teile eines Stecklings für die Wurzelbildung gleich günstige äußere Bedingungen einwirken (Aufenthalt in feuchter Luft), so findet sich gleichwohl die (für die Wurzelbildung) optimale Kombination aller wirksamen Faktoren nur am basalen Pol verwirklicht.

Die gleiche „Polarität“, welche gewisse Vorgänge der Organbildung beherrscht, spricht sich nun auch in der Bildung gewisser abnormaler Gewebe aus. An Stecklingen von *Populus pyramidalis* bildet sich bekanntlich — günstige äußere Bedingungen vorausgesetzt — an beiden Schnittflächen ein üppiger Kalluswulst; aber auch dann, wenn die für die Kallusbildung in Betracht kommenden äußeren Faktoren an der oberen und unteren Schnittfläche die gleichen sind, fällt die Kallusbildung an den beiden Polen ungleich üppig aus und erscheint am basalen Pol merklich gefördert¹⁾. Stellen wir aber unsere Stecklinge in Wasser, derart, daß der basale Pol benetzt ist, und der obere sich in feuchter Luft befindet, so kommt die soeben geschilderte „Polarität“ nicht mehr zum Ausdruck: an dem in feuchter Luft befindlichen apikalen Pol der Sproßstücke wird die Kallusbildung dermaßen gefördert, daß die Gewebsneubildung am basalen Pol weit hinter den apikalen Proliferationen zurückbleibt. Es ist in hohem Maße wahrscheinlich, daß das Wachstum der Kallusgewebe im zweiten Fall durch den Sauerstoffzutritt am apikalen Pol so stark gefördert wurde.

Nachdem sich hat zeigen lassen, daß bei pathologischen Gewebsbildungen verschiedener Art — bei den Lenticellen- und Rindenwucherungen vieler Pflanzen²⁾ — die Berührung mit Luft einen der wichtigsten wirksamen Faktoren darstellt, nachdem sich ferner gezeigt hat, daß bei der Kallusbildung von *Populus* u. a. die der Sauerstoffwirkung ausgesetzten Teile der Stecklinge so weit im Vorteil sind, daß selbst die durch (nicht näher bekannte) innere

1) Küster, Pathologische Pflanzenanatomie 1903, p. 168 ff. — Dasselbst weitere Literaturangaben.

2) Küster, a. a. O., p. 78.

Bedingungen bevorzugte Stelle (der basale Pol des Sproßstücks) hinter ihnen zurückbleibt, — liegt die Frage nahe, ob auch auf die Organbildung der Stecklinge der Einfluß des Sauerstoffs unter Umständen so groß zu werden vermag, daß deren „Polarität“ nicht mehr in der typischen Weise zum Ausdruck kommen kann.

Ich ließ mich bei meinen Untersuchungen von früheren Erfahrungen leiten und begann meine Versuche mit Stecklingen von *Ribes aureum*.

Sproßstecklinge vom Gold-*Ribes* sind für den Pflanzenpathologen interessant durch die Leichtigkeit, mit der sie sich im Experiment zu sehr umfangreichen hyperhydrischen Gewebsschwellungen bringen lassen: die Parenchymelemente der Rinde vergrößern sich außerordentlich stark durch Wachstum in radialer Richtung, bringen die Korksicht zum Sprengen und lassen ein weißflockiges Gewebe hervortreten¹⁾. Wie ich gezeigt habe, entstehen die „Rindenwucherungen“ der Gold-Johannisbeere in feuchter Luft, niemals unter Wasser; die Gegenwart von Sauerstoff gehört zu den wichtigsten Vorbedingungen für diese Gewebsschwellung. Selbst an denjenigen Stücken, an welchen auch an den benetzten Stellen hypertrophische Gewebsveränderungen der Lenticellen eintreten, bleibt der Unterschied zwischen emersen und submersen Teilen der Stecklinge äußerst sinnfällig (vgl. die Abbild. a. a. O.).

Da sich die Gold-*Ribes*-Zweige hinsichtlich ihrer Gewebebildung als hochgradig empfindlich erweisen für Sauerstoffmangel und Sauerstoffzufuhr, prüfte ich, ob auch die Organbildung der Stecklinge von den gleichen Faktoren beeinflusst wird.

Einige *Ribes*-Stecklinge wurden in Wasser gestellt und in meinem Arbeitszimmer an ein Nordfenster gebracht. Die Knospen der Stecklinge trieben bald aus, — sehr früh und lebhaft vor allem die Endknospen, die bei *Ribes aureum* durch besondere Größe gekennzeichnet sind. Erst sehr viel später — erst vier bis sechs Wochen nach Beginn meiner Versuche — treten am basalen Pol — also im Wasser — die ersten Wurzeln auf.

Ganz anders verhielten sich die Stecklinge, welche im Gewächshaus bei höherer Temperatur gehalten wurden, und die sich mit ihren emersen Teilen in sehr feuchter Luft befanden. An einigen von ihnen platzte die Rinde auf, und die emersen Teile zeigten die bekannten weißen Wucherungen. An diesen bloßgelegten Stellen

1) Abbildg. in Ber. d. Deutsch. bot. Gesellsch. 1904, Bd. XXII, Taf. XI, Fig. 1.

oder an den noch von Kork und Rinde bedeckten Orten entstanden weiterhin normale Wurzeln, die mehrere (bis 10) Millimeter Länge erreichten, dann aber umkamen. Einige der Wurzeln standen in nächster Nähe der (oberen) Schnittfläche des Stecklings, doch war der emerse Teil der Sproßstücke von oben bis unten überall in gleicher Weise zur Wurzelbildung befähigt. — An andern Stecklingen bildeten sich die Wurzeln schon vor der Wucherung der Rindengewebe. Schon 8—10 Tage nach Beginn der Versuche traten normale Wurzeln am apikalen Pol der Stecklinge hervor¹⁾. Dabei fiel es mir auf, daß die ersten Wurzeln oft unmittelbar an der Schnittfläche entstanden. Auch die später gebildeten standen alle in nur geringem Abstand von dem oberen Ende des Stecklings, sodaß alle Wurzeln auf einer sehr kurzen Strecke (1—2 cm) am oberen Pol zusammengedrängt waren²⁾. In allen Fällen kamen an den submersen Teilen der Stecklinge, solange diese noch unter Beobachtung blieben, keine Wurzeln zur Ausbildung; die Wurzelbildung blieb also beschränkt auf den apikalen Pol. Das Ausstreuen der Knospen erfuhr durch die Versuchsanstellung keine nennenswerte Modifikation: die oberste Knospe trieb zuerst aus, sodaß an dem nämlichen Ende des Stecklings Wurzeln und neue Triebe sich vereinigt fanden.

Daß die hier geschilderten Vorgänge der Organbildung, die mit den typischen Äußerungen der „Polarität“ nicht im Einklang stehen, verursacht worden sind durch Sauerstoffzufuhr und Sauerstoffmangel, scheint mir nicht zweifelhaft zu sein. Dafür spricht auch die so oft beobachtete Lokalisation der Wurzelbildung auf die äußerste Spitze der Stecklinge: an dieser war, wie ich annehme, die Durchlüftung der Gewebe die beste, da von der Schnittfläche aus Luft eindringen konnte. Daß in unmittelbarer Nähe der Schnittfläche die Wurzelbildung, wie gesagt, oft am stärksten gefördert erschien, stimmt mit einigen Beobachtungen über Lenticellenwucherungen überein, die zuweilen in unmittelbarer Nachbarschaft der Schnittfläche einen deutlichen Vorsprung in ihrer Entwicklung erkennen lassen³⁾. An den von mir studierten Stecklingen, welche starke Rindenwucherungen entwickelten, blieb die Wurzel-

1) Welche Bedingungen für die geschilderten Unterschiede im Verhalten der Stecklinge verantwortlich zu machen sind (Unterschiede im Feuchtigkeitsgehalt der umgebenden Luft?), vermag ich nicht näher anzugeben.

2) Vgl. a. a. O. Taf. XI, Fig. 2.

3) Vgl. Pathologische Pflanzenanatomie, p. 79.

bildung nicht auf kurze Strecken beschränkt, — bei ihnen wurde, durch die Sprengung der Hautgewebe, überall an den emersen Teilen des Stecklings hinreichende Durchlüftung erreicht.

Wenn ich es hiernach für wahrscheinlich halte, daß die Durchlüftung der Gewebe von der Schnittfläche oder den durch die Rindenwucherungen entstandenen Wunden aus die Wurzelbildung befördert, so ist anderseits leicht zu zeigen, daß die Einwirkung feuchter Luft an sich schon genügt, um in ansehnlichen Entfernungen von Schnitt- oder anderen Wunden Wurzelbildung hervorzurufen, und daß Kork und Lenticellen schon das erforderliche Maß der Durchlüftung zustande kommen lassen können. Ich verpackte Stecklinge von *Gold-Ribes* in ihrer Mitte mit Watte und zog an derselben Stelle einen durchbohrten Kork über sie, der sie im Gewächshaus auf einem Wasserbecken schwimmend erhielt. Nach mehreren Wochen trat Wurzelbildung ein: an den submersen Teilen blieben die Wurzeln aus, hier störte das Wasser und der Mangel an Luft, überdies auch wohl die kühle Temperatur des Wassers¹⁾; an den obersten Teilen konnte keine Wurzelbildung eintreten, weil die Luft nicht hinreichend feucht war. Nur an den unmittelbar unter dem lockeren Watteverband liegenden Stellen und über diesem in seiner nächsten Nachbarschaft waren kurze Wurzeln entstanden; nur hier war also die umgebende Luft feucht genug, um Wurzelbildung zuzulassen. Der Versuch zeigt, daß es gelingt, beliebige Stellen des Stecklings zur Wurzelbildung anzuregen, und daß ferner die von gröblichen Verwundungen ausgehende schnelle Gewebsdurchlüftung keine *conditio sine qua non* für die Wurzelbildung darstellt.

Meine Bemühungen, die am apikalen Pol der Stecklinge entstandenen Wurzeln zu ergiebigem Wachstum zu bringen, sind bisher erfolglos geblieben. Die in feuchter Luft entstandenen apikalen Wurzeln halten sich in dieser nur kurze Zeit — bestenfalls 8—10 Tage — und gehen dann zugrunde. Bei einigen oben bewurzelten Stecklingen, die ich in inverser Stellung in lockeren, gut durchlüfteten Sand pflanzte, ließ sich wohl ihre Lebensdauer einigermaßen verlängern, aber kein ergiebiges Wachstum anregen.

Was bei *Ribes* gelingt, ist vielleicht auch bei Stecklingen anderer Gewächse erreichbar. Als meine nächste Aufgabe betrachtete

1) Aus Gründen, die sich beim weitern Verlauf meiner Untersuchungen als belanglos erwiesen, benutzte ich ein Becken mit fließendem, kaltem Leitungswasser.

ich es, Stecklinge verschiedener *Salix*-Arten und den Einfluß des Sauerstoffs auf ihre Organbildung zu untersuchen.

Daß Weidenstecklinge, die mit ihren basalen Polen im Wasser stehen, an diesem unbewurzelt bleiben und lediglich an dem von feuchter Luft umgebenen apikalen Pol Wurzeln entwickeln würden, war nicht zu erwarten; der wurzelfördernde Einfluß des Wassers auf Weidenstecklinge ist bekannt genug. Klebs¹⁾ hat sogar gezeigt, daß bei *Salix vitellina* an allen beliebigen Stellen der Zweige sich Wurzelbildung hervorrufen läßt, wenn man für genügende Durchtränkung der Rinde mit Wasser sorgt. Auch an Stecklingen von *Salix pentandra* gelang es, die Wurzelbildung am apikalen Pol zu fördern, wenn die Korksicht der Zweigstücke entfernt und die Zweige mit den entblößten apikalen Enden in Wasser gebracht werden. Anscheinend wird erst durch die Entfernung des Korkes ein hinreichend hoher Grad der Wasserdurchtränkung möglich, denn bei den mit ihrem normalen Stengelkork ausgestatteten Stecklingen von *S. pentandra* genügte die Benetzung mit Wasser noch nicht, um — entgegen der Polaritätsregel — Wurzelbildung am apikalen Pol oder an beliebigen Stellen der Zweigstücke hervorzurufen.

Wenn Klebs²⁾ gezeigt hat, „daß eine reichliche Wasserzufuhr als auslösender Reiz der Wurzelentfaltung und -bildung bei den Weiden wirkt“, so schließt das nicht aus, daß auch durch andere Faktoren ähnliche Erscheinungen an Weidenstecklingen derselben Art hervorzurufen sein können, wie bei Klebs' Versuchen durch Wasserzufuhr. Nach meinen Versuchen mit *Ribes* prüfte ich Stecklinge von *Salix pentandra* und *S. vitellina* auf ihre Empfindlichkeit dem Sauerstoff gegenüber.

Zahlreiche Zweigstücke von verschiedenem Alter und ungleicher Stärke wurden im Warmhaus in Wasser gestellt, derart, daß sie am basalen Ende — etwa bis zur Mitte hinauf — benetzt waren; die oberen Enden befanden sich in dampfgesättigter Luft. In der Höhe des Wasserspiegels waren die Stecklinge mit Watte umbunden; ich hoffte, auf diese Weise an der obersten benetzten Zone der Stecklinge die Sauerstoffzufuhr zu erleichtern und am untersten Teil der emersen Zweigabschnitte unter dem Wattebelag einen ganz besonders wasserdampfreichen Raum zustande zu bringen. Die ersten Veränderungen, die sich an den Stecklingen wahrnehmen

1) Klebs, Willkürliche Entwicklungsänderungen bei Pflanzen. Jena 1903, p. 101 ff.

2) Klebs, a. a. O., p. 106

ließen, bestanden in kräftigen Lenticellenwucherungen. Besonders reichlich und üppig erscheinen sie an stärkeren Zweigen von *Salix vitellina*. — Für uns ist von besonderem Interesse, daß an mehrjährigen Zweigen von *S. pentandra* sich die Wucherungen nicht an allen Teilen des Zweigstückes gleich schnell und üppig bilden, sondern am frühesten und am reichlichsten in der Zone des Wasserspiegels. An den Stellen, an welchen dem Steckling Wasser und Luft zur Verfügung stehen, sind anscheinend die optimalen Bedingungen für die Bildung der Lenticellenwucherungen verwirklicht. Später treten gleiche Wucherungen auch weiter oben und namentlich auch weiter unten auf. Nach einigen weiteren Tagen erscheinen die ersten Wurzeln: sie bilden sich etwa in der Höhe des Wasserspiegels, die nächstfolgenden, die 24 oder 48 Stunden nach dem Hervorbrechen der ersten sichtbar werden, erscheinen weiter unten, und so bewurzelt sich der Steckling mehr und mehr, indem die Wurzelbildung in basipetaler Richtung regelmäßig fortschreitet.

Bei *Salix vitellina* kam ich zu ähnlichen Resultaten. Einjährige und zweijährige Zweigstücke wurden bei Warmhaustemperatur in gleicher Weise vorbehandelt und in Wasser gestellt. Die jungen, schwachen Reiser zeigten Wurzelbildung zuerst in der Höhe des Wasserspiegels; es folgten weitere Wurzeln in basipetaler Richtung. An den älteren Zweigen von *S. vitellina* war der Ausschlag anderer Art; hier folgte die Wurzelbildung mehr den Regeln der Polarität.

Es scheint mir nicht zweifelhaft, daß die Bevorzugung der oberen, dem Wasserspiegel genäherten Teile unserer Stecklinge zurückzuführen ist auf die Einwirkung der Luft, des Sauerstoffs. Fraglich muß zunächst noch bleiben, ob der Gehalt des Wassers an gelöstem Sauerstoff, der in den obersten Schichten des Wassers am reichlichsten vorhanden sein dürfte, bei unsern Versuchen den Ausschlag gab, oder ob vielmehr die Durchlüftung von oben — von der Schnittfläche und namentlich von den Lenticellenwucherungen her — die Wurzelbildung an den oberen Teilen der submersen Sproßabschnitte so lebhaft förderte. Für den an zweiter Stelle genannten Erklärungsversuch scheint mancherlei zu sprechen.

Wenigstens beiläufig möchte ich an dieser Stelle einiger abnormaler Gewebbildungen Erwähnung tun, die einiges Interesse verdienen.

Werden kräftige Zweigstücke bei hoher Temperatur in Wasser gestellt, so bilden sich schon nach wenigen Tagen an den alten Blattnarben dicke Geschwülste, welche aufbrechen und ein weißes Gewebe vorquellen lassen. Die histologischen Charaktere des Gewebes zeigen nichts besonderes und kennzeichnen die Neubildung als „Rinden-

wucherung“. Interessant ist, daß diese Wucherungen nur an den Insertionsstellen der längst abgefallenen Blätter, also an den vernarbten „physiologischen Wunden“ sich bilden, die der herbstliche Laubfall mit sich bringt. Auch von andern Pflanzen her ist mir die Erscheinung wohlbekannt, daß die alten Blattnarben bei der Bildung abnormaler Gewebe bevorzugt sind. Die ersten Beobachtungen hierüber hat meines Wissens Tittmann angestellt¹⁾; die von ihm geprüften Pappelstecklinge besaßen zum Teil seitliche Narben, „welche junge abgestorbene Zweige bei ihrem Abfallen von der Hauptachse hinterlassen hatten. Die Vernarbung hatte durch Bildung einer Korkkappe stattgefunden. Unter dieser trat im feuchten Raum ebenfalls eine kallöse Wucherung ein, durch welche sie wie ein Deckel aufgehoben wurde. Die vernarbte Wunde verhielt sich in ihrer Produktion also genau so wie eine frische, unvernarbte. Die Folgen der Verwundung lassen also Bedingungen fortbestehen, welche erst späterhin noch Kallusbildung ermöglichen“. — An unsern Weidenstecklingen traten die geschilderten Narbenwucherungen besonders üppig an den Teilen der Zweigstücke an, die sich unmittelbar an der Wasseroberfläche befanden und somit gleichzeitig unter der Einwirkung des nassen Elements und des Sauerstoffes standen. Es wäre möglich, daß die Korkbedeckung an den Narbenstellen den Einfluß der äußeren Bedingungen gut zur Geltung kommen ließe, — schneller und stärker als an den übrigen Stellen. Wie wir sogleich sehen werden, sind auf allen übrigen Stellen der Stengeloberfläche, — auch den, welche mit den Wundstellen nichts zu tun haben und von typischem Stengelkork überzogen sind, zur Bildung von hyperhydrischen Geweben befähigt. Es liegt hiernach die Vermutung nahe, daß auch bei den von Tittmann beobachteten „kallösen Wucherungen“ es sich wenigstens in den ersten Phasen der abnormalen Gewebsbildung um hyperhydrische Gewebe gehandelt habe (die nur oder ganz vorwiegend durch Zellenwachstum ohne Zellteilung zustande kommen), und durch sie eine Sprengung der Korkhülle herbeigeführt worden sei, wie in den an *Salix pentandra* beobachteten Fällen.

Zweitens sind die Intumeszenzen zu erwähnen²⁾, die an den emersen, in feuchter Luft befindlichen Teilen der Stecklinge hervorbrechen. Man sieht, daß schon nach acht Tagen etwa hier und da der Stengelkork beulenartig sich vorwölbt und später aufbricht. Es entstehen eng umgrenzte Gewebewucherungen (1—3 mm Durchmesser) von geringer Höhe, die in ihrem anatomischen Bau die für die Intumeszenzen charakteristischen, oft beschriebenen Kennzeichen aufweisen. Sie beweisen uns, daß alle Teile der Stengeloberfläche zur Bildung hyperhydrischer Gewebe befähigt sind; allerdings unterscheiden sich die an den vernarbten Wundstellen entstandenen dadurch von den soeben genannten Intumeszenzen, daß jene an unsern Stecklingen³⁾ vorzugsweise an den benetzten Teilen, diese ausschließlich an den emersen Teilen beobachtet wurden. — Die üblichen Lenticellenwucherungen ließen sich, wie ich noch nachtragen möchte, bei *Salix pentandra* sowohl an den benetzten, wie an den trocknen Teilen sehr reichlich und üppig beobachten.

1) Tittmann, Physiologische Untersuchungen über Kallusbildung an Stecklingen holziger Gewächse. Jahrb. f. wiss. Botan., 1895, Bd. XXVII, p. 171.

2) Vgl. Pathologische Pflanzenanatomie, p. 83 ff.

3) Nicht in allen Fällen scheint den Beziehungen der hyperhydrischen Gewebe in feuchter Luft oder zu Wasser spezifische Bedeutung zuzukommen. Olufsen (Untersuchungen über Wundperidermbildung an Kartoffelknollen. Beih. z. Botan. Zentrabl. 1903, Bd. XV, p. 269) beobachtete Lenticellenwucherungen an Kartoffelknollen auch bei Benetzung ihrer Oberfläche mit Wasser; an den von mir studierten Rassen (a. a. O., p. 78) traten die Wucherungen nur in feuchter Luft, nie an den benetzten Teilen auf.

Eine nähere experimentelle Untersuchung der geschilderten Gewebsbildungen wurde nicht vorgenommen. — Bei *Salix vitellina* vermißte ich sowohl die Narbenwucherungen als auch die Intumeszenzen.

II. Einfluß des Zentrifugierens.

Bei meinen Versuchen, durch Zentrifugieren die Organbildung zu beeinflussen, kamen verschiedene Methoden zur Anwendung, von welchen ich hier nur eine schildern will. Das Verfahren, das mir bei der Mehrzahl meiner Versuche diente, war folgendes:

In Kliniken, physiologischen Instituten usw. werden bei Harnuntersuchungen und dergl. vielfach kleine, spiralgängige Zentrifugen benutzt, bei welchen die mit Harn usw. gefüllten Röhren in Aluminiumhülsen gesteckt werden. Wird die Zentrifuge in Betrieb gesetzt, so spreizen sich die Aluminiumhülsen horizontal ab und kreisen mit beträchtlicher Geschwindigkeit in einer horizontalen Ebene.

Bei der Mehrzahl der Objekte, die ich im nachfolgenden zu schildern habe, verfuhr ich derart, daß die Stengelstücke, Wurzelstecklinge usw. direkt in die Aluminiumhülsen verbracht wurden, in einigen andern Fällen mußten die Objekte erst auf steifen, widerstandsfähigen Unterlagen — auf schmalen Holzleisten oder dergl. — befestigt werden, bevor sie in die Hülsen eingelassen werden konnten.

Meine Versuche wurden mit den verschiedensten Objekten und zu verschiedenen Jahreszeiten — während der letzten beiden Semester — angestellt. Die Resultate sind gleichwohl nur spärlich. Ich darf mich daher darauf beschränken, einige meiner Versuchserien kurz zu schildern; etwas eingehender sollen nur die an *Salix*-Zweigen gesammelten Erfahrungen besprochen werden.

Wir werden uns vor allem die Fragen vorlegen, ob überhaupt durch Zentrifugieren die Organbildung sich merklich beeinflussen läßt; ferner — ob ein Unterschied erkennbar ist zwischen Objekten, auf welche die Fliehkraft in akropetaler oder basipetaler Richtung eingewirkt hat, und ob eine Nachwirkung der Zentrifugenbehandlung sich konstatieren läßt. Wir wollen versuchen, wenigstens einige kleine Beiträge zur Beantwortung dieser und einiger anderer Fragen hier zu liefern.

a) Stecklinge von *Coleus*.

Einige Stengelstücke von *Coleus* (Länge 9—11 cm) wurden ihrer Blätter und der allzu langen Seitensprosse beraubt und zum

Zweck des Zentrifugierens in den Aluminiumhülsen untergebracht. Je zwei Sproßstücke wurden akropetal und basipetal zentrifugiert, weitere Exemplare ohne Zentrifugenbehandlung ins Wasser gestellt und sich selbst überlassen. Sowohl die akropetal als auch die basipetal zentrifugierten Stücke wurden ebenso wie die Kontroll-exemplare mit ihrem Basalende in Wasser gestellt. — Die Zentrifuge wurde täglich zweimal je zwei Minuten gedreht; in der Minute machte die Zentrifuge über 1500 Umdrehungen.

Bekanntlich lassen sich *Coleus*-Pflanzen sehr leicht durch Stecklinge vermehren: Sproßstücke, in feuchten Sand oder Wasser gestellt, bewurzeln sich außerordentlich schnell. Dementsprechend sah ich am benetzten Basalpol einiger Stecklinge schon zweimal 24 Stunden nach Beginn der Versuchsanstellung Wurzeln hervorbrechen — allerdings nur an den beiden nicht zentrifugierten Individuen. Die ersten Wurzeln entstanden an den Kanten der Stengel, im Lauf der folgenden Tage brachen an beliebigen Stellen noch weitere Wurzeln hervor, meist in allernächster Nähe der Wundfläche. Am 10. Tage zählte ich 10—12 Wurzeln, deren längste schon mehrere Zentimeter maßen. Die zentrifugierten Objekte bewurzelten sich erst eine Woche später als die andern; erst am 10. Versuchstage entdeckte ich an den Wurzelpolen der Stengelstücke einige sehr kleine Würzelchen¹⁾. Es besteht kein Zweifel, daß die Wurzelbildung der *Coleus*-Stecklinge durch das Zentrifugieren stark verzögert worden ist.

Das Zentrifugieren wurde nach Bewurzelung aller Stücke eingestellt und an allen das basale Ende um etwa 1 cm zurück-

1) Die akropetal und basipetal zentrifugierten Objekte verhielten sich dabei nicht völlig gleich: bei den basipetal zentrifugierten war die Wurzelbildung noch erheblich schwächer als bei den andern und am 10. Versuchstage nur bei Lupenuntersuchung nachweisbar. Daß dabei die unterschiedliche Richtung, in der die Zentrifugenkraft auf unsere Objekte gewirkt hat, entscheidend sei, halte ich für wenig wahrscheinlich; vielmehr glaube ich, daß bei den basipetal zentrifugierten die Schädigung des Wurzelpoles und der basalen Wundfläche besonders groß gewesen ist, da das ganze Gewicht des Sproßstückes während des Zentrifugierens auf eben jenem wurzelbildenden Ende lastete, mit dem es direkt auf den Boden der Aluminiumhülse aufstieß. Das Gewebe des Stengels war auch an seinem unteren Ende ein wenig verfärbt und zum Teil abgestorben. — Daß andererseits nicht diesen Quetsch- und Stoßwirkungen ausschließlich die Verzögerung der Wurzelbildung zuzuschreiben ist, lehrt der Vergleich mit den akropetal zentrifugierten Stücken, deren Wurzelpole in den Aluminiumhülsen beim Zentrifugieren dem Zentrum des von den Stecklingen beschriebenen Kreises zugewandt waren und daher ganz unbeschädigt bleiben mußten.

geschnitten. Die neue Wurzelbildung trat bei allen Exemplaren ungefähr gleichzeitig ein; zwischen den akro- und den basipetal zentrifugierten ließ sich keinerlei unterschiedliche Nachwirkung des Zentrifugierens erkennen.

b) Wurzelstecklinge von *Scorzonera hispanica* und
Taraxacum officinale.

Wurzelstücke von verschiedener Länge wurden in gleicher Weise wie die früher geschilderten Objekte zentrifugiert — täglich zweimal je zwei Minuten. Während die nicht zentrifugierten Stücke schon nach wenigen Tagen hier und da frische Wurzeln trieben, blieben diese an den zentrifugierten aus. Nach einer Woche wurde das Zentrifugieren eingestellt.

Eine Nachwirkung des Zentrifugierens machte sich daran erkennbar, daß die Sprosse, die im Laufe der nächstfolgenden Woche hervorbrachen, an den zentrifugierten Objekten erheblich schwächer ausfielen als an den nicht zentrifugierten.

Versuche mit Wurzelstecklingen von *Taraxacum* lehrten nichts neues. Die Stücke wurden so lange zentrifugiert, bis Sproßbildung an den basalen (d. h. dem Wurzelhals zugewandten) Polen der Stecklinge eintrat. Bei den zentrifugierten Exemplaren erfolgte die Sproßbildung erheblich später als bei den nichtzentrifugierten und fiel nicht so kräftig aus wie bei diesen.

c) Zweigstücke von *Salix*.

Von den verschiedenen Weidenarten, auf die sich die nachfolgenden Mitteilungen beziehen, lieferte *Salix vitellina* die auffälligsten Resultate; sie mag daher an erster Stelle zur Besprechung kommen.

Zur Untersuchung kam bei einer meiner ersten Versuchsserien mit der genannten Spezies eine beschränkte Anzahl (12) von einjährigen Zweigstücken, die sich bequem — in zwei Gruppen verteilt — in den beiden Aluminiumhülsen unterbringen ließen. Die Länge der Versuchsobjekte betrug etwa 11 cm; bevorzugt wurden Zweigstücke mit dicht gestellten Knospen, sodaß jedes Stück etwa 7—12 Knospen aufzuweisen hatte.

Der Versuch wurde nun derart angestellt, daß die Hälfte der Zweigstücke zum Zweck des Zentrifugierens in normaler Stellung, d. h. mit dem Sproßpol nach oben, mit dem Wurzelpol nach unten

gewandt, in die eine der Aluminiumhülsen gebracht wurde, — die zweite Gruppe der Objekte in inverser Stellung, d. h. mit dem Wurzelpol nach oben, in der andern Hülse ihren Platz fand. Während des Betriebs der Zentrifuge spreizen sich die in der Ruhelage senkrecht herabhängenden Aluminiumhülsen horizontal ab, und es leuchtet ein, daß die in normaler Stellung eingebrachten Zweigstücke basipetal, die invers hineingestellten dagegen akropetal zentrifugiert werden. Es wird sich also Gelegenheit bieten, die Wirkung des Zentrifugierens an zwei verschieden behandelten Zweigbündeln zu vergleichen.

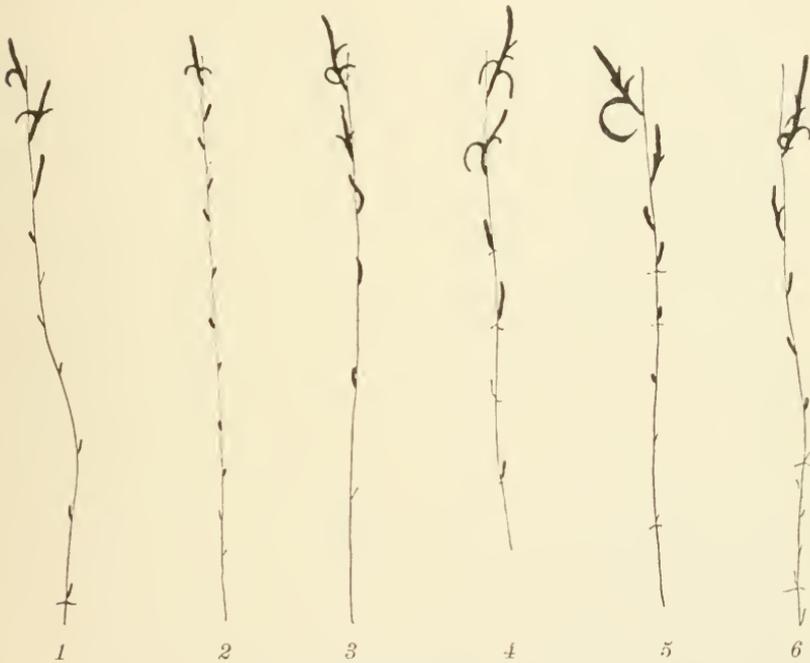
Die Objekte wurden täglich zweimal je fünf Minuten in der angegebenen Weise zentrifugiert, die übrige Zeit verblieben sie auf einer Schale oder einem Teller unter einer Glasglocke im feuchten Raum in horizontaler Lage, sodaß das gelegentlich aufgeschüttete Wasser an allen Teilen der Zweige gleichmäßig einwirken konnte. — Die Zentrifuge machte in der Minute über 1500 Umdrehungen, wie in den früher geschilderten Versuchen.

Obwohl die Objekte — abgesehen von den zehn Minuten der Zentrifugenbehandlung — im Warmhaus belassen wurden, entwickelten sie sich nur langsam; erst nach Ablauf der ersten Woche schickten sich einige Knospen zum Entfalten an. Der Versuch, den ich der nachfolgenden Schilderung zugrunde lege, begann am 2. Januar 1904; am 17. Januar zeigten sich folgende Veränderungen:

Die Wurzelbildung war im allgemeinen recht schwach geblieben, die Entfaltung der Seitensprosse verhältnismäßig energisch vor sich gegangen. Besonders auffallend waren an den basipetal zentrifugierten Objekten die langen, frischgrünen, blätterreichen Triebe: die äußersten Blätter hatten sich zurückgespreizt, die inneren waren zu einer spitzen, bis 2 cm langen Knospe vereinigt. Auch die zweite Knospe ist gut entfaltet und bei den meisten Zweigstücken treiben auch bereits die dritte und vierte Knospe aus; in allen Fällen aber hat die oberste einen deutlichen Vorsprung in der Entwicklung und der Grad der Entfaltung der nach unten folgenden Knospen nimmt von einer zur andern mit fast schematischer Deutlichkeit ab. Die untersten Knospen sind noch durchweg unverändert, die Wurzelbildung äußerst spärlich.

Um die genannten Veränderungen meiner Objekte zu veranschaulichen, bediene ich mich der primitiven Schemazeichnungen von Fig. 1 und 2. Die Achsen der Zweigstücke sind durch verti-

kale Linien angedeutet, die den Zweigstücken ansitzenden Knospen sind durch kurze oder lange, dicke oder dünne, nach oben divergierende Seitenstriche wiedergegeben und veranschaulichen durch ihre Länge den Grad der Entfaltung, den die Knospen bereits erreicht haben; bei den durch dünne Striche angedeuteten Knospen sind überhaupt noch keine Anzeichen der Entfaltung erkennbar. An den obersten Knospen sind auch die zurückgerollten Laubblätter angedeutet. Die Wurzeln endlich sind durch kurze horizontale Striche wiedergegeben; sie treten fast immer paarweise in der nächsten Nachbarschaft der Knospen auf.



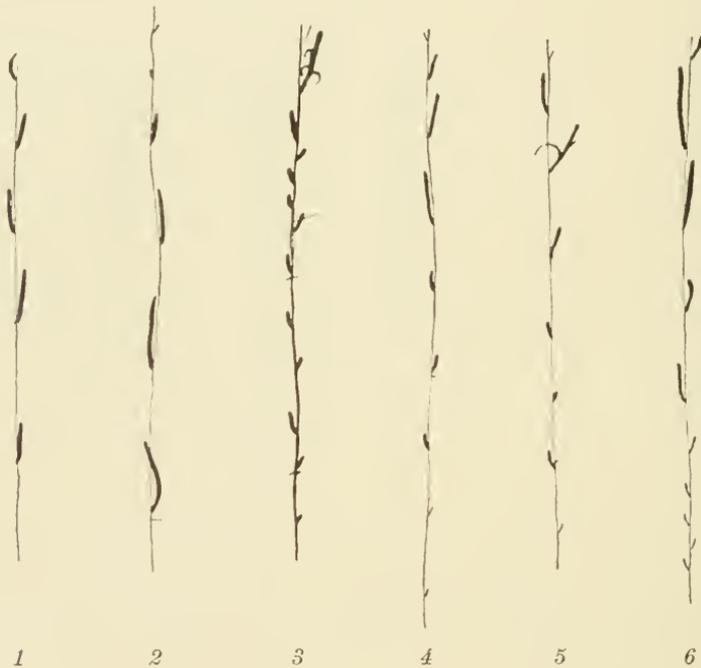
Figur 1.

Basipetal zentrifugierte Stecklinge von *Salix vitellina*. — Schema.

Die individuellen Verschiedenheiten, die an den sechs Zweigstücken erkennbar werden, erklären sich durch die Schemazeichnung von selbst.

Von Interesse ist der Vergleich der ersten Figur mit der nächstfolgenden, welche sechs akropetal zentrifugierte Zweigstücke veranschaulichen soll. Wir erkennen, daß an vier Trieben die oberste Knospe nicht ausgetrieben ist: sie befindet sich zwar an allen Zweigstücken anscheinend in gutem, lebensfähigem Zustand,

aber sie hat sich nicht geöffnet. Nur an zwei Exemplaren (1 und 6) hat die oberste Knospe sich entfaltet, die aus den obersten Knospen bei 1 und 6 entstandenen Sprosse sind aber keineswegs die üppigsten und längsten der betreffenden Zweigstücke, bei 6 sehen wir deutlich, daß die zweitoberste Knospe einen sehr viel üppiger entfalteten Sproß geliefert hat. Während bei den zuerst geschilderten, basipetal zentrifugierten Zweigstücken stets die obersten Knospen in ihrer Entwicklung einen Vorsprung vor den übrigen erkennen ließen, erscheint bei den akropetal zentrifugierten Stücken



Figur 2.

Akropetal zentrifugierte Stecklinge von *Salix vitellina*. — Schema.

die Stelle des Zweiges, an welchem optimale Bedingungen für die Achselsproßentfaltung verwirklicht sind, nach unten (basipetal) verschoben. Bei 6 hat die (von oben gezählt) zweite Knospe den kräftigsten Trieb geliefert; Zweigstück 3, das ein besonders kräftiges Exemplar darstellt, hat alle Knospen außer der obersten zur Entwicklung gebracht, den stärksten Sproß lieferte auch hier die zweite Knospe. Sproßstück 5 verhält sich insofern abweichend, als bei ihm der stärkste Seitensproß noch ein Internodium tiefer liegt, ähnlich verhält sich No. 4; bei No. 1 sind der dritte und vierte

Sproß die kräftigsten. Schließlich finden wir im Zweigstück 2 insofern einen extremen Fall verwirklicht, als hier der unterste aller Triebe am kräftigsten sich entwickelt hat; die Sprosse, die aus den Achselknospen hervorgegangen sind, werden immer kleiner, je näher sie dem oberen Ende unseres Zweigstückes, seinem „Sproßpol“, liegen. Am Wurzelpol sind also bei diesem Individuum die günstigsten Bedingungen für die Sproßentfaltung wirksam gewesen.

Die Schilderung der Wurzelbildung an den akropetal zentrifugierten Zweigstücken wird uns nicht lange aufhalten; auch bei dieser Serie von Versuchsobjekten ist die Wurzelbildung äußerst spärlich. Näheres ergibt sich aus der Figur.

Alles, was über die Sproßbildung der akropetal zentrifugierten Objekte zu sagen war, steht im Widerspruch mit den bekannten Erscheinungen, in welchen die von Vöchting und vielen andern Autoren eingehend studierte „Polarität“ ihren normalen Ausdruck findet. Der Ort optimaler Bedingungen für die Sproßbildung erscheint an ihnen — wie gesagt — nach dem Wurzelpol zu verschoben; anderseits fällt uns aber auch auf, daß an den basipetal zentrifugierten Stücken die „Polarität“ des Weidenstecklings womöglich noch drastischer zum Ausdruck kommt als an nichtzentrifugierten Stecklingen, insofern als bei jenen der Vorsprung der obersten Knospe besonders groß ist.

Bei einem Versuch, die geschilderten Befunde zu erklären, liegt es vielleicht am nächsten, an die bei den zwei Gruppen von Versuchsobjekten in verschiedener Richtung wirkende Fliehkraft zu denken und an die intrazellularen Veränderungen, die nach den Untersuchungen verschiedener Autoren¹⁾ durch die Zentrifugenbehandlung veranlaßt werden; bei den akropetal zentrifugierten Stücken werden alle spezifisch schwereren Anteile des Zelleninhalts nach dem apikalen Pol, die spezifisch leichteren nach dem basalen Pol der Zelle hin verlagert werden; bei den basipetal zentrifugierten erfolgen die Translokationen im entgegengesetzten Sinne. Es wäre vorstellbar, daß die Verlagerung der Inhaltkörper die Organbildung der Stecklinge in der geschilderten Weise beeinflusste. Mir scheint, daß eine einfachere Erklärung die treffende sein wird.

1) Literatur bei Andrews, Wirkung der Zentrifugalkraft auf Pflanzen. Jahrb. f. wiss. Botan., 1902, Bd. XXXVII, p. 1.

Wie die früher geschilderten Befunde gezeigt haben, wurden durch das Zentrifugieren die Prozesse der Organbildung gehemmt, verlangsamt. Es ist anzunehmen, daß die Hemmungen um so beträchtlicher werden, je größer die auf den Zellenleib wirkende Fliehkraft wird. Die Größe der Fliehkraft wächst aber mit dem Radius der von den zentrifugierten Objekten durchmessenen Kreisebene. Es ist nun leicht ersichtlich, daß bei Objekten von beträchtlicher Länge, wie unseren Weidenstecklingen, die Fliehkraft, die auf die Zellen des apikalen und basalen Poles einwirkt, sehr ungleich groß sein muß. Stellen wir einen Steckling in normaler Stellung in eine der Aluminiumhülsen, so beschreibt sein basales Ende einen sehr viel größeren Kreis als sein apikaler Pol; in unsern Versuchen war für den basalen Pol $r = 14$ cm, für den apikalen $r = 3$ cm. Da nun die Fliehkraft bei gleicher Umlaufzeit proportional dem Radius wächst, sind in unserm Falle die basalen Zellen einer viel stärkeren Schädigung ausgesetzt gewesen als die am apikalen Pol gelegenen. Umgekehrt werden bei Stecklingen, die in inverser Stellung, also akropetal, zentrifugiert werden, die Zellen des apikalen Poles die stärkste Schädigung erfahren. Ich nehme daher an, daß die Verzögerung der Sproßbildung am apikalen Pol akropetal zentrifugierter Stecklinge sich dadurch erklärt, daß auf diejenigen Knospen, welche nach den Regeln der Polarität am frühesten treiben sollten, eine so starke Schädigung durch das Zentrifugieren ausgeübt wird, daß selbst die günstigen Konstellationen der „inneren“, nicht näher bekannten Bedingungen, auf die wir die „Polarität“ zurückführen, der Entwicklung der obersten Knospen nicht den gewohnten Vorsprung mehr geben können. Die für die Sproßbildung optimalen Bedingungen sind nicht mehr am apikalen Pol verwirklicht, wie bei nicht zentrifugierten Objekten, sondern nach unten an Stellen verschoben, an welchen die Fliehkraftschädigung auf die Zellen nicht mehr so intensiv wirkt.

Bei basipetal zentrifugierten Objekten werden die Schädigungen der Zellen am basalen Pol am größten werden, am kleinsten sind sie oben am apikalen Ende. Die Sproßbildung am apikalen Pol dieser Stecklinge wird also nicht nur begünstigt durch die inneren „Polaritätsbedingungen“ — um es kurz zu sagen —, sondern auch noch durch den Umstand, daß an allen andern Teilen des Stecklings die Fliehkraftschädigung größer sein muß als eben am apikalen Pol. Beide Faktoren wirken hier — im Gegensatz zu dem vorigen

Fall — in gleichem Sinne auf die Sproßbildung ein, indem sie beide optimale Bedingungen am apikalen Pol zustande kommen lassen.

Ahnliche Versuchsserien wie die oben ausführlich geschilderte wurden zu verschiedenen Zeiten während des Winters wiederholt. Im allgemeinen kann ich nach den bisher vorliegenden Ergebnissen mich dahin aussprechen, daß die Beeinflussung der Polarität, soweit sie sich in der lokalen Förderung der Sproßbildung ausspricht, umso weniger gelingt, je später im Winter der Versuch angestellt wird. Ende Januar und im Laufe des Februar wurden verschiedene Versuche mit *Salix vitellina* angestellt, die in ihren Resultaten zwar mit dem früheren übereinstimmten, aber die Sproßbildung nicht so sinnfällig beeinflußt zeigten.

In einer Versuchsreihe kamen ganz kurze Zweigstücke von *Salix vitellina* zur Verwendung. An den Objekten befanden sich nur zwei oder drei Knospen, Sproßpol und Wurzelpol waren einander also sehr nahe.

Die Objekte wurden in derselben Weise behandelt wie die früher geschilderten, nach 9 Tagen wurde der Versuch abgestellt. Es zeigte sich, daß alle Knospen der zwölf Zweigstücke getrieben hatten, bei allen war die oberste Knospe am kräftigsten entwickelt — entsprechend den normalen Äußerungen der „Polarität“. Der einzige Unterschied zwischen den sechs akropetal und den sechs basipetal zentrifugierten Stücken bestand darin, daß bei letzteren die sproßpolständige Knospe sehr kräftig, die wurzelpolständige oft nur sehr wenig getrieben hatte. Bei den akropetal zentrifugierten war der Vorsprung der oberen Knospen zwar unzweideutig erkennbar, aber geringer als bei den andern Objekten: es waren bei den akropetal zentrifugierten Stücken die basalen Knospen weiter entwickelt als bei den basipetal zentrifugierten. — Wurzelbildung war am 9. Tage noch nirgends erkennbar.

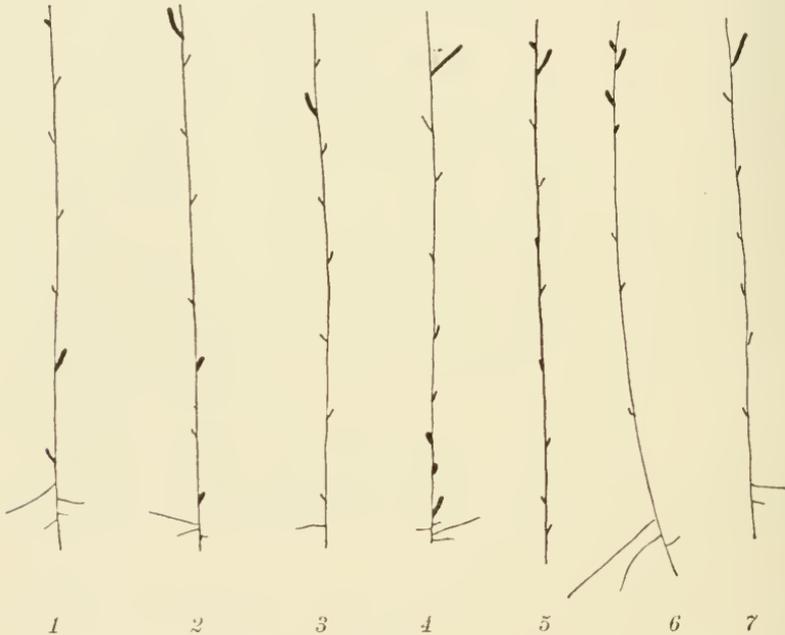
Die Resultate sind nicht entfernt so eklatant wie die an langen Sproßstücken erzielten und bringen nichts wesentlich Neues. Im wesentlichen aber entspricht das Verhalten der Objekte dem, was sich nach den früher geschilderten Ergebnissen erwarten ließ. —

Im Februar wurden noch einmal lange Zweigstücke (10—12 cm) basipetal zentrifugiert (*Salix vitellina*). An der Hälfte der Sproßstücke war die oberste Knospe die kräftigste, bei der andern Hälfte war sie in ihrem Wachstum überholt worden von der zweiten.

Zur Erklärung der im Vorfrühling gewonnenen Erfahrungen möchte ich annehmen, daß die Zeit, während welcher die Objekte zentrifugiert wurden, nicht hinreichend lang war, und die zum Treiben sich anschickenden Knospen nicht mehr den ausreichenden Grad von Schädigung erfuhren: im Februar treiben die Knospen der in Warmhaustemperatur verbrachten Zweigstücke sehr viel schneller als etwa im Dezember.

Noch zwei Fragen vor allem sind zu erörtern: die Versuche von Klebs sowie meine eigenen zeigen, daß bei *S. vitellina* die Äußerungen der Polarität sich leichter unterdrücken lassen als bei manchen andern Arten. Es wäre zu untersuchen, ob die an *S. vitellina* gelungenen Experimente in gleicher Weise sich auch an andern Arten durchführen lassen.

Zweitens wäre zu erörtern, ob gleich der Sproßbildung auch die Wurzelbildung der Weidenstecklinge sich durch das Zentri-



Figur 3.

Akropetal zentrifugierte Stecklinge von *Salix viminalis*. — Schema.

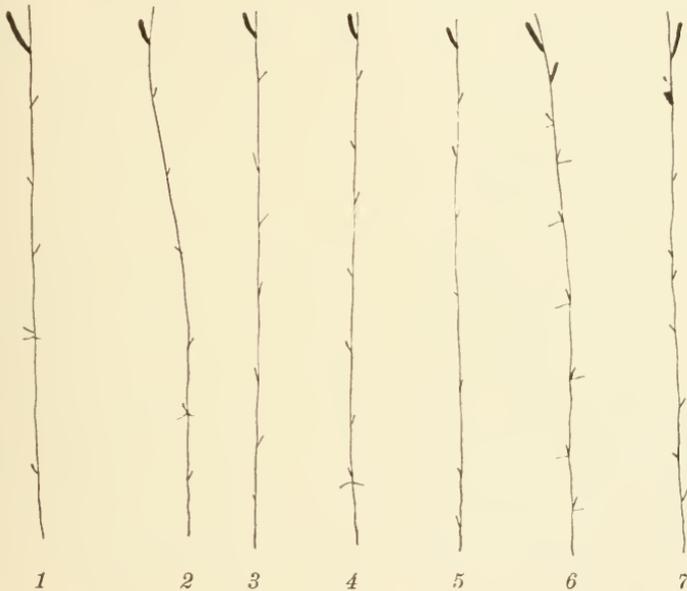
fugieren beeinflussen läßt. — Ich beginne mit der Erörterung des zweiten Punktes.

Nach den Erfahrungen an *Coleus* und *Scorzonera* ist von vornherein als wahrscheinlich anzunehmen, daß auch die Wurzelbildung sich durch Zentrifugieren wird hemmen lassen. Wenn unser Erklärungsversuch, in dem wir eine ungleich starke Schädigung der vom Mittelpunkt des Schwingungskreises ungleich weit entfernten Sproßabschnitte annehmen, zutreffend ist, so wird zu erwarten sein, daß akropetal zentrifugierte Stücke, deren apikale Enden eine große, und deren basale Enden eine kleine Peripherie zu durchmessen haben, gleichzeitig mit der früher geschilderten Hemmung

der Sproßbildung am apikalen Ende eine bessere Ausbildung der Wurzeln am basalen Pol zeigen werden als die basipetal zentrifugierten, deren basale Enden mit großem Radius kreisen und daher starke Schädigung erfahren.

Ich kann hier nur auf eine Versuchsserie verweisen.

Daß *Salix vitellina* an den zentrifugierten Stücken nur schwache Wurzelbildung zeigte, war schon oben zu erwähnen; diese Spezies scheint daher wenig geeignet, um akropetal und basipetal zentrifugierte Stücke auf ihre Wurzelbildung hin miteinander zu vergleichen. Eine geeignetere Spezies fand ich in *S. viminalis*.



Figur 4.

Basipetal zentrifugierte Stecklinge von *Salix viminalis*. — Schema.

Der Versuch, dessen Ergebnisse durch die beiden Schemazeichnungen (Fig. 3 und 4) veranschaulicht werden sollen, wurde im Dezember angestellt und 15 Tage hindurch fortgeführt. Zwei Serien von Stecklingen (je 7 Stück) wurden täglich zweimal je 5 Minuten in der früher geschilderten Weise zentrifugiert, — die eine Gruppe akropetal, die andere basipetal. Fig. 3 veranschaulicht den Zustand der akropetal zentrifugierten nach 15tägiger Behandlung. Bei allen sind Knospen im oberen Teil des Stecklings ausgetrieben, aber nicht bei allen die oberste am kräftigsten; bei drei Stecklingen ist die zweite Knospe auffällig gefördert (3, 5, 6);

bemerkenswert ist, daß bei drei Stecklingen (1, 2, 4) auch am unteren Pol einige Knospen schon zu treiben begonnen haben. — Alle Stecklinge sind ferner am basalen Pol bewurzelt.

Vergleichen wir nun damit die Gruppe der basipetal zentrifugierten Objekte. Alle Stecklinge haben am apikalen Ende getrieben: entweder die oberste Knospe ist ausschließlich zur Entfaltung gekommen, oder sie ist deutlich gefördert. Nirgends finden sich an den basalen Enden entfaltete Knospen. Die Wurzelbildung ist äußerst spärlich; kein einziges Exemplar hat so wohlentwickelte Wurzeln wie die Exemplare der ersten Gruppe; nur hier und da (namentlich bei No. 6) sind kleine Würzelchen erkennbar, mehrere Stecklinge (3, 4, 7) sind noch völlig wurzellos.

Die hier geschilderten Versuche zeigen vielerlei. Vor allem beweisen sie, daß auch die Wurzelbildung an *Salix*-Stecklingen durch Zentrifugieren sich beeinflussen läßt. Daß die Wurzeln an den basipetal zentrifugierten Objekten fast völlig fehlen und an den akropetal zentrifugierten leidlich gut entwickelt sind, entspricht dem, was die Erfahrungen über Sproßbildung erwarten ließen, und läßt sich in der gleichen Weise erklären, wie die früher geschilderten Befunde. Während wir bei den Stecklingen von *Salix vitellina* den Ort optimaler Bedingungen für die Sproßbildung ziemlich tief am Steckling hinabsinken, in einem Falle sogar den basalen Pol erreichen sahen, finden wir bei *Salix viminalis* an basipetal zentrifugierten Stücken den Ort der Wurzelbildung nicht nach oben verschoben; in den Fällen, in welchen durch basipetales Zentrifugieren die Wurzelbildung am basalen Pol erschwert wird, sehen wir die Wurzelbildung vielmehr so gut wie ganz ausbleiben.

Zweitens zeigen die Versuche, daß nicht nur bei *S. vitellina*, sondern auch bei *S. viminalis* durch akropetales Zentrifugieren der Ort der für Sproßbildung optimalen Bedingungen nach unten verschoben werden kann. Freilich ist das Ergebnis nicht so prägnant wie bei *S. vitellina*, denn nicht bei allen Stücken gelang die Unterdrückung oder Überholung der obersten Knospe. Versuche, die ich Anfang Februar mit *S. viminalis* anstellte, ergaben ähnliche Resultate: an ca. 20 Stecklingen (die zweimal täglich mindestens je 10 Minuten lang akropetal zentrifugiert wurden) hatten nach Ablauf von etwa 8 Tagen bei der Hälfte der Exemplare die obersten Knospen sich am kräftigsten entfaltet, bei der andern Hälfte hatten die zweiten Knospen einen Vorsprung. Die Beobachtungen über die Wurzel- und Sproßbildung an *viminalis*-Stecklingen ergeben

jedenfalls übereinstimmend, daß die Polarität auch an den zentrifugierten Exemplaren in ausgesprochenstem Maße noch zu ihrem Rechte kommt; bei *vitellina*-Stecklingen sind die durch die „Regeln“ der Polarität für Wurzel- und Sproßbildung prädestinierten Orte minder fest fixiert; Klebs' Beobachtungen über Wurzelbildung (a. a. O.) wie die meinigen über Wurzel- und Sproßbildung ergänzen und bestätigen sich in diesem Punkte gegenseitig.

Ich erwähnte bereits, daß an den akropetal zentrifugierten Stecklingen von *Salix viminalis* zuweilen außer den obersten Knospen noch am basalen Ende einige sich entfalten. Es wäre möglich und sehr wohl in Einklang zu bringen mit unserer oben versuchten Erklärung, wenn wir auch diese Erscheinung als Folge der Zentrifugenbehandlung ansprechen wollten. Man könnte annehmen, daß an einem akropetal zentrifugierten Stecklinge zwei Orte „optimaler“ Bedingungen für Sproßbildung sich fänden: der eine bedingt durch innere, nicht näher bekannte Konstitutionsverhältnisse, die unter normalen Verhältnissen die typischen Äußerungen der Polarität veranlassen, und am apikalen Pol die Sproßbildung befördern; — der andere an derjenigen Stelle, an welcher durch das Zentrifugieren die geringste Schädigung der Zellen veranlaßt wird, also am basalen Pol der (akropetal zentrifugierten) Stecklinge. Ich beschränke mich darauf, diese Erklärungsmöglichkeit anzudeuten; an keiner der andern von mir untersuchten Serien beobachtete ich bisher etwas analoges, sodaß ich meinen Erklärungsversuch nicht durch Beobachtungen verwandter Art stützen kann.

Zum Schluß wäre noch auf die Frage einzugehen, ob sich an den zentrifugierten Weidenstecklingen eine Nachwirkung der Behandlung geltend macht, d. h. ob die obersten Knospen, die durch akropetales Zentrifugieren ins Hintertreffen gekommen und von andern Knospen überholt worden sind, die ihnen vorausgeeilten Triebe durch lebhaftes Wachstum wieder einholen, wenn die Stecklinge nicht mehr zentrifugiert werden und in Ruhe ihrer weiteren Entwicklung überlassen bleiben.

Wenn man die Stecklinge nach Beendigung der Zentrifugenbehandlung unter günstigen Lebensbedingungen sich überläßt, entwickeln sich die Triebe oft so üppig, daß es nach einer Reihe von

Tagen nicht mehr ganz einfach ist, zu entscheiden, ob die unteren Knospen noch, oder die oberen schon als die kräftigeren zu bezeichnen sind. So viel ist sicher, daß eine Nachwirkung besteht, und daß in vielen Fällen mindestens eine Woche lang der Vorsprung der unteren Knospen noch unausgeglichen bleibt. In einigen Fällen konnte ich eine sehr nachhaltige Schädigung konstatieren, die selbst nach mehreren Wochen offenbar noch wirksam blieb.

Außer *S. vitellina* und *S. viminalis* wurden noch andere Weidenarten geprüft, jedoch ohne nennenswerte Ergebnisse. Bei keiner von ihnen ließ sich bisher eine Beeinflussung durch das Zentrifugieren mit Sicherheit nachweisen — auch bei *S. pentandra* nicht, auf die ich große Hoffnungen gesetzt hatte.

d) Blätter von *Cardamine pratensis*.

Isolierte *Cardamine*-Blätter, auf deren Spreiten bekanntlich sich Adventivtriebe entwickeln, schienen mir zur Beantwortung verschiedener Fragen geeignet, und wurden daher in zahlreichen Versuchsserien und zu verschiedenen Jahreszeiten unter Anwendung verschiedener Versuchstechnik beobachtet. Die an *Cardamine* gewonnenen Ergebnisse sind gleichwohl spärlich geblieben.

Zunächst läßt sich konstatieren, daß die Bildung der Adventivtriebe durch das Zentrifugieren verzögert wird; auch bei denjenigen Blättchen, die täglich nur zweimal je drei Minuten zentrifugiert wurden, war der Unterschied von den nicht zentrifugierten deutlich erkennbar.

Zweitens ist zu bemerken, daß mir bei fast allen Versuchsserien ein Unterschied zwischen akropetal und basipetal zentrifugierten Exemplaren auffiel, — derart, daß bei den basipetal zentrifugierten Objekten die Hemmung der Organbildung geringer war als bei den akropetal zentrifugierten. Trotz der großen Zahl der von mir zentrifugierten *Cardamine*-Blättchen möchte ich doch noch Bedenken tragen, die geschilderten Unterschiede zwischen akropetal und basipetal zentrifugierten Objekten schon jetzt als gesetzmäßig wiederkehrende, durch die Richtung des Zentrifugierens bedingte Erscheinung anzusprechen. Es ist außerordentlich schwer, völlig gleichartige Blättchen und völlig vergleichbares Material für die Versuche zusammenzustellen. Der Einfluß des Zentrifugierens

als solcher wird sich während der ganzen Versuchsdauer für die Adventivtriebe fühlbar machen, die Wirkung der Richtung, in der die sproßtragenden Blättchen zentrifugiert werden, aber voraussichtlich nur in den ersten Tagen; denn der heranwachsende Adventivsproß macht sich mit jedem Tage unabhängiger von seinem Mutterblatt. Aus diesem Grunde wird es ganz besonders notwendig sein, bei Versuchen an *Cardamine* völlig gleichwertiges Material zur Hand zu haben¹⁾.

Ich hoffe, die Versuche mit *Cardamine* später in größerem Maßstab wieder aufnehmen zu können.

Unsere Untersuchungen über den Einfluß des Zentrifugierens auf die Organbildung der Pflanzen sind mit den oben geschilderten Experimenten nur zu einem vorläufigen Abschluß gelangt. Aus den bisher vorliegenden Ergebnissen folgern wir zunächst:

1. Durch Zentrifugieren läßt sich die Organbildung der Pflanzen in deutlich erkennbarer Weise beeinflussen: alle Befunde an zentrifugierten Objekten lassen sich auf Hemmung und Lokalisation der Organbildungsvorgänge zurückführen.

2. Schon bei Zentrifugieren von sehr kurzer Dauer (zweimal zwei Minuten am Tag) werden an manchen Objekten die Hemmungen deutlich.

3. Die Hemmungen bestehen auch nach Beendigung der Zentrifugenbehandlung tagelang, unter Umständen wohl auch wochenlang noch fort.

1) Wenn die beobachteten Unterschiede zwischen akropetal und basipetal zentrifugierten Blättchen sich nicht auf Ungleichartigkeit des Materials zurückführen lassen sollte — ich muß diese Frage offen lassen —, so läge hier etwas von den früher geschilderten Unterschieden anscheinend prinzipiell verschiedenes vor. Denn bei den *Cardamine*-Blättchen ist die Ausdehnung des einzelnen Objektes eine sehr geringe (manchmal nur 0,5 cm); es ist also anzunehmen, daß die Zentrifugenschädigung auf alle Teile gleich stark wirkt. Überdies habe ich Versuche angestellt, bei welchen der Abstand der Blättchen vom Mittelpunkt des Schwingungskreises sehr ungleich groß war. — Unter diesen Umständen läßt sich an die Möglichkeit denken, daß hier die unterschiedliche Richtung selbst, die Verlagerung des Zelleninhalts ans apikale oder basale Ende der Zellen das wirksame war, und nicht der ungleiche Grad der Schädigung bereits zur Erklärung ausreicht. — Dieser Möglichkeit wollte ich hier mit aller Reserve Ausdruck geben.

4. Die Hemmung der Organbildung ist an verschiedenen Teilen des nämlichen Objektes oft ungleich groß; sie ist um so beträchtlicher, je größer der Radius des von den betreffenden Teilen beim Zentrifugieren beschriebenen Kreises ist.

5. Durch lokale Hemmung der Sproßbildung lassen sich bei Stecklingen von *Salix vitellina* Erscheinungen hervorrufen, die im Widerspruch mit den typischen, den Regeln der Polarität folgenden Organbildungsprozessen stehen.

Halle a. S., Botanisches Institut der Universität,
im März 1904.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik](#)

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: [40](#)

Autor(en)/Author(s): Küster Ernst

Artikel/Article: [Beiträge zur Kenntnis der Wurzel- und Sproßbildung an Stecklingen. 279-302](#)