



Title	UEBER DIE WAHRE NATUR DER ERD-UND LUFTKNOLLEN VON DIOSCOREA BATATAS DECNE
Author(s)	SAWADA, Eikichi
Citation	Journal of the Faculty of Agriculture, Hokkaido Imperial University, 47(4), 267-314
Issue Date	1952-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/12744
Type	departmental bulletin paper
File Information	47(4)_p267-314.pdf



UEBER DIE WAHRE NATUR DER ERD- UND
LUFTKNOLLEN VON
DIOSCOREA BATATAS DECNE.

von

EIKICHI SAWADA

Inhaltverzeichnis

Einleitung.	268
Erster Teil.	
Ueber die wahre Natur der Erdknollen.	270
I. Uebersicht über bisherige Untersuchungen.	270
II. Auftauchen eines Schlüssels zur Lösung der Frage.	272
III. Aussermorphologische Betrachtungen.	274
IV. Betrachtungen von ihren physiologischen Eigenschaften.	275
A. Geotropismus.	275
B. Polarität.	276
C. Empfindlichkeit der Knollen gegen das Licht und die Trockenheit der Luft.	276
V. Betrachtungen der Knollen von anatomischen Gesichtspunkten.	278
A. Art und Weise der Entstehung der Erdknollen.	278
1. Knollenbildung aus einer fertig angelegten Knospe.	280
2. Knollenbildung aus dem zuerst knospenlosen Knollenstücke in Form von Adventivbildung.	283
3. Entstehungsweise der Knollen in Form von Verzweigung.	285
B. Sein oder Nichtsein der Wurzelhaube.	285
C. Bauart der Gefässbündel.	287
VI. Diskussion.	288
Zweiter Teil.	
Ueber die wahre Natur der Luftknollen.	291
I. Uebersicht über bisherige Untersuchungen.	291
II. Meine eigenen Versuchsergebnisse.	292
A. Homologie vom aussermorphologischen Gesichtspunkte.	292
B. Homologie vom entwicklungsgeschichtlichen Standpunkte.	297
III. Diskussion.	302
Zusammenfassung.	306
Literaturverzeichnis.	308
Tafelerklärung.	310

Einleitung

Ich weiss nicht, ob es viele andere Pflanzen gibt, welche so rätselhaft erscheinen, wie die den Dioscoreen angehörenden. Als Beispiel dafür sei in erster Linie angeführt, dass diese Familie einmal unter den Morphologen die Frage wachgerufen hat, ob sie den Mono- oder den Dikotylen angehöre. Es ist nicht lange her, dass sie erst nach wiederholten Meinungsverschiedenheiten als zu den ersteren gehörend festgestellt wurde.

In zweiter Linie handelt es sich um die Frage, was eigentlich die wahre Natur der Erdknollen von *Dioscorea Batatas* und der damit nahe verwandten Pflanzen, wie z. B. *D. japonica* ist. Diese Frage liegt heute noch ungelöst vor uns, trotzdem seit langem nicht wenige Forscher ihr Aufmerksamkeit geschenkt und sich mit diesem Gegenstande beschäftigt haben. Auffallenderweise sind aber die Meinungen darüber je nach dem Forscher sehr verschieden und einander widersprechend. Kurz zusammengefasst, sind die Erdknollen bisher auf dreierlei Weise beurteilt worden:

- 1) als mit der Wurzel identisch, (4, 6, 7, 28, 29.)
- 2) als mit dem Stengel identisch, (5, 30)
- 3) als ein Organ, das zwischen Wurzeln und Stengeln steht. (10)

Man wird vielleicht überrascht sein, wie mannigfaltig die Ansichten darüber geteilt sind.

Die Wurzeln und Stengel sind Organe, die von Haus aus grundsätzlich voneinander verschieden, ja sogar in gewissem Sinne von entgegengesetzter Natur sind. Die Tatsache, dass die Erdknollen trotzdem derart verschiedenartig beurteilt wurden, ist ein schlagender Beweis dafür, wie schwer diese Frage zu lösen ist.

Nach der zuletzt angeführten Ansicht, die von Goebel, der Autorität für Morphologie, vorgeschlagen wurde, besitzt die Erdknolle Eigenschaften teils von der Wurzel, teils vom Stengel, worüber er sich folgendermassen äussert: "Wohl aber haben sie Eigenschaften, welche wir sonst bei Sprossen und bei Wurzeln getrennt finden, in sich vereinigt" (Seite 185). Er hat sie mit dem Ausdrucke "Wurzel-träger" bezeichnet. Es ist aber zweifelhaft, wie viele mit dieser Anschauung im Einklang stehen. Ich wenigstens kann diese Erklärung durchaus nicht befriedigend finden. Der Grund dafür ist, dass nach bisherigen Beispielen fast in allen Fällen die Pflanzenorgane, mögen sie wie immer metamorphosiert sein, von Fall zu

Fall auf irgendeins der wenigen Grundorgane (Wurzel, Stengel oder Blatt) mit Bestimmtheit zurückzuführen sind, wofür ausgezeichnete Beispiele die *Dahlien-* (Wurzel in ihrer Natur) und Kartoffelknollen (Stengel in ihrer Natur) darstellen.

Da selbst die sich mit dieser Frage beschäftigenden Forscher von so verschiedenen Anschauungen sind, braucht man sich nicht zu wundern, dass in Lehr- und Textbüchern über allgemeine Botanik sowie über Landwirtschaft die Erdknollen von *D. Batatas* gleichfalls je nach dem Autor bald als Wurzel (1, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 21, 22, 24, 25, 33, 34, 37, 40, 41.), bald als Stengel (3, 8, 23, 31, 38, 39.) und ferner bald als Zwischenform (14,27,36), erklärt sind.

Wird es dabei belassen, so werden die Studenten und allgemeinen Leser weiter zwecklos durch die Frage verwirrt werden, welche von diesen Ansichten die richtige sei. Schon in dieser Hinsicht allein liegt ein genügender Grund dafür vor, dass man die Frage, so wie sie eben ist, nicht belassen darf.

Es geht auf das Jahre 1905 zurück, dass Goebels Abhandlung veröffentlicht wurde, und seitdem ist also bis den heutigen Tag die lange Zeit von gerade 45 Jahren vergangen. Dessenungeachtet weiss ich nicht, ob danach irgendein Forscher vorhanden war oder ist, der diese Frage zu lösen wagte. Die Ursache davon mag wohl teils auf der Schwierigkeit dieser Frage beruhen, teils auf der Meinung, dass Goebels Ansicht aufrechterhalten sei. Das letztere erscheint aber in Anbetracht dessen nicht der Fall zu sein, dass in einigen verhältnismässig jüngst veröffentlichten massgebenden Büchern, z. B. in Englers Pflanzenfamilien (1930), seine Ansicht überhaupt nicht aufgenommen ist. Zudem habe ich durch meine Versuche die Ueberzeugung gewonnen, dass seine Ansicht auf Irrtum gestützt sein muss. Daher geht es nicht zu weit, wenn ich sage, dass durch Goebels Ansicht die Verwirrung um diese Frage noch weiter gesteigert wurde.

Letzten Endes steht soviel fest, dass man noch nicht zu einer nach jeder Richtung völlig befriedigenden Lösung der Frage gekommen ist. Von diesem Gesichtspunkte aus habe ich mich daran gewagt, Versuche in Angriff zu nehmen, um über jene Frage Aufschluss zu finden. Als Folge davon habe ich mich überzeugt, dass die Frage zu einer Lösung gebracht werden könne. Daher möchte ich hier die Resultate meiner bisher ausgeführten Versuche veröffentlichen.

Im Laufe fortgesetzter Untersuchungen tauchte mir ausserdem eine neue Frage auf und zwar über die Luftkollé, eine kleine kugelförmige Knolle an der Blattachsel. Was ist denn eigentlich die wahre Natur derselben? Die Luftknollen sind bisher von allen Fachgelehrten der Welt, deren Name einzeln hier anzuführen sich erübrigt, als eine Anschwellung der Sprossachse oder der Achselknospe betrachtet worden, als ob darüber kein Raum für Zweifel übrig geblieben wäre. Hierzu möchte ich vielmehr bemerken, dass die Luftknolle selbst ein höchst rätselhaftes Gebilde darstellt, ohne bisher als solches erkannt worden zu sein. Meiner Meinung nach kann die Luftknolle keineswegs als eine Anschwellung der Sprossachse betrachtet werden, sondern sie ist ein Organ, das als mit der Wurzel identisch zu betrachten ist. Der Grund dafür wird im zweiten Teile vorliegender Abhandlung eingehender erörtert werden.

Erster Teil

Ueber die wahre Natur der Erdknollen

I. Uebersicht über bisherige Untersuchungen.

Die Zahl der einschlägigen Angaben, die mir zugänglich sind, ist leider deswegen verhältnismässig gering, weil die meisten davon sehr früh veröffentlicht worden sind. Soweit ich aus der Abhandlung von Goebel sowie der von Miss Dale und aus einigen Büchern entnehmen konnte, lassen sich die bisherigen Untersuchungen folgendermassen überschauen:

Sachs hat beobachtet, dass die Erdknollen, während sie noch jung sind, an ihrer Spitze eine Wurzelhaube besitzen, die beim Weiterwachsen der Knollen verloren geht, und ferner, dass die Erdknollen bei der Regeneration eine mit der Wurzel übereinstimmende Polarität aufweisen. Queva sagt, dass die Erdknollen endogen entstehen. Im Gegensatz dazu beobachteten Goebel sowie Leclerc du Sablon an Keimlingen von *Tamus communis* eine exogene Entstehung der Knolle aus dem Hypokotylteile. Dazu berichtet Goebel noch von *D. Batatas* und *D. japonica*, dass die Knollen, falls sie sich aus Mutterknollen entwickeln, auch exogen seien.

Wie ich nach Goebels Abhandlung vermute, ist es naheliegend, dass damalige Forscher die Erdknollen nicht von allen Gesichtspunkten zusammenfassend, sondern nur nach einigen Eigenschaften

fragmentarisch studiert und sie demnach bald als der Wurzel, bald als dem Stengel gleichkommend beurteilt haben, weil sonst der genannte Forscher solchen Ausdruck wie den nachfolgenden nicht angewendet hätte, "... einzelne dieser Knollen sind so auffallend wurzelähnlich, dass hervorragende Forscher sie unbedenklich als Wurzeln betrachtet haben" (Seite 185).

Aus diesem Gesichtspunkte kann man Goebel als den ersten Forscher betrachten, der diese Frage höchst systematisch und am besten untersucht hat. Um die Punkte zu erwähnen, die er an den Erdknollen als Merkmale der Wurzel angesehen hat, so sind sie folgende: geotropische Wachstumsrichtung, Beschränkung der Wachstumszone auf kurze Strecke der Knollenspitze und Bedeckung des Vegetationspunktes mit einem Peridermmantel. Die Anhaltspunkte, daraus er behauptet hat, dass die Erdknollen auch Stengelnatur besitzen, sind folgende: exogene Entstehung, kollateraler Bau der Gefässbündel, Vorhandensein von vielen Rhizome führenden Arten unter *Dioscoreen* und ihre homologische Beziehung zu den Luftknollen. (Dies kam daher, dass er sie für geschwollene Achsel sprossen hielt.) Der zuletzt angeführte Anhaltspunkt ist das, was erst von ihm entdeckt wurde, wovon später noch näher die Rede sein wird. Aus den oben erwähnten Gründen hat er die eigenartige Zwischentheorie vorgeschlagen. Doch jeder, der seine Abhandlung durchliest, wird sofort erkennen, wie stark er dazu neigte, die Erdknolle anstatt als Wurzel lieber als Stengel zu betrachten. In diesem Sinne kann man ihn für einen Anhänger der Stengeltheorie halten.

Die allergrösste Schwierigkeit, worauf die Stengeltheorie stossen muss, ist die vollständige Blattlosigkeit der Erdknollen. Morot (nach Miss Dale) suchte dies derart zu erklären, dass die Erdknolle ein Auswuchs aus einem internodalen Zwischenglied sei und daher keine Blätter an sich habe. Goebel sagt, dass, ob zwar es ihm seinerzeit nicht gelungen sei, die Knolle unmittelbar aus einem beblätterten Stengel abzuleiten, dennoch eine grosse Möglichkeit dazu vorhanden sei, sie als blattlos gewordenen Stengel zu betrachten.

Unter den *Dioscorea*-Arten gibt es solche, die, wie *D. Batatas*, einjährige Erdknollen im Boden bilden, aber auch solche, wie z. B. *Tamus communis*, perennierende Knollen unterirdisch entwickeln, und auch solche, die, wie z. B. *D. villosa*, typische Rhizome tragen. De Bary hat diese verschiedenen Arten je nach der Eigentümlich-

keit der Organe scharf voneinander getrennt und die ersten als Wurzelknollen, die zweiten als Stengelknollen und die letzten als Rhizome bezeichnet. Entgegengesetzter Meinung war jedoch Goebel. Er sagt: "Wir sehen also, dass die besprochenen Knollenbildungen der Keimpflanzen sich trotz ihrer verschiedenen äusseren Ausbildung auf einen gemeinsamen Ausgangspunkt zurückführen lassen, insofern sie alle Anschwellungen der Keimpflanzen-Achse darstellen" (Seite 176). Auch hierin kann man den Beweis dafür finden, wie stark er die Erdknolle als dem Stengel naheliegend aufgefasst hat.

Zum Schlusse sei erwähnt, dass er an einer auf 2m. verlängerten echten Wurzel von *D. eburnea* durch Verdickung an ihrer Spitze eine Knolle auftreten sah, obwohl er solche an den Wurzeln von *D. Batatas* nicht beobachten konnte. Auch Lindinger (20) berichtet ganz dieselbe Erscheinung. Es scheint dies sehr bemerkenswert, in dem Sinne, dass es auf die Veränderungsmöglichkeit der Wurzel von *Dioscorea* in Wurzelknollen hinweist.

Nachdem ich so weit über die bisherigen Untersuchungen berichtet habe, möchte ich auf eigene Versuche eingehen.

II. Auftauchen eines Schlüssels zur Lösung der Frage.

Es braucht wohl nicht erst hervorgehoben zu werden, dass Wurzeln und Stengel in der Regel aussermorphologisch, anatomisch und auch physiologisch voneinander grundlegend verschieden sind. Es ist daher unumgänglich notwendig, die Knollen, wie es bei bisherigen Forschern der Fall war, aus diesen Gesichtswinkeln zu studieren, um ihre wahre Natur zu beurteilen. Aber damit allein sind die Untersuchungsmittel noch nicht erschöpft. Von Bedeutung kann auch das Bestreben sein, wie, worauf Goebel hindeutet, in einer oder anderer Weise eine mit Blättern versehene Knolle zu erhalten. Sollte dies möglich sein, so könnte die Frage dadurch weitaus leichter als erwartet klargestellt werden.

Zu meiner grossen Freude ist mir diese Art des Versuches schliesslich gelungen. Man sieht in Fig. 1 (Tafel X) ein etwas grotesk erscheinendes knollenartiges Gebilde. Es ist dies von so grosser Seltenheit, dass ich mit Selbstvertrauen sagen kann, dass Aehnliches bisher niemals, nirgends und von niemandem beobachtet worden ist. Auf seiner Oberfläche sind hier und dort einige dreieckige ziemlich grosse braune Niederblätter zu sehen.

Beim Durchschneiden ergab sich, dass das Fleisch ganz schnee-

weiss und so klebrig war, dass das angewendete Messer davon Faden zog. Darüberhinaus konnte ich mich überzeugen, dass dies Gebilde, in derselben Weise wie die üblichen Erdknollen zubereitet, ebenso gut wie diese essbar war. Man kann also dieses Gebilde "eine Blätter tragende Erdknolle" nennen. Doch hat sie mit den gewöhnlichen Erdknollen nichts zu tun. Es handelt sich nicht um die Wiederkehr der einmal "verloren gegangenen Blätter", die Goebel als möglich erwartet hat. Fig. 1 (Tafel. X) stellt eine teilweise Aufnahme von dem in Fig. 2 (Tafel. X) rechtseitig befindlichen Stock dar. Darauf zeigt A die Saatknolle, B die neue Erdknolle, C den Stengel, D das in Rede stehende Gebilde. Wie daraus ersichtlich ist, finden sich an derselben Pflanze zweierlei Knollen, von denen eine abwärts, die andere aufwärts entwickelt ist. Die erstere ist die gewöhnliche Erdknolle, die letztere das in Frage stehende Gebilde.

Hier taucht notwendigerweise die Frage auf, was denn eigentlich das letztere sei. Es erscheint mir daher zweckmässig, die Entstehungsweise einer solchen Knolle zu schildern. Die Methode ist äusserst einfach; es handelt sich bloss um tieferes Einpflanzen der Saatknollen als gewöhnlich. Das in Fig. 1 (Tafel. X) dargestellte Gebilde wurde bei einer Tiefe von 45 cm. erhalten. Eine hoch oben am Stengel rechtwinklich gezogene Linie deutet die Grundoberfläche an. Wenn man im Herbst eine frisch geerntete Erdknolle genauer betrachtet, so kann man an ihrem Scheitel eine kleine Knospe finden, die für das kommende Frühjahr zubereitet ist. Fig. 3 (Tafel. X). Werden aber die Saatknollen tiefer als gewöhnlich gepflanzt, so verlängert sich diese Knospe zum Stengel mit zunehmender Tiefe immer länger nach oben, ja, der Stengel kann sogar auch in die Dicke wachsen und zu einer ansehnlichen Knolle werden, wenn nur die Saatknolle von genügender Grösse ist. Das eben Geschilderte veranschaulicht Fig. 4 (Tafel. XI), wenn auch dort alle Organe, wegen der Kleinheit der Saatknollen (Luftknollen angewendet) sämtlich dünn und klein gebildet sind. Während an den linksseitigen Stöcken (Saattiefe 10 cm.) wie üblich nur eine Knospe gebildet ist, hat die Knospe sich mit zunehmender Tiefe immer deutlicher zum Stengel verlängert. Aus Vorhergehendem unterliegt es nunmehr keinem Zweifel, dass die vorhin zur Veranschaulichung gebrachte beblätterte Knolle sich durch Anschwellung eines Stengels gebildet hat, was auch angesichts ihres stark negativen Geotropismus

anzunehmen berechtigt ist. Es ist dies also nur eine Stengelknolle, deren schuppenartige Niederblätter eben den die Knospe der gewöhnlichen Erdknolle umhüllenden Schuppen entsprechen.

Wenn daher die gewöhnliche Erdknolle, wie einige Forscher meinen, in Wirklichkeit ein Umgebilde eines Stengels wäre, so müsste sie in der hier gezeigten Form auftreten, weil sonst es ein grosser Widerspruch wäre, dass ein und dasselbe Organ gleichzeitig in zweierlei Formen, die nicht nur durch Aussehen, sondern auch durch physiologische Eigentümlichkeit (Geotropismus) voneinander grundsätzlich verschieden sind, zum Vorschein kommen könnte. Demnach steht wenigstens soviel fest, dass die gewöhnliche Erdknolle keineswegs ein vom Stengel umgewandeltes Gebilde ist. Nach Goebel ist die Erdknolle ein Organ, das zwischen Wurzel und Stengel steht. Wäre dies der Fall, so läge es nahe, dass an einer Pflanze neben einer sicher vom Stengel umgewandelten Knolle noch eine solche vorhanden wäre, die einen Mischling von Wurzel und Stengel darstellte. Es ist dies, von welchen Seiten betrachtet, eine Ansicht, die vielleicht von niemandem aufrechterhalten werden wird. Wenn es dem genannten Forscher gelungen wäre, solche Knolle, die man in Fig. 1 (Tafel. X) sieht, sich bilden zu lassen, müsste er sicher weder die Zwischentheorie vorgeschlagen noch einen solchen Ausdruck wie "blattlos gewordener Stengel" gebraucht haben.

Auf diese Weise wurden sowohl die Stengeltheorie als auch die Zwischentheorie ohne weiteres gleichzeitig als unzutreffend ausgeschlossen, und zwar bloss durch Auftauchen einer fremdartigen Knolle. Dank ihrer Anwesenheit wurde fernerhin höchst wahrscheinlich gemacht, dass die Erdknolle eine Umbildung der Wurzel sein müsse. Es kommt nun darauf an, zu untersuchen, ob die Erdknolle in Wirklichkeit mit der Wurzel übereinstimmende Eigenschaften mit sich bringe oder nicht.

III. Aussermorphologische Betrachtungen.

Auf den ersten Blick sieht die Erdknolle, besonders wenn sie noch jung und im starken Wachstum begriffen ist, einer echten Wurzel täuschend ähnlich. Ihre Haut ist glatt und weiss, hat weder Blätter noch Knoten, was insgesamt lebhaft an die weisse dicke Wurzel des japanischen Rettichs erinnert. Auf diese Weise kann man, soweit ihre aussermorphologischen Merkmale in Betracht ge-

zogen werden, kein Hindernis dazu finden, sie für eine geschwollene Wurzel zu halten. In diesem Punkte zeigen die Meinungen von allen bisherigen Forschern vollständige Uebereinstimmung. Auch Goebel hat diesen Punkt gerechtfertigt, indem er folgendermassen sagte: "Wenn man eine junge, äusserlich ausserordentlich wurzelähnliche Knolle von *D. Batatas*, *D. japonica* u. a. sieht so versteht man leicht, wie Sachs und andere Forscher diese Organe als echte Wurzeln ansprechen konnten" (Seite 183).

Es sei hier kurz angefügt, dass er auch die Anwesenheit von Wurzelhaaren angibt, während ich sie bisher noch nicht festgestellt habe.

IV. Betrachtungen der physiologischen Eigenschaften.

A. Geotropismus.

Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, dass die Erdknollen im Boden senkrecht nach unten wachsen. Ihre Länge kann unter Umständen bis 1 Meter oder darüber betragen. Dieses Verhalten steht mit der Eigentümlichkeit der Hauptwurzel des Keimlings ganz in Uebereinstimmung. Es unterliegt keinem Zweifel, dass es sich hierbei um die Schwerkraft handelt, die Richtung des Wachstums bestimmt. Um zu sehen, in welchem Masse sie auf die Schwerkraft empfindlich reagiert, habe ich einige Pflanzen in grossen Holzkästen gezogen und zur Zeit, wenn die junge Knollen sich stark zu verlängern begannen, samt den Holzkästen in horizontale Stellung gebracht. Als Folge davon fing die Knolle innerhalb so kurzer Zeit wie 24 Stunden an, sich an ihrer Spitze abwärts zu krümmen, wie dies aus Fig. 5 (Tafel X) deutlich zu ersehen ist. Diese Tatsache entspricht nicht nur der ausserordentlich grossen Empfindlichkeit der Knollenspitze gegen die Schwerkraft, sondern auch der Tatsache, dass die Streckungszone auf einen kurzen Umfang der Spitzenregion beschränkt ist, was ein der Wurzel eigentümliches Charakteristikum ist.

Wurden einige so gestellte Pflanzen sich selbst stehen überlassen, so sah ich aus der Unterseite der Knollen einige Seitenknollen in Form von Verzweigung zum Vorschein kommen, was auch bei den Wurzeln häufig zu beobachten ist.

Wurden noch einige Pflanzen samt den Kästen umgekehrt, oben mit unten vertauscht, und in dieser Lage gelassen, so stellten bis dahin stark wachsende Knollen ihr Weiterwachsen alsbald ein und

zeigten kein Bestreben, gegen die Schwerkraft nach oben zu wachsen. Dafür kam eine andere neue Knolle aus der Stengelbasis heraus und wuchs abwärts.

Alles oben Erwähnte spricht dafür, dass die Schwerkraft auf die Wachstumsrichtung der Knollen von massgebendem Einfluss ist, mit anderen Worten, dass die Knollen sich der Schwerkraft gegenüber völlig im Einklang mit der Wurzel verhalten.

B. Polarität.

Die Erdknollen sind befähigt, selbst in mehrere kleine Stückchen geschnitten, durch Regeneration eine Adventivknospe an jedem der Stückchen zu erzeugen und gemäss der Zahl der geschnittenen Stückchen ebenso viele selbständige Pflanzen zu bilden. Was dabei in Frage kommt, ist festzustellen, an welchem Orte des Stückchens die Adventivbildung in Erscheinung tritt, weil dadurch die Richtung der Polarität entschieden und dementsprechend beurteilt werden kann, ob die Erdknollen von einer Wurzel- oder Stengelnatur seien. (32) Ist das erstere der Fall, so muss die Adventivbildung, in anbeacht der natürlichen Lage der ursprünglichen Knolle im Boden an einem oberen Ende auftreten und umgekehrt. Ich habe nach dieser Richtung hin untersucht, mit der Folge, dass die Adventivbildung ausschliesslich an dem oberen Ende erfolgt und zwar gleichgültig, ob die Teilstücke normal aufrecht, waagrecht oder vertikal umgekehrt gestellt worden waren. Fig. 6 (Tafel XI). Diese Ergebnisse deuten klar darauf hin, dass die Erdknollen auch betreffs der Polarität von Wurzelnatur sind.

Auch Goebel bemerkt diese Art der Erscheinung, jedoch nicht in so strengem Sinne wie in meinem Falle. Er sagt: "Indes fanden sich gar nicht selten auch Fälle, in denen Adventivsprosse an andern Stellen, z. B. in der Mitte des Knollenstücks oder selbst dessen basalem Ende genähert, hervortraten". Im Gegensatz dazu bin ich niemals auch nur einem einzigen solchen Falle begegnet, obwohl ich bisher insgesamt mehr als tausend Stückchen Knollen diesbezüglich zu beobachten Gelegenheit gehabt habe.

C. Empfindlichkeit der Knollen gegen Licht und Trockenheit der Luft.

Wird eine mit einer Scheitelknospe versehene Knolle zur Verfügung gestellt, so kann man ohne weiteres voraussagen, woraus

eine neue Knolle zutage kommt, weil sie fast ausschliesslich aus dem untersten Teile des aus der Knospe entwickelten Stengels herauskommt, mit anderen Worten, weil ihre Entstehungsstelle genau mit der ursprünglichen Knospe übereinstimmt. Wenn man also eine Knolle nicht vollkommen, sondern bloss mit ihrer unteren Hälfte derart in den Boden pflanzt, dass ihre obere Hälfte über den Boden dem Lichte ausgesetzt emporragt, so kann man dadurch die neu auftretende Knolle dazu zwingen, sich in der Luft zu entwickeln. Diese Art der Versuche habe ich im Frühling von 1949 gemacht. Das Ergebnis davon veranschaulichen Fig. 7 und 8 (Tafel. XII), die am Anfang November desselben Jahres aufgenommen wurden.

Der Ausfall war über meine Erwartung ein höchst auffallender. Zwar trat eine sehr winzige Knolle auf, blieb aber in ihrem Wachstum ganz zurück und verharrte bis in den Spätherbst in dem Zustand von sog. "Sitzenbleiben". In betreff Grösse und Aussehens, wie man sieht, ähnelte sie der Luftknolle ausserordentlich. Im Gegensatz dazu war das Wachstum der oberirdischen Teile, wenn auch nicht so starkwüchsig wie in normalen Fällen, dennoch recht gut, indem der Stengel eine Höhe von mehr als 4 m. erreichte.

Noch ein Punkt, den man hierbei nicht übersehen darf, ist die Tatsache, dass die dicht oberhalb der Knolle befindlichen zahlreichen Wurzeln, die sich unter normalen Verhältnissen mehr als 1 m. verlängert hätten, hier gleich wie die Knolle in ihrem Wachstum fast vollkommen unterdrückt waren. Es war, wenn auch zufällig, sehr zweckmässig, dass das Verhalten der Knollen und der Wurzeln gleichzeitig unter demselben Umstand in Vergleich gezogen werden konnte.

Hier ist erforderlich, zu bestimmen, was an dieser Hemmungserscheinung schuld sei. Als Faktoren dafür kommen in Betracht das Licht und die Trockenheit der Luft. Da dies von vornherein zu erwarten war, wurde gleich nach der Pflanzung der Saatkollen im Mai bei einem Exemplar ein Holzkasten darüber gestülpt und danach von Zeit zu Zeit die von diesem Kasten begrenzte Bodenfläche mit Wasser versorgt, um den Innenraum des Kastens stets dunkel und feucht zu erhalten. Der Erfolg davon war in die Augen springend, wie dies aus Fig. 9 (Tafel. XII) klar ersichtlich ist, deren Aufnahme am 25. August 1949 geschah. Wie daraus hervorgeht, wuchsen in diesem Falle sowohl die Knollen (abnormerweise traten

hierbei anstatt einer drei Knollen zutage) als auch die Wurzeln befriedigenderweise. Leider wurde aber dieses Exemplar durch einen danach eingetretenen Sturm vollkommen vernichtet. Wenn ich also auch nicht imstande war, dem weiteren Verhalten nachzugehen, so erscheint mir doch auch dieser Erfolg allein hinreichend, die Wirkung der Dunkelheit und Feuchtigkeit auf die Knollen- und Wurzelentwicklung aufs schönste zu demonstrieren. Im nächsten Jahre habe ich diese zwei Faktoren getrennt auf ihre einzelnen Wirkungen untersucht, und als Folge davon erwies sich die unbedingte Notwendigkeit, dass die zwei Faktoren, Dunkelheit und Feuchtigkeit, zur befriedigenden Entwicklung der Knollen zusammenwirken.

Auch Goebel hat diese Art von Versuchen gemacht, obwohl er von seiner Versuchsmethode nichts Näheres angibt. Er führte dabei die Ursache der Hemmungsbildung auf "den Wassermangel" (er meint wohl Trockenheit der Luft) zurück, obwohl dieser Ausdruck nicht ganz passend erscheint. Er sagt dabei nichts von der Wirkung des Lichtes. In Anbetracht dessen, dass, solange das Licht nicht abgeschlossen wird, es nicht gelingt, die Knollen zur Genüge zur Entwicklung zu veranlassen, scheint er ohne Versuche nur aus seiner Vermutung sich derart ausgedrückt zu haben.

Alles in allem genommen, ist es gewiss, dass die Knollen sich gegenüber dem Lichte und der Trockenheit der Luft in ganz derselben Weise wie die Wurzeln verhalten.

V. Betrachtung der Knollen von anatomischem Gesichtspunkte.

A. Art und Weise der Entstehung der Erdknollen.

Wenn irgendein Organ zur Beurteilung seiner eigentlichen Natur betrachtet wird, ist es erforderlich, auch seine Entstehungsweise zu untersuchen, weil dies als Massstab zur Bestimmung, ob das betreffende Organ der Wurzel oder dem Stengel gleicht, eine Rolle spielen kann. Nach Goebels Abhandlung scheint auch Queva nach dieser Richtung hin untersucht und infolgedessen die Entstehung der Knollen als endogen festgestellt zu haben. Demgegenüber ist die Meinung Goebels gerade das Gegenteil. Er sagt davon folgendermassen: "Eine endogene Entstehung der Knollen ... konnte ich in keinem Falle nachweisen. Die Knollen entstehen als lokale Anschwellungen der Sprossachse....." (Seite 180). Ja sogar hat er

angedeutet, dass Quevas Beobachtung auf einem Irrtum beruhen könne, indem er sagte: "Da an der Anschwellung, welche zur Knolle wird, frühzeitig Wurzeln auftreten und an der jungen Knolle die Wurzelbildung viel näher nach dem Scheitel der Knolle hin vorrückt, als dies späterhin der Fall ist, so kann man leicht eine (endogen entstehende) Wurzelanlage mit der Anlage einer jungen Knolle verwechseln" (Seite 181). An Keimlingen von *Tamus communis* hat Leclerc du Sablon auch eine exogene Entstehung von Knollen beobachtet.

Abgesehen einstweilen davon, ob Queva in der Tat, wie Goebel annimmt, die Wurzelanlage mit der Knollenanlage verwechselt hat oder nicht, erscheint es bedenklich unverständlich, dass ein und dasselben Organ je nach dem Forscher bald als endogen, bald als exogen festgestellt wird.

Ich selbst habe auch darauf hin untersucht; und es ergab sich, dass diese Frage eine sehr schwere ist und nicht ohne weiteres gelöst werden kann, denn die Entstehungsweise ist nicht immer einheitlich, sondern erscheint je nach dem Falle bald endogenetisch, bald exogenetisch. Zur Entscheidung davon habe ich sehr lange Zeit und viel Mühe gebraucht, bis endlich mir sich der Gedanke aufdrängte, dass, um diese Frage klarzustellen, es notwendig sei, die Knollenbildung nicht einheitlich, sondern von Fall zu Fall gesondert zu untersuchen. Hierbei sind folgende drei Fälle zu unterscheiden. Die Knolle kann entstehen (1) aus dem untersten Teile des Stengels, der sich aus einer vom letzten Jahre her am Scheitel der Mutterknolle fertig angelegten Knospe entwickelt, (2) aus dem zuerst knospenlosen Knollenstück erst später in Form von Adventivbildung und (3) aus der Hauptknolle in Form von Verzweigung davon.

Dazu kann noch ein weiterer Fall in Betracht kommen. Es handelt sich um die Knollenbildung aus dem Keimling. Bekanntlich setzt die Erziehung von Keimlingen das Vorhandensein von Samen voraus. Den Samen zu gewinnen ist aber bei *D. Batatas* darum in der Tat unmöglich, weil es merkwürdigerweise nur männliche Pflanzen gibt und an weiblichen fehlt. Dies mag wohl der Grund dafür gewesen sein, dass die Untersuchung der Knollenbildung aus Keimlingen von bisherigen Forschern an anderen Arten als *D. Batatas* wie z. B. an *Tamus* gemacht wurde. Wenn auch *Tamus* mit *D. Batatas* derselben Familie angehört, ist es zweifelhaft, ob, was von

Tamus gilt, gleich auch für *D. Batatas* zutrifft, weil die Knollen dieser beiden Arten von grundsätzlich verschiedener Natur sind. Aus diesem Grunde wurde die Knollenbildung aus den Keimlingen von vornherein ausser Betracht gelassen.

1) Knollenbildung aus einer fertig angelegten Knospe.

Wenn hier von der fertig angelegten Knospe die Rede ist, so ist die Knospe, die am Scheitel der Knollen vorhanden ist, sowie die der Luftknollen gemeint.* Es erscheint erforderlich, zunächst den Vorgang der Knollenbildung in diesem Falle im grossen und ganzen zu überschauen.

Wenn eine Erdknolle keimt, so geht daraus zunächst ein (mitunter zwei) Stengel hervor; aus seinem Basalteile gehen viele Wurzeln radial nach allen Richtungen hin aus. Erst nachdem der Stengel sich bis zu einem gewissen Grade entwickelt hat, setzt die Knollenbildung ein. Die Knolle kommt an einer Seite des untersten Endes des Stengels, d. h. knapp unterhalb der radial ausstrahlenden Wurzeln, zum Ausdruck. Der Entwicklungsgrad des Stengels zur Zeit, da die Knolle zuerst dem freien Auge sichtbar wird, variiert im Zusammenhang mit der Grösse der Saatknohle. Je grösser die Saatknohle ist, desto früher kommt die neue Knolle in Erscheinung. Es ist aber natürlich nicht sicher, mit blossem Auge allein endogen oder exogen zu bestimmen. Um mit Sicherheit zu rechnen, ist es notwendig, auf das erste Stadium der Differenzierung zurückzugehen und mit Hilfe des Mikroskopes zu untersuchen. Aus diesem Gesichtspunkt habe ich zuerst eine ruhende Knospe anatomisch untersucht, um festzustellen, ob nicht schon darin die Knollenanlage beobachtet werden könne. Dabei konnte ich ein als solche wahrnehmbares Ding nirgends beobachten. Dagegen war es eine grosse Ueberraschung, dass in einer solchen ruhenden Knospe ein oder mehrere Wurzelanlagen für das kommende Frühjahr schon fertig angelegt waren. Fig. 10 (Tafel. XII) und Fig. 11 (Tafel. XIII). Dank deren Anwesenheit wurde es sehr erleichtert, verhältnismässig sicher jenen Ort aufzusuchen, wo die Knollenanlage sich erwarten lässt, weil die Knolle mit Bestimmtheit dicht darunter zutage kommt. Trotzdem ich eine Anzahl von Knospen, quer sowie längs serial geschnitten, möglichst genau untersucht habe, konnte ich in keinem Falle eine Knollenanlage auffinden. Fig. 12 (Tafel. XIII) zeigt einen

* In einigen Büchern ist die Knospe von Luftknollen als adventiv beschrieben. Dies ist aber falsch, weil sie, worauf auch Goebel hinweist, die Achselknospe des Stengels ist.

Querschnitt der Knospe, der dicht unterhalb der Wurzelanlagen erhalten wurde. Aus oben Erwähntem wurde festgestellt, dass die Bildung von Knollenanlage auf dem Wege der Entwicklung des Stengels erfolgt. Es ergab sich durch wiederholte Beobachtungen, dass dies in der Tat der Fall ist.

Fig. 13 (Tafel. XIII) zeigt das allererste Stadium von Knollenanlage, die an der Basis eines Stengels von etwa 7 cm. Länge erst unter dem Mikroskop wahrgenommen wurde. Fig. 14 und 15 (Tafel. XIII) zeigen je ein noch weiter fortgeschrittenes Stadium. Wie aus diesen beiden Figuren ersichtlich, ist das Rindengewebe, durch die von innen austreibende Knollenanlage gedrängt, zerrissen. Daraus geht schlagend hervor, dass die Knolle in diesem Falle wenigstens nicht exogen entsteht. Die Grundlage von Goebel, worauf er die Knollenentstehung als exogen beurteilt hat, liegt in Folgendem: "Während man aber bei den Wurzeln deutlich erkennt, dass sie ihrer Entstehung gemäss das Rindengewebe durchbrechen, ist dies bei den Knollen nicht der Fall. Das äussere Gewebe der Sprossachsen setzt sich ohne Unterbrechung in das der Knollen fort" (Seite 181). Wenn man Fig. 16 (Tafel. XIV) betrachtet, so ist es auf den ersten Blick klar, dass das Rindengewebe durch die Knollenspitze gebrochen ist. Wenn es zur Beurteilung der endogenen oder exogenen Entstehung bloss einer derartigen Grundlage, wie Goebel sagt, bedürfte, könnten alle oben angeführte Fälle ohne weiteres als endogen festgestellt werden. Es ist aber selbstverständlich, dass mit solchem Anhaltspunkte allein die Bestätigung dafür noch nicht als ganz sicher hingestellt werden kann. Streng genommen, ist es weiter erforderlich den Zusammenhang des Zentralzylinders der Knollenanlage mit dem des Stengels darzutun. Dies gelingt im Falle der Wurzeln verhältnismässig leicht und sicher. Fig. 17 (Tafel. XIV) zeigt eine Wurzelanlage aus dem Basalteile des Stengels. Wie man sieht, ist deren Zentralzylinder, mit Farbstoff tief gefärbt, auf das deutlichste wahrzunehmen. Demgemäss bietet die Bestätigung seiner Verbindung mit dem des Stengels keine Schwierigkeit. Doch im Falle der Knollenanlage liegt die Sache ganz anders. Der Zentralzylinder ist hierbei kaum zu bemerken. Dies ist selbst auch dann der Fall, wenn die Knolle sich bedeutend gross entwickelt hat, geschweige denn in ihrem Anlagestadium. Deswegen lässt sich die Verbindung mit dem Zentralzylinder des Stengels nicht mit Sicherheit feststellen, selbst vorausgesetzt, dass sie in der Tat

vorkomme. Soweit die Sache so liegt, bleibt mir nichts anderes übrig, als nach Goebel auf das Brechen des Rindengewebes angewiesen zu sein. Die Zellschicht des Rindengewebes, die durch die Wurzelanlage durchbrochen wird, beträgt höchstens nur 5-6 Zellschichten. Das gleiche gilt auch für die Knollen. Zieht man diesen Umstand in Betracht, so erscheint es berechtigt, die Knollen als endogen zu betrachten.

Wie oben erwähnt, meint Goebel, dass, da aus Knollen selbst auch Wurzeln entstehen, es die grosse Möglichkeit gebe, die Anlage von Wurzeln mit der der Knollen zu verwechseln. Doch die Möglichkeit dazu kann noch grösser sein, wenn die Knollen- und Wurzelanlage dicht aufeinander liegend aus dem Stengel hervorkommen. Aber selbst dann kann eine derartige Verwechslung in der Tat nicht erfolgen, weil die beiden Anlagen sich unter dem Mikroskop scharf unterscheiden lassen. Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale bestehen darin:

- 1) Die Knollenanlage ist von Anfang an ihrer Spitze breiter und flacher gebaut wie die der Wurzelanlage.
- 2) Die Knollenanlage ist nicht so tief gefärbt wie die Wurzelanlage, und demgemäss erscheint ihr Zentralzylinder fast unerkennbar.

Fig. 18 (Tafel. XIV) zeigt ein Beispiel, wo die Knollen- und Wurzelanlage dicht übereinander auftreten. In dieser Figur ist die obere tief gefärbte, eben das Rindengewebe durchbrechende die Wurzelanlage, die knapp darunterstehende weit nach aussen geschwollene die Knollenanlage. Da beide Anlagen scharf voneinander unterscheidbar sind, darf man nicht wie Goebel voreilig entscheiden, dass Queva sich, weil er endogene Entstehung angibt, auf irrige Beobachtung stütze, und dies um so mehr, als die Knolle in der Tat endogen entstehen kann.

Alles Vorangegangene betrifft die Knollenbildung aus der Scheitelknospe von Saatknohlen. Es erfolgt die Knollenbildung aus Luftknollen im grossen und ganzen auf dieselbe Weise wie oben erwähnt, nur unter dem Vorbehalt, dass hierbei wegen der Dünne des Stengels die Feststellung von endogener Entstehung einiger-massen erschwert wird. Fig. 19 (Tafel. XIV) veranschaulicht die endogene Entstehung der Knolle an der Stengelbasis bei einer Luftknolle.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Knolle, falls sie aus

einer ursprünglich vorhandenen Knospe entsteht, erst nachdem sie sich einmal zum Stengel entwickelt hat, an seinem basalen Teile zum Ausdruck kommt und zwar entschieden endogen ist.

2) Knollenbildung aus zuerst knospenlosem Knollenstück in Form von Adventivbildung.

Die Entstehungsweise der Knollen in diesem Falle ist ganz anders als im vorhergehenden. Es tritt zunächst der Polarität gemäss am apikalen Ende des Knollenstückes aus seinem inneren Gewebe eine Wucherung, die aus zahlreichen in lebhafter Teilung begriffenen Zellen besteht, endogen heraus. Fig. 20 (Tafel. XV). Dieser Auswuchs befindet sich zur Zeit des Auftretens noch in einem indifferenten Zustande, kann also noch nicht als ein bestimmtes Organ betrachtet werden. Es handelt sich um nichts als bloss eine Zellmasse.

In dieser ursprünglich gleichmässig erscheinenden Zellmasse bildet sich sofort an der dem apikalen Ende der Mutterknolle zugewendeten Seite der Vegetationspunkt für die Knospe, und Hand in Hand damit beginnt eine gegenüber liegende Seite sich nach aussen vorzuwölben, was den allerersten Anfang der Knolldifferenzierung bedeutet. Fig. 21 (Tafel. XV) Diese beiden Vorgänge erfolgen fast gleichzeitig, obwohl die Differenzierung der Knospe derjenigen der Knolle etwas vorangeht. Fig. 22 und 23 (Tafel. XV) zeigen jede für sich das darauffolgende Entwicklungsstadium, wo A die Mutterknolle B die Knospe und C die Knolle bedeutet.

Wie die oben angeführten Figuren erkennen lassen, ist die Entstehungsweise der Knollen im Gegensatz zu dem ersten Falle exogen. Auf diese Weise kann die Knolle je nach dem Falle nicht immer einheitlich, sondern in beiderlei Formen auftreten. Dies mag wohl die Ursache dafür gewesen sein, dass die Meinungen darüber bisher auseinander gegangen sind.

Auf den ersten Blick mag wohl die exogene Entstehung einem den Eindruck geben, als ob sie der Eigentümlichkeit der Wurzel widerspreche. Der Verfasser denkt aber durchaus nicht derart, denn die Notwendigkeit der endogenen Entstehung ist nur auf den Fall beschränkt, wenn die Wurzeln aus einem fertig gebildeten Organ, z. B. aus einem Stengel oder einer Wurzel in Form von Seitenwurzeln entstehen wie es auch bei dem ersten Beispiel der Fall war. Imfalle die Knolle sich durch Adventivbildung ausbildet,

kommt sie nicht aus einem bestimmten Organ, sondern nur aus einer embryonalen Zellmasse heraus. In solchem Falle braucht sie nicht endogen zu entstehen. Als Beleg dafür sei angeführt, dass, wenn der Embryo sich aus einer befruchteten Eizelle entwickelt, die Radikel dabei gar nicht endogen, sondern exogen entsteht, eine Tatsache, die mit der Knollenentstehung in analoger Beziehung steht. Im Anschluss daran erscheint es mir von besonderem Interesse, dass Sachs den Sachverhalt in ganz derselben Weise betrachtet hat. Ich möchte hier seine Worte zusammen mit der von Goebel als Ergänzung gegebenen Erklärung anführen. Sachs fand, "dass aus gewissen Punkten der alten Knollenstücke junge Pflanzen entspringen, welche sich genau wie junge Keimpflanzen verhalten", d. h. wie Goebel erklärt, "es entsteht nach Sachs' Auffassung eine von vornherein aus Hauptwurzel und Hauptspross bestehende Knolle". Daraus wird man ersehen, dass der Gesichtspunkt von Sachs ein gewisses Etwas an sich hat, das mit meiner Ansicht übereinstimmt. Wenn die Knolle auch exogen entsteht, widerspricht das der Eigentümlichkeit der Wurzel nicht im geringsten, ja sogar ist es von grosser Bedeutung im Zusammenhang damit, dass die Erd- und Luftknollen miteinander homolog sind, wovon später näher die Rede sein wird.

Es sei aber hier ergänzend bemerkt, dass damit nicht gesagt werden soll, die Knolle aus Adventivbildung entstehe ausschliesslich exogen. Denn es gibt auch solchen Fall, wo die Knolle endogen entsteht. Dies ist namentlich dann der Fall, wenn ein dünner Halsteil der Knolle oder ein ausserordentlich kleines Stückchen Knolle als Saatknohle in Anwendung gebracht wird. In diesem Falle entwickelt sich eine Adventivbildung, die von Anfang an nur mit einer Knospe versehen ist. Die Entstehung der Knolle erfolgt in ganz derselben Weise wie wenn sie aus der fertig angelegten Knospe entsteht. Die Knolle wächst aus dem Ausgangspunkte des aus der oben erwähnten Knospe entstandenen Stengels erst später heraus, die Entstehung ist hierbei endogen. Solch kleine Stückchen als Saatknohlen anzuwenden, ist aber, von besonderen Fällen abgesehen, in der Praxis nur sehr selten tunlich.

Die Ursache, warum in einem Falle Knospe und Knolle von Anfang an gleichzeitig, in anderem Falle nur Knospe allein gebildet werden, scheint mit dem Vermögen der Saatknohle, die Nahrung zuzuführen, d. h. mit ihrer Grösse, innig zusammenzuhängen.

3) Entstehungsweise der Knollen in Form von Verzweigung.

Es ist in der Natur nicht selten, dass aus der Hauptknolle ein oder mehrere Seitenknollen in Form von Verzweigung auftreten. Dies kann auch durch künstlichen Eingriff hervorgerufen werden, z. B. wenn man eine im Topfe gezogene Pflanze samt dem Topf in horizontale Stellung bringt oder eine stark wachsende Knolle in der Mitte durchschneidet. Im ersten Falle geschieht die Verzweigung an der Unterseite der ursprünglichen Knolle, Fig. 24 (Tafel. XVI), im letzteren in der Mehrzahl der Fälle dicht über der Schnittfläche. Fig. 25 (Tafel. XVI). Wie sich aus diesen Figuren ergibt, ist das Rindengewebe durch die neu aufgetretene Knolle durchbrochen. Mit diesem allein lässt sich natürlich nichts Bestimmtes sagen. In diesem Sinne ist eine in Fig. 26 (Tafel. XVI) dargestellte Knolle von Bedeutung, die in der freien Natur von selbst in Verzweigung begriffen ist. Fig. 27 (Tafel. XVI) macht den betreffenden Teil vergrößert sichtbar. Diese Figur bringt auf das deutlichste die endogene Entstehung zur Veranschaulichung. Es erscheint mir von besonderem Interesse, dass die Erdknolle, so rätselhaft anzusehen, doch schliesslich hier ihre eigentliche Gestalt enthüllt hat. In diesem Sinne ist es schade, dass Goebel, trotzdem er in seiner Abhandlung eine nach dem Durchschneiden aufgetretene Verzweigungsknolle abgebildet hat, von ihrem Entstehungsverhalt nichts mitgeteilt hat. Man könnte einwenden, ob ich vielleicht nicht die Wurzel aus der Knolle für eine Verzweigungsknolle halte, allein solches kann nicht erfolgen. Fig. 28 (Tafel. XVII) zeigt die Wurzelanlage aus der Knolle, die von der Knollenanlage scharf unterscheidbar ist. Es gibt also keine Gefahr, sie miteinander zu verwechseln.

Ueberschaut man hier zusammenfassend die oben erwähnten drei Fälle, so ergibt sich, dass die Knolle ihrem Wesen nach endogen entsteht. Mithin kann man entnehmen, dass die Erdknollen auch betreffs des Entstehungsverhaltens eine mit der Wurzel übereinstimmende Eigentümlichkeit besitzen.

B. Sein oder Nichtsein der Wurzelhaube.

Sachs, der die Erdknollen für Wurzeln hält, teilt mit, dass die Wurzelhaube nur im jüngeren Stadium wahrnehmbar sei, während sie späterhin bei gross gewordner Erdknolle verloren gehe. Hingegen ist Goebel der Meinung, dass es sich dabei nicht um die Wurzelhaube, sondern bloss um einen Peridermmantel handele, der die

Spitze der Knolle bedecke.

Es erscheint mir zweckmässig, bevor ich auf den Bau der Erdknolle eingehe, zunächst zum Vergleich von dem Bau der echten Wurzel von *D. Batatas* auszugehen. Man sieht auf Fig. 29 (Tafel. XVII) die Spitze einer Wurzel, worauf eine typische Wurzelhaube zu erkennen ist. Ferner zeigt Fig. 30 (Tafel. XVII) die Spitze einer noch in jugendlichem Stadium befindlichen Erdknolle. Die Spitze ist sicher mit einem Gewebe, das als Wurzelhaube angesehen zu werden verdient, bedeckt, obwohl sie durch Beschädigung nicht in einer vollkommenen Form sichtbar ist.

Erwägungen machen es höchst wahrscheinlich, dass die Wurzelhaube der Knolle sehr leicht zerstörbar sowie abtrennbar ist, wovon ich mich dadurch überzeugen konnte, dass, als ich zwecks Fixierung die Spitze der Knolle mit einem Pinsel reinigte, sich eine sicher wahrnehmbare Zellmasse trotz sorgfältiger Behandlung davon abtrennte, was auch mit Rücksicht darauf, dass die Knollenspitze im Gegensatz zu der der Wurzel sehr breiter gebaut ist, aufrecht erhalten werden kann. Es ist dementsprechend höchst möglich, dass die Knollen gelegentlich des Ausgrabens, wie sorgfältig man auch arbeite, in mehr oder minderem Grade an ihrer Spitze beschädigt werden. Dies geschieht etwa selbst dann, wenn sie aus den Sägespänen herausgenommen werden, geschweige denn aus dem Boden. Dazu gesellt sich noch die Gefahr der Zerstörung im Laufe der Behandlung von Mikrotechnik bis zur Herstellung der Präparate, wie z. B. beim Abspülen unter dem Wasserstrahl. Auf diese Weise lässt sich vermuten, dass die Wurzelhaube bis zur Zeit der Betrachtung unter dem Mikroskop mehr oder weniger zerstört, ja unter Umständen völlig abgetrennt wird. Zugunsten dieser Annahme scheint die Tatsache zu sprechen, dass selbst das in Fig. 30 (Tafel. XVII) dargestellte Spezimen unter einer Anzahl von Präparaten ein nur verhältnismässig gut erscheinendes darstellt. Dieser Umstand scheint bisher nicht beachtet worden zu sein. Es mag wohl darauf beruhen, dass Sachs an grossgewordenen Knollen die Wurzelhaube nicht beobachten konnte und dass Goebel ihr Vorhandensein abgelehnt hat, weil es solchen Fall geben kann, dass sie, trotzdem sie in der Tat vorhanden ist, nicht beobachtet werden kann.

Fig. 31 (Tafel. XVII) zeigt gleichfalls die Spitze einer Erdknolle, die sich über 1 m. verlängert hat. Es ist ganz schwer, daraus auf

das Vorhandensein einer Wurzelhaube zu schliessen, weil sie aus hartem Boden ausgegraben wurde.

Alles in allem erfährt meine Ansicht über die Anwesenheit der Wurzelhaube an der Knolle keine Veränderung, nachdem ich ein als Wurzelhaube anzusehendes Gewebe sicher bemerkt habe. Mithin kann man die Erdknolle auch in dieser Hinsicht als mit der Wurzel übereinstimmend betrachten.

C. Bauart der Gefässbündel.

Bucherer (4) sagt, dass die Erdknolle einen der Wurzel gleichkommenden Bau aufweise. Demgegenüber teilt Goebel mit, dass sie im Bau der Gefässbündel dem Stengel gleiche. Dies ist unter anderem die wichtige Grundlage für seine ausdrückliche Behauptung: "Aber trotzdem sind sie sicher keine Wurzel" (Seite 183).

Es ist ohne weiteres ersichtlich, dass der Bau der Leitbündel von Stengel und Wurzel grundsätzlich verschieden ist. Zunächst habe ich den Bau von Stengel und Wurzel von *D. Batatas* untersucht, um eine Vergleichsbasis für den Knollenbau zu gewinnen. Fig. 32 (Tafel. XVIII) zeigt den Querschnitt eines ausgewachsenen Stengels, Fig. 33 (Tafel. XVIII) denselben eines jungen, aus einer Luftknolle entwickelten Stengels. Auf den ersten Blick lässt sich ohne weiteres erkennen, dass der Stengel von *D. Batatas* einen dem Stengel von Dikotylen entsprechenden Bau besitzt, obwohl diese Pflanze, wie einleitend bemerkt, nicht den Dikotylen angehört. Abgesehen davon hat er einen typischen Bau des Stengels. Fig. 34 (Tafel. XVIII) zeigt den Querschnitt von dem Zentralzylinder einer echten Wurzel, wo die Gefässteile und die Siebteile abwechselnd angeordnet sind, ein typischer Bau der Wurzel.

Darauf wenden wir uns zu der Erdknolle, deren Querschnitt in Fig. 35 (Tafel. XIX) zu erblicken ist. Hier sind die Gefässbündel, wie im Stengel der allgemeinen Monokotylen, im ganzen parenchymatischen Gewebe zerstreut verteilt, von denen eine in Fig. 36 (Tafel. XIX) vergrößert gezeigt ist. Wie man sieht, ist der Siebteil zusammen mit dem Gefässteil auf gemeinsamer Linie angeordnet, ein allgemeingültiges Merkmal für einen Stengel. Hierauf habe ich zum Vergleich damit einige Stengelknollen, d. h. mit Blättern versehene Knollen, untersucht. Fig 37 und 38 (Tafel. XIX) zeigen den Bau einer Stengelknolle. Verglichen mit den oben angeführten Figuren zeigen sie keinen Unterschied. Beide Knollen sind in

allerlei Punkten ganz gleich. Für die Forscher, die Knolle für eine Wurzel halten, bedeutet diese Tatsache einen harten Schlag, wenn nur diese Sachlage allein in Betracht gezogen wird, und es erscheint berechtigt, dass Goebel an der Erdknolle das Vorkommen von Stengelnatur behauptet hat. Trotzdem erscheint mir aber zweifelhaft, ob es eigentlich vernünftig sei, daraus allein gleich solche Schlussfolgerung zu ziehen. Der Grund dafür wird alsbald im nächsten Kapitel eingehend erörtert werden.

VI Diskussion.

Im Vorhergehenden habe ich die Eigenschaften der Erdknollen von möglichst allerlei Gesichtspunkten untersucht. Die durch die vorher besprochenen Versuche erzielten Ergebnisse lassen die Folgerung zu, dass die Erdknolle, von einem einzigen Punkt abgesehen, in allen übrigen Eigenschaften der Wurzel gleichkommt. Was hier notwenigerweise in Frage kommt, ist der Bau der Gefäßbündel. Kamiya (15) schreibt in seinem Buche, dass unter den zahlreichen Arten von *Dioscoreen* die Knolle von *D. Batatas* allein die Wurzel darstellt und gleich danach, dass die aber ein kollaterales Gefäßbündel aufweist. Dabei spricht er nichts von dem zwischen diesen beiden Bemerkungen vorliegenden Widerspruch, höchst wahrscheinlich deswegen, weil ihm kein Weg der Erklärung dafür zu finden war. Dies dürfte wohl das gewesen sein, was die Unklarheit über die wahre Natur der Erdknollen veranlasst und die Meinungen darüber bisher auseinander gehen gelassen hat. Gewiss erscheint es merkwürdig, dass die Erdknolle trotz vollkommener Uebereinstimmung mit der Wurzel in sämtlichen sonstigen Eigenschaften, in diesem Punkte allein einen dem Stengel gleichkommenden Charakter aufweist, aber das bedeutet mir kein Hindernis, die Knollen als eine geschwollene Wurzel zu betrachten. Der Grund dafür liegt in der folgenden Tatsache.

Wie bereits am Anfang erwähnt, hat Goebel an einem Ende einer zu 2 m. verlängerten Wurzel von *D. eburnea* gefunden, dass dies Ende sich durch Verdickung in eine Knolle umgewandelt hatte. Fig. 39 (Tafel. XX) rührt von seiner Abhandlung her. Er hat die betreffende Knolle der anatomischen Untersuchung unterworfen. Darüber schreibt er wie folgt: "Die Knollen entstehen hier aus Wurzeln, die an ihrer Spitze anschwellen und ihre Struktur anatomisch so verändern, dass sie der der übrigen Dioscoreenknollen

gleicht". Eine damit ganz im Einklang stehende Tatsache hat auch Lindinger (20) bemerkt. Hieraus ist zu entnehmen, dass diese Erscheinung eine Allgemeingültigkeit hat, was wenigstens die Wurzeln von *Dioscorea* anbelangt. Dann kommt dazu, dass die beiden oben genannten Forscher nichts anderes bewiesen haben, als dass sie uns mit der Tatsache bekannt gemacht haben, dass selbst echte Wurzeln, durch Verdickung in Knollen umgewandelt, denselben Bau wie die Erdknollen aufweisen. Goebel sagt "anatomisch verändert". Das ist seine Erklärung. Die Erklärung für die Tatsache ist bis zu einem gewissen Grade je nach dem Forscher beliebig. Doch Tatsache ist durchaus Tatsache, die unbedingt nicht verändert werden darf. Solange solche Tatsachen vorhanden sind, kann von der Erdknolle, wenn sie auch den kollateralen Bau der Gefässbündel aufweist, keineswegs gesagt werden, dass sie nicht der Wurzel gleichkomme. Früher, als von der Knollennatur noch nichts Bestimmtes erkannt war, ob sie mit der Wurzel oder mit dem Stengel identisch sei, mochte wohl diese Bauart der Gefässbündel hoch geschätzt zu werden verdienen. Doch nun, nachdem durch plötzliches Auftauchen von beblätterten Stengelknollen sowohl die Ansicht, die die Erdknollen als Stengel betrachtet, als auch die Meinung, dass sie zwischen Wurzeln und Stengeln stehe, als unzutreffend tatsächlich ausgeschlossen worden sind, lässt sich sagen, dass in diesem Falle die Bauart der Gefässbündel zur Beurteilung der Knollennatur von ganz untergeordneter Bedeutung ist.

Letzten Endes kommt es dazu, dass man die Erdknolle einerseits als der Wurzel gleichkommend betrachtet, andererseits den kollateralen Bau der Gefässbündel aufrechterhält, eine Schlussfolgerung, die mit Rücksicht auf die oben angeführten Tatsachen unumgänglich ist. Auf diese Weise wird der scheinbare Widerspruch aufgelöst. Die morphologische Regel ist nichts anderes, als was aus zahlreichen Beispielen als ein Allgemeingültiges induziert wurde, ebenso wie die Grammatik bei der Sprache. Mithin ist es vielmehr selbstverständlich, dass unter den ungemein vielen normalen nur wenige seltene, mehr oder minder abweichende Fälle, wie Goebel in seinem Buche (9) nicht wenige Beispiele dafür aufgeführt hat, vorkommen. Er sagt dort, dass es kein so konstantes, allgemein zutreffendes Unterscheidungsmerkmal gebe, dass man damit allein in allen Fällen Wurzeln und Stengel scharf voneinander trennen könne. Als Beispiele dafür führt er an: Sprossen mit temporärer

“Haube”; haubenlose Wurzeln; nicht endogen entstehende Wurzeln u. s. w. Er sagt auch, dass bei Lycopodinen zwischen Wurzeln und Stengeln anatomisch kein Unterschied zu bemerken sei. Daraus geht hervor, dass die Erdknolle von *D. Batatas* allein gar nicht die einzige Ausnahme ist. In Anbetracht dessen kann man sagen, dass die Erdknolle zu bedenklich viele der Wurzel zukommende Eigenschaften an sich trägt, als dass sie seit langem als ein nicht leicht aufklärbares Rätsel hätte bleiben müssen.

Aus Vorhergehendem habe ich folgende Schlussfolgerung gezogen, dass die Erdknolle von *D. Batatas* ein der Wurzel gleichkommendes Organ, d. h. eine Wurzelknolle darstellt. In Anschluss daran sei erwähnt, dass Goebel die Erdknolle mit dem Ausdrucke “Wurzelträger” bezeichnet hat. In jüngster Zeit gibt es auch Forscher, die anstatt dessen den gleichbedeutenden technischen Ausdruck “Rhizophore” anwenden (14. 27. 36). Aber ich kann aus dem erwähnten Grunde diese Bezeichnung nicht als passend erachten.

Zugunsten meiner Ansicht scheint die folgende Tatsache zu sprechen. Ich habe bisher zwei bemerkenswerte Fälle getroffen, die mich auf den Gedanken brachten, dass eine Knolle sich in eine Wurzel umgewandelt habe. Fig. 40 und 41 (Tafel. XX) veranschaulichen die betreffenden Fälle. Wie daraus ersichtlich, ist eine Wurzel genau von dort ausgegangen, woraus normal die Knolle herauskommen müsste. Wie bisher immer wieder erwähnt, nehmen die aus der Stengelbasis ausgehenden Wurzeln beinahe horizontale Richtung. Trotzdem wenden sich die hier in Rede stehenden Wurzeln wie die Pfahlwurzel von Keimlingen, auch in Uebereinstimmung mit der Wachstumsrichtung von Knollen, senkrecht abwärts. Und noch dazu, wenn der Stengel sich in solchem Grade entwickelt hat, wie das die Figuren 40 und 41 (Tafel. XX) zeigen, so müsste die Knollenanlage sicher wahrgenommen werden. Es ist aber davon hier nichts zu sehen. Dies zusammengehalten, ergibt sich die Wahrscheinlichkeit, anzunehmen, dass diese Wurzel statt der Knolle aufgetreten sei, anders ausgedrückt, die Knolle sich in eine Wurzel verwandelt habe.

Es ist der Lieblingsgedanke Goebels, dass es nicht rational sei, sämtliche metamorphosierte Gebilde notwendigerweise auf irgendein Grundorgan zurückzuführen zu suchen. Es ist auch deswegen, dass er die Zwischentheorie vorgeschlagen hat. Doch es erscheint mir vielmehr zwingend, dass er die Knollenbildung bei allen Arten von

Dioscoreen prinzipiell gemeinsam als Anschwellung der Sprossachse zu erklären suchte. In diesem Zusammenhang kann die Ansicht De Barys aufrechterhalten werden, laut welcher die Knollen von *D. Batatas* Wurzelknollen, die von *Tamus communis* Stengelknollen und, was *D. villosa* entwickelt, Rhizome darstellen.

Zum Schluss sei erwähnt, dass ich im Vorhergehenden sämtliche von Goebel als Merkmale des Stengels aufgewiesene Eigenschaften der Erdknolle herangezogen und erörtert habe, mit einziger Ausnahme der homologischen Beziehung zwischen Erd- und Luftknollen. Ich habe diesen Punkt absichtlich nicht berührt, weil ich darüber bald im zweiten Teile dieser Abhandlung eingehend zu diskutieren hoffte.

Zweiter Teil

Ueber die wahre Natur der Luftknollen.

I. Uebersicht über die bisherigen Untersuchungen.

Queva (28) ist der Meinung, dass die Luftknolle ein Gebilde darstelle, das durch Anschwellung eines Achselsprosses entstanden sei. "Le bulbille du *Lioscorea Batatas* a donc la valeur d'un bourgeon axillaire renflé". Miss Dale hat die Luftknollen von *D. sativa* einer entwicklungsgeschichtlichen Untersuchung unterworfen und ist zum folgenden Schluss gekommen: "it is evident from the foregoing observations that the axillary tubers of *D. sativa* are of the morphological nature of stems ..." (Page 498). Indem Goebel die Luftknollen von *D. Batatas* und *D. japonica* histologisch untersucht, ist er der folgenden Anschauung: "Das Knöllchen entsteht also durch im ersten Jugendstadium erfolgende Anschwellung einer oder mehrerer Sprossachsen" (Seite 179). Auf diese Weise stehen die Meinungen der damit beschäftigten Forscher sämtlich in Uebereinstimmung. In allen einschlägigen Büchern, soweit sie mir bisher zugänglich waren, sind die Luftknollen einheitlich ohne Ausnahme als eine geschwollene Achselknospe oder als eine Anschwellung von Sprossachse erklärt.

Goebel hat das grosse Verdienst, zuerst darauf hingewiesen zu haben, dass die Luft- und Erdknollen miteinander homolog sind. Aus dieser Tatsache hat er behauptet, dass die Erdknollen die Stengelnatur besitzen müssten. Dies ist seiner Meinung nach

deshalb, weil die Luftknolie von Stengelnatur sei und demgemäss auch die Erdknolle von derselben Natur sein müsse. Dass er die beiderlei Knollen als homolog hingestellt hat, beruht darauf, dass Erdknollen, die man sich in der Luft entwickeln lässt, den Luftknollen täuschend ähnlich werden; und umgekehrt, wird ein mit Blättern versehener Stengel als Steckling in den Boden gesteckt, so verhalten die in den Blattachsen auftretenden Luftknollen sich ebenso gleich wie die Erdknollen.

II. Meine eigenen Versuchsergebnisse.

Auch ich habe von meinem eigenen Standpunkte aus die Luftknollen untersucht und gelangte gemeinsam mit Goebel zu ganz derselben Schlussfolgerung, dass die Luft- und Erdknollen in homologischer Beziehung stehen.* Dies war eine ganz zufällige Uebereinstimmung, weil mir bis zum Abschluss meiner Versuche seine Abhandlung nicht bekannt war. Wie schon im ersten Teile näher erörtert worden ist, unterliegt es keinem Zweifel, dass die Erdknollen den Wurzeln gleichen. Was die wahre Natur der Luftknollen anbetrifft, kommt es nur darauf an, ob sie eigentlich mit den Erdknollen homolog sind oder nicht. Dementsprechend will ich nachstehend so viele Beweise als möglich dafür beibringen.

A. Homologie vom aussermorphologischen Gesichtspunkte.

Wenn man unter natürlichen Umständen die Art und Weise der Luftknollenansetzung genauer betrachtet, so wird man sehen, dass sie erst von einer gewissen Höhe an nach oben bis zu der Spitze hin an jeder Blattachsel gebildet sind. Hingegen bemerkt man an dem darunter befindlichen Stengelteile auf ziemlich weite Strecke bis zur Erdoberfläche keine einzigen Luftknollen. Da taucht naturgemäss die Frage auf, ob dem unteren Stengelteile die Fähigkeit zur Knollenbildung nicht zugekommen sei. Um diesen Punkt zu erproben, habe ich versuchsweise einige Blätter mit einem Messer derart von dem Stengel weggeschnitten, dass etwas Rinde vom Stengel der Basis des Blattstiels angeheftet erhalten blieb, Fig. 42 (Tafel. XXI), und dann sie mit ihrer Basis in feuchten Boden gesteckt und sich selbst überlassen, indem sie vor direktem Sonnenlichte geschützt und von Zeit zu Zeit mit Wasser versorgt wurden. Als

* Diesbezügliche Ergebnisse wurden veröffentlicht gelegentlich der gärtnerischen Gesellschaft im Herbste von 1949.

ich etwa einen Monat danach sie sorgfältig aus den Boden ausgrub, konnte ich an jeder Achsel der Blätter je eine aufgetretene Luftknolle sehen Fig. 43 (Tafel. XXI)*. Hierauf habe ich durch diese Methode an verschieden hoch befindlichen Blättern, einschliesslich des dicht oberhalb der Erdoberfläche befindlichen ersten Blattes, die knollenbildende Fähigkeit untersucht. Als Folge davon wurde festgestellt, dass jedes Blatt unabhängig von der Höhe dazu befähigt ist.

Inzwischen war ich imstande, zu finden, dass die erzeugten Luftknollen, fortwährend im Boden belassen, mit der Zeit mehr und mehr ihre ursprüngliche kugelige Form verändern und schliesslich ähnlich wie die Erdknollen in den Boden einigermaßen tief einzudringen anfangen. Fig. 44 (Tafel. XXI) veranschaulicht den geschilderten Verlauf der Gestalt- und Grössenveränderung.** Die beiden zuletzt angeordneten grössten Knollen in der Figur sind, von der Zeit des Steckens gerechnet, etwa zwei Monate alt, deren Gewicht und Länge je etwa 15 gr. und 11 cm. betragen. Wer kann solche grossen Knollen auf den blossen Anblick gleich als Luftknollen ansehen? Das sind nichts anderes als Erdknollen, ein Beweis, dass Luftknollen in Erdknollen umgewandelt werden können.

In noch schönerer Weise kann dies zur Veranschaulichung gebracht werden. Zu Anfang Juni, 1950, wurden einige Stengel bogenförmig nach unten gekrümmt und in der beim Ableger üblichen Weise in den Boden eingeschlagen, so dass im Boden ein Knoten in der Mitte des eingeschlagenen Teiles zu liegen kam Fig. 45 (Tafel. XXII). Fig. 46 (Tafel. XXII), deren Aufnahme Anfang November erfolgte, zeigt den Erfolg davon. Dort kann man eine riesige Knolle sehen, deren Gewicht und Länge 98 gr. und 25 cm. betragen. Mit Rücksicht auf ihre Entstehungsstelle ist es ohne Zweifel, dass diese Knolle, wenn sie auch sehr gross ist, ihrem Wesen nach der Luftknolle entspricht. Trotzdem sieht sie ganz ähnlich aus wie eine Erdknolle, ein schöner Beweis, dass Luft- und Erdknollen ein und dasselbe Gebilde darstellen.

* Diese bei der Gelegenheit erst vom Verfasser erfundene Methode hat grossen praktischen Wert, vor allem für solche Sorten, die, wie Yamatoimo, in der Natur kaum Luftknollen bilden, weil man durch diese Methode nach Bedarf eine beliebige Zahl von Luftknollen leicht und sicher erhalten kann.

** Diese Knollen wurden von Herrn Student T. Yakuwa, der auf meinen Anlass diese Art der Stecklinge untersuchte, geliefert, wofür ich hier meinen herzlichsten Dank sage.

Auch Miss Dale (5), Kimura (17) und Takakame (35) haben diese Art der Versuche gemacht. Von ihrem Erfolg teilt Miss Dale mit, dass an dem im Boden eingelegten Teile keine Knolle gebildet wurde. In den Fällen der beiden zuletzt genannten Forscher traten zwar etwas grössere Knollen als gewöhnliche auf, doch blieben sie stets im Umfange der Luftknollengrösse. Die Ursache, warum in meinem Falle eine so besonders grosse, der Erdknolle gleichkommende Knolle gebildet wurde, mag wohl darauf beruhen, dass die Entwicklung der ordentlichen Erdknolle von Anfang an durch Anbringung der oberen Hälfte der Saatknolle in der Luft vollständig gehemmt wurde, so dass die in den oberirdischen Blättern erzeugten Assimilate insgesamt unumgänglich zu der an dem gebogenen Teile des Stengels zu bildenden Knolle strömen mussten.

Es ergab sich später, dass Aehnliches in der Natur vor sich gehen kann, wenn die an einem auf der Erdoberfläche kriechenden Stengel gebildeten Luftknollen mit der Erde in Berührung kommen. In solchem Falle pflegen sie mehr oder minder tief in die Erde hineinzuwachsen,

Wie bei den Kartoffel- und meisten anderen Pflanzen der Fall ist, besitzt auch der unterirdisch befindliche Stengel von *D. Batatas* ein oder zwei Knoten im Boden, der anstatt mit einem Laubblatt mit einem sehr winzigen, braungefärbten schuppenartigen Niederblatt bekleidet ist. Soweit jede der oberirdischen Blattachsen mit der knollenbildenden Fähigkeit versehen ist, lässt sich dasselbe auch von dem unterirdischen Stengelteil erwarten. Es ist aber in der Natur äusserst selten, dass sich an den in der Mitte des unterirdischen Stengels befindlichen Knoten Knollen ausbilden. Fig. 47 (Tafel. XXII) zeigt einen solchen Fall. Wenn auch diese Knolle sich nicht in der Luft befindet, muss sie dennoch auch als eine Art der Luftknollen betrachtet werden, ebenso gut wie die Knollen bei dem Blattsteckling, weil beide gemeinsam aus Blattachsel gebildet sind. Aehnliche, aber in weitaus prägnanterer Form aufgetretene Knollen habe ich einmal in meinem Hausgarten getroffen, wie sie Fig. 48 (Tafel. XXIII) zur Veranschaulichung bringt. Darauf sind zwei verschiedene Sorten dargestellt. Die links befindliche ist die übliche zylinderförmige Sorte, (Nagaimo genannt) die rechtseitige die "Gingkoblatzförmige" (Ichyoimo genannt). An beiden Stöcken ist je die obere Knolle, aus dem oben erwähnten Grunde, als eine Art von Luftknolle zu betrachten. Jede untere Knolle

ist ohne Erklärung eine gewöhnliche Erdknolle. Wer ist imstande, diese beiden Knollen, obere und untere, scharf voneinander zu unterscheiden?

Aber damit allein, dass auch an dem Knoten des unterirdischen Stengels eine Knolle auftreten kann, und zwar äusserst seltsam, kann der Beweis noch nicht als hinreichend gelten, wenn die Knollenbildung nicht wirklich beherrscht werden kann. Dies kann aber leicht bewerkstelligt werden, wenn man folgendermassen verfährt. Dazu braucht man einfach den Stengel am basalen Teile dicht unterhalb der ausstrahlenden Wurzeln durchzuschneiden, so dass die unterhalb der Schnittfläche befindliche neue Knolle sowie die Mutterknolle samt der Stengelbasis entfernt wird. Da die Wurzeln sich über der Schnittfläche befinden, erleidet die Pflanze keine merkbare Beschädigung. Ich habe am 31. August 1949 an einer Pflanze der "Gingkoblattförmigen" Sorte diese Art der Behandlung durchgeführt und etwa zwei Monate danach, d. h. Anfang November, gefunden, dass eine ziemlich grosse erdknollenartige Knolle sich an dem etwas hoch über der Schnittfläche liegenden Knoten entwickelt hatte. Fig. 49 (Tafel. XXIII).

Aus sämtlichen oben angeführten Beispielen geht schlagend hervor, dass Luftknollen in Erdknollen übergeführt werden können.

Demnächst wird im Folgenden gezeigt werden, dass die Ueberführung auch in einer dem gesagten entgegengesetzten Richtung erfolgen kann. Die im ersten Teil unter dem Abschnitt "Empfindlichkeit der Erdknollen gegen Licht und Trockenheit" angeführte Fig. 7 (Tafel. XII) lässt dies klar erkennen. Fig. 50 (Tafel. XXIII) ist ein Beispiel von derselben Art. Hier kam als Mutterknolle eine Luftknolle in Anwendung. Sie wurde anfänglich leicht mit Erde bedeckt. Nachdem sie sicher eingewurzelt war, wurde die darauf befindliche Erde mit Wasserstrahl gewaschen, so dass die Mutterknolle, mit Wurzeln im Boden befestigt, auf der Erdoberfläche zu liegen kam. Dadurch wurde die neu zu entwickelnde Knolle in die Zwangslage gebracht, sich in der Luft auszubilden. Diese neue Knolle, die sich sonst zu bedeutender Grösse entwickelt hätte, blieb in ihrem Wachstum ganz zurück. Infolgedessen hat sie ein Aussehen angenommen, das an eine Luftknolle erinnert.

Gelegentlich eines Tastversuches, wo die Bestimmung der Minimumgrösse der Knolle für die Regeneration bezweckt wurde, habe ich zufällig gefunden, dass Erdknollen sich, ohne der Luft aus-

gesetzt zu werden, auch selbst im Boden ähnlich wie Luftknollen entwickeln können, wofern ein kleines Stückchen Knolle als Saatknolle verwendet wird. Die Luftknollen wurden in äusserst dünne Scheiben von verschiedener Dicke von 1 mm. bis 5 mm., deren Gewicht zwischen 0.1–0.5 gr. schwankte, geschnitten; darauf wurden sie je nach der Dicke gesondert in Blumentöpfe, die mit feuchten Sägespänen gefüllt waren, im Mai eingesät. Keimung versagte nur bei den dünnsten Scheiben, alle übrigen haben gut gekeimt. Die gekeimten wurden alle stehen gelassen, bis sie schliesslich wahrscheinlich wegen mangelhafter Nahrung verhältnismässig früh, schon Ende August, zu Grunde gingen. Darauf wurden die Pflanzen herausgegraben und nach neuen Erdknollen untersucht. Es sind dieses die Knollen, die in Fig. 51 (Tafel. XXIV) in der oberen Reihe (A) angeordnet sind, die darunten angeordneten (B) sind die gewöhnlichen Luftknollen, die zum Vergleich mit den oberen der Grösse nach gegenübergestellt wurden. Es sind die Mutterknollen, die sich in der oberen Reihe als schwarze Pünktchen an der Stengelbasis anhaften. Oben mit unten verglichen, kann man dazwischen keinen Unterschied erblicken. Es ergab sich durch nachträgliche Versuche, dass solch kleine kugelförmige Erdknollen sich auch dann entwickelten, wenn als Saatknollen dienende Luftknollen, selbst, anstatt zerschnitten, als ganze gepflanzt wurden, wenn sie nur unter schlechten Ernährungsbedingungen z. B. in Sand in kleinen Blumentöpfen kultiviert wurden. In Fig. 52 (Tafel. XXIV) sind eine derart erzeugte Erdknolle und eine durch Blattsteckling* gewonnene Luftknolle gegenübergestellt. Die beiden Knollen sehen einander ganz gleich.

Zum Schluss dieses Abschnittes scheint es nicht ohne Bedeutung zu sein, auf die vorhergehenden Beispiele noch einmal zurückzuschauen und, was sie uns gelehrt haben, kurz zusammenzufassen.

1. In der freien Natur ist Luftknollenbildung nur auf den hoch oben befindlichen Stengelteil beschränkt, während der untere Teil nicht daran beteiligt ist.
2. Es kommt dies nicht daher, weil der tiefer liegende Stengelteil nicht befähigt sei, Knollen zu bilden, sondern weil die Fähigkeit dazu hier nur in latenter Form vorhanden ist.

* Ich verstehe, dass diese Bezeichnung in strengem Sinne nicht passend, sondern vielmehr als eine Art von Augensteckling zu bezeichnen ist. Aber wegen der Einfachheit der Darstellung habe ich mich des Ausdruckes "Blattsteckling" bedient.

3. Das Gleiche lässt sich auch von dem unterirdischen Stengelteile sagen. Die Bildung von Knollen ist hier der untersten Basis des Stengels bestimmt. Darüber befindliche Knoten pflegen ohne Knollen kahl zu bleiben. Es ergab sich jedoch, dass auch diesen Knoten die Fähigkeit zur Knollenbildung innewohnt.
4. Die Fähigkeit der Knollenbildung ist also auf der ganzen Ausdehnung des Stengels, von der Spitze ab bis unten zu der im Boden befindlichen Stengelbasis verbreitet. Die Knollen am oberen Stengelteile nennt man Luftknollen, die an der Stengelbasis Erdknollen.
5. Der ausserordentlich grosse Unterschied in der Grösse zwischen beiden Knollen ist dadurch bedingt, ob die betreffenden Knollen sich in der Luft oder im Boden entwickeln. Es ist das Zusammenwirken von Licht und Trockenheit, was die Kleinheit der Luftknollen verursacht.
6. Die Luft- und Erdknollen können wechselseitig ineinander übergehen. Wir haben es vollständig in der Hand, eine Knolle sich zur Luft- oder Erdknolle auswachsen zu lassen. Mithin sind die beiden Knollen im Grunde genommen ein und dasselben Organ.

Unter den oben angeführten Beispielen handelt es sich nur um einiges davon, was von Goebel beobachtet wurde. Auch er hat daraus die beiden Knollen als homolog hingestellt, was durch meine Versuche von neuem erhärtet wurde. Mit diesem Grade der Bestätigung begnügt sich aber der Verfasser überhaupt nicht, sondern hofft, dies mit noch tieferliegender Begründung darzutun.

B. Homologie vom entwicklungsgeschichtlichen Standpunkte.

Bevor ich unmittelbar auf den Hauptgegenstand eingehe, erscheint es mir zweckmässig, über die Beziehung der Luftknollenansetzung und Stengellage einiges zu erwähnen, da dies im Zusammenhang mit der späteren Erklärung von Bedeutung ist. Aus meinen diesbezüglich durchgeführten Versuchen habe ich folgende Schlüsse gezogen:*

- 1) Der Stengel lässt, mag er noch so hoch emporwachsen, keine Knolle ansetzen, solange er sich aufwärts richtet.
- 2) Die Luftknollen treten erst dann auf, wenn der Stengel herabhängt oder sich in einer wagrechten Stellung befindet.

* Eine interessante Tatsache, der bisher niemand Aufmerksamkeit geschenkt hat.

Der erste Schluss lässt sich leicht beweisen, wenn man eine ungewöhnlich hohe Stütze zur Verfügung stellt; der zweite dadurch, dass eine im Blumentopf gezogene Pflanze umgekehrt belassen wird oder auch dadurch, dass man den Stengel in Form von Wellenlinie wachsen lässt. Im ersten Falle tritt die Knollenbildung schon von dem dicht an der Erde befindlichen ersten Knoten ab an jedem darauf folgenden Knoten zutage, im zweiten Falle werden die Luftknollen lediglich an den abwärts gerichteten Stengelteilen gebildet, während im Gegensatz dazu die aufsteigenden Teile stets frei davon bleiben.*

Die Ueberführung des Stengels in horizontale Stellung kann gleichfalls die Knollenbildung hervorrufen, doch wird diese Stellung in ihrer Wirksamkeit durch die umgekehrte Lage übertroffen. Die Tatsache, dass die Bildung der Luftknollen in der freien Natur nur auf den der Stengelpitze näher liegenden Teil, der von dem obersten Ende der Stütze herabhängt, beschränkt ist, Fig. 53 (Tafel. XXIV) und dass sie in Menge gebildet werden, wenn Praktiker diese Pflanzen ohne Stütze bauen, ist insgesamt auf die Lage des Stengels zurückzuführen. Von diesem Grade der Vorbemerkung wende ich mich nun zu den von mir als besonders wichtig erachteten Versuchen.

Fig. 54 (Tafel. XXV) veranschaulicht das allererste Stadium der Entstehung einer Luftknolle. Wie man sieht, ist es nichts anderes als eine halbkugelig aufgetriebene Wucherung aus meristematischen Zellen. Man wird hier vielleicht wieder daran erinnert, dass auch die Erdknolle, falls sie in Form von Adventivbildung herauskommt, gleichfalls von einer solchen einheitlich gebauten Wucherung ausgegangen ist. Um die Vergleichung damit zu erleichtern, sind daneben wieder einige schon vorher dargestellte Figuren herangezogen. Vergleicht man Fig. 54 (Tafel. XXV) und Fig. 20 (Tafel. XXV) miteinander, so ergibt sich sofort, dass den beiden Figuren das eine gemeinsam ist, dass sie eine Wucherung an sich tragen. Im Falle der Erdknollenentstehung folgt diesem Stadium jenes nach, das Fig. 21 und 22 (Tafel. XXV) zur Veranschaulichung bringen. An einer Seite der Wucherung tritt eine Knospe, an einer anderen

* Dessenungeachtet gibt es einen Forscher (42), der die Tatsache, dass die Luftknollen erst vom Spätsommer an sich zu bilden anfangen, auf das photoperiodische Verhältnis zurückführt. Durch meine Behandlung konnte ich die Luftknollen in beliebigen Jahreszeiten zur Bildung kommen lassen.

eine warzenförmige Erdknollenanlage auf. Ein damit ganz übereinstimmender Zustand erfolgt auch im Falle der Luftknollen, wie das Fig. 55 (Tafel. XXV) zeigt. An der Oberseite (in Wirklichkeit an der Unterseite) der Wucherung wird eine Knospe immer mehr sichtbar, und gleichzeitig beginnt die Bauchseite (in der Figur die dem Blattstiel zugewendete Seite, unter Umständen auch die dem Stengel zugewendete Seite) rasch nach aussen auszutreiben. Dieser nach aussen gewölbte Auswuchs entspricht, wovon später noch die Rede sein wird, dem ersten Zeichen der Differenzierung von Erdknollen. Was im Anschluss daran mir von besonderem Interesse erscheint, ist die Tatsache, dass Goebel sowie Miss Dale jeder für sich ganz dieselbe Beobachtung gemacht haben. Goebel hat in seiner Zeichnung auf den in Frage stehenden Teil durch Punktierung besonders aufmerksam gemacht, wie das auf der beigefügten Fig. 56 (Tafel. XXVI) gut zu erkennen ist. Doch ist von diesen beiden Forschern gar nicht erkannt worden, welche Bedeutung diese Erscheinung hat, mit anderem Worte, was eigentlich dieser Teil ist. Das mag wohl ihrerseits natürlich gewesen sein, weil für sie die Luftknollen nichts anderes als geschwollene Sprossachsen waren. Dass die Erdknollen nur im Falle der Herkunft aus Adventivbildung exogen entstehen, ist von der grössten Bedeutung in dem Sinne, dass Luft- und Erdknollen gemeinsam exogen entstehen. Dies verdient hervorgehoben zu werden mit Rücksicht auf Goebels Wort: "Bei der zweifellosen Homologie, welche zwischen Erdknollen und Luftknollen besteht, wäre es auch sehr merkwürdig, wenn die ersteren anders entstünden als die letzteren" (Seite 181). Nebenbei sei bemerkt, dass sowohl die Erdknollen als auch die Luftknollen schon vom Anlagestadium an Wurzeln (in Fig. 22 und Fig. 55 mit W bezeichnet) entstehen lassen.

Der eben erwähnte seitliche Auswuchs wächst mit der Zeit fortwährend gemäss der Richtung der Schwerkraft weiter, und infolgedessen wird die anfangs an der oberen Seite befindliche Knospe immer mehr und mehr nach der Stengelseite hin gedrängt. Dieser Vorgang schreitet, wenn auch langsam so doch stetig, fort, bis endlich bei der ausgewachsenen Luftknolle die Knospe dicht neben der Anheftungsstelle zu liegen kommt. Fig. 59* (Tafel.

* Herr Student T. Yakuwa hatte die Güte auf mein Verlangen freundlichst diese Abbildung sowie Fig. 60 zu zeichnen, wofür ich hier meinen besten Dank aussprechen möchte.

XXVII) wird diesen Vorgang noch klarer machen. Fig. 57 und 58 (Tafel. XXVI) zeigen die wechselseitige Beziehung von Knospe und Anheftungsstelle der Luftknolle, was bei der späteren Diskussion von grosser Wichtigkeit ist.

Die Knospe ist im Anfange der Differenzierung der Erdoberfläche zugewendet, dann ändert sie ihre Richtung nach und nach aufwärts, bis schliesslich die Knospe sich nach dem Himmel richtet, eine Stellung, die für ein negativ geotropisches Organ am natürlichsten erscheint. Der seitlich gewölbte Auswuchs verhält sich umgekehrt; infolgedessen ist die Knollenspitze, die von diesem Auswuchs herrührt, der Erde zugekehrt. Auf diese Weise nimmt die Luftknolle, hoch oben in der Luft herabhängend, der Schwerkraft gegenüber genau dieselbe Stellung ein wie die Erdknolle in der Erde.

Man darf hier nicht übersehen, dass neben der eben erwähnten noch eine wichtige Uebereinstimmung vorliegt. In den beiden Knollen sind, wie aus Fig. 60 (Tafel. XXVII) hervorgeht, die Knospe und Anheftungsstelle gemeinsam an einem der Knollenspitze entgegengesetzten Ende vorhanden, eine Homologie, die für den morphologischen Gesichtspunkt von grundsätzlicher Bedeutung ist.

Ich habe vorhin gesagt, dass die seitlich ausgetriebene Wucherung in Fig. 55 (Tafel. XXV) dem ersten Zeichen der Differenzierung von Erdknollen, d. h. der Spitze der Erdknolle entspricht. Dies ist deshalb, weil die Wucherung, immer mehr nach abwärts wachsend, endlich bei der ausgewachsenen Luftknolle ihre Spitze ausmacht, die, falls sie mit der Erde in Berührung kommt, fortwährend wächst, in den Boden eindringt und zur Spitze der daraus erfolgenden Erdknolle wird.

Wie aus dem Vorhergehenden hervorgeht, können die Luft- und Erdknollen von Anfang ihrer Entstehung an bis zur endgültigen Ausbildung in genau entsprechender Weise gegenübergestellt werden. Wer könnte dies bloss als eine zufällige Uebereinstimmung ansehen?

Fig. 61 (Tafel. XXVI) stellt den Längsschnitt einer ganzen Luftknolle dar. Was daran Beachtung verdient, ist die Knollenspitze, wo die Zellen im Gegensatz zu den übrigen Teilen besonders klein und tief gefärbt sind, was an den Vegetationspunkt der Erdknolle erinnert. Bei dieser Gelegenheit sei bemerkt, dass Luftknollen und Erdknollen, von anatomischen Gesichtspunkten verglichen, in jeder

Hinsicht auch ganz gleich waren.

Es sei noch ein Beispiel zugefügt. Werden Fig. 22 und 55 verglichen, so erhellt sich, dass die beiden Knollenanlagen von ganz demselben Bau sind. Wenn also die Erdknollenanlage durch irgendwelche Ursache auf dem Wege ihrer Entwicklung, etwa im Stadium von Fig. 22 oder kurz danach, ihre Weiterentwicklung aufgeben sollte, dann kann man erwarten, dass daraus eine der Luftknolle ähnlich sehende Erdknolle entstehe. Eben auf diese Vermutung zutreffende Exemplare habe ich getroffen, wie sie Fig. 62 (Tafel. XXVI) zeigt. Verglichen mit den eigentlichen Luftknollen zeigen diese winzigen Erdknollen keinen Unterschied, als dass sie anstatt aus den Blattachsen direkt aus den Mutterknollen hervorgetreten sind, ein schöner Beweis dafür, dass beide Knollen ihrem Wesen nach ganz dasselbe sind. Wie kommt es nun, dass diese Knollen, abgesehen von ihrer Kleinheit, genau wie Luftknollen aussehen? Es ist einfach deswegen, weil die erzeugte Knospe abweichenderweise, ohne in einen Stengel zu wachsen, bloss als Knospe an Ort und Stelle stehen bleibt, mit anderem Worte, deshalb, weil die neue Knolle, ohne Stengelbildung, direkt aus der Mutterknolle gebildet ist.

Obwohl aus den bisher angeführten zahlreichen Beispielen es ohne Zweifel ist, dass die beiden Knollen miteinander homolog sind, möchte ich dazu noch einige Tatsachen beifügen, die sich erst durch die Homologie beider Knollen erklären lassen.

Ich habe vorhin einen Versuch angeführt, bei dem eine Luftknolle von der zylinderförmigen Sorte, als der oberirdische Stengel gekrümmt in den Boden eingeschlagen und dort belassen wurde, ganz wie die Erdknolle der betreffenden Sorte zylinderförmige Form annahm (Fig. 46 Tafel. XXII). Als ich diese Erscheinung sah, kam mir von neuem der Wunsch, denselben Versuch mit der ginkoblattformigen Sorte anzustellen, um zu sehen, welche Knolle bei dieser Sorte gebildet werde. Das erhaltene Resultat ist in Fig. 63 (Tafel. XXVIII) zu sehen. Wie man sieht, erscheinen die neu gebildeten Knollen (in diesem Falle wurden den gegenständigen Blättern entsprechend, zwei Knollen erzeugt) ganz anders, als es bei der zylinderförmigen Sorte der Fall war. Sie geben uns, obwohl sie noch nicht vollkommen ausgebildet sind, den Eindruck, als ob sie die eigentlichen Erdknollen von der ginkoblattformigen Sorte wären. Wenn die Luftknolle mit der Erdknolle keine Beziehung hätte, wie wäre diese Tatsache zu erklären? Sie wird nicht anders befriedigen-

derweise erklärt werden können, als indem man die Luftknolle mit der Erdknolle als homolog annimmt.

Aehnliches lässt sich auch von der Form der natürlich in der Luft an den Blattachsen auftretenden Luftknollen sagen. Die Form der Luftknollen, wenn sie auch einheitlich kugelförmig aussehen mag, ist in der Tat bei verschiedenen Sorten verschieden. Es ist eine seit langem unter den Fachleuten der Gärtnerei allgemein gut bekannte Tatsache, dass die zylinderförmige Sorte verglichen mit der gingkoblattförmigen ziemlich längere Luftknollen ansetzt, was bisher ohne Begründung nur als Tatsache beobachtet worden ist. Fig. 64 (Tafel. XXVIII). Aber von dem Standpunkte der Homologie gibt es einen genügenden Grund dafür, denn die Luftknollen stellen nichts anderes als die in der Luft entwickelten Erdknollen dar.

Noch dazu ein Beispiel. In dem Gewebe der Luftknollen lassen sich hier und dort tiefbraun gefärbte Zelleinschlüsse bemerken, während sie in dem Erdknollengewebe so gut wie nicht vorkommen. Werden aber die Luftknollen in der Erde zur Entwicklung kommen gelassen, erscheinen diese Einschlüsse nicht mehr. Umgekehrt kann man sie auch in den Erdknollen finden, wenn man sie sich anstatt im Boden in der Luft entwickeln lässt. Dies ist gleichfalls ein Beweis, dass die beiden Knollen auch betreffs des biochemischen Charakters identisch sind.

III. Diskussion.

Im Vorhergehenden habe ich mich bestrebt, den Grund für die Homologie der Luft- und Erdknollen möglichst zu erklären. Der Beweis dafür erscheint mir zur Genüge erbracht zu sein. Nachdem bewiesen worden ist, dass die Erdknollen mit den Wurzeln von derselben Natur sind (erste Prämisse) und ferner dass die Luftknollen mit den Erdknollen homolog sind (zweite Prämisse), ist es ohne weiteres einleuchtend, welcher Schluss daraus zu ziehen ist: Die Luftknollen sind ein Organ, das ebenso wie die Erdknollen mit der Wurzel identisch ist. Dies mag wohl zwar etwas absonderlich klingen, aber es ist Wahrheit. Solange kein Gegenbeweis gegen eine oder beide der oben angeführten Prämissen vorgebracht wird, wird man meine diesmal von neuem vorgeschlagene Ansicht billigen müssen.

Es gibt bisher meines Wissens nur drei Forscher, die von der Natur der Luftknollen berichtet haben: Queva, Miss Dale und

Goebel. Wie bereits erwähnt, hielten alle diese Forscher die Luftknollen übereinstimmend für einen geschwollenen Achselspross. Merkwürdigerweise kann ich aus den Abhandlungen dieser Forscher nichts Bestimmtes erfassen, aus welchen Gründen sie derart geurteilt haben. Um nur ein Beispiel dafür zu erwähnen, haben sie selbst den Bau der Leitbündel nicht berichtet. Bei dieser Gelegenheit sei beiläufig bemerkt, dass es mir unbegreiflich ist, dass Miss Dale, trotzdem sie unter dem Thema "On the Origin, Development, and Morphological Nature of the Aerial Tubers in *Dioscorea sativa* Linn." dem Entwicklungsverlauf der Luftknollen nachgegangen ist, über die Tatsache, dass die Knospe mit der Zeit ihre Stellung verändert, nicht berichtet hat, obwohl sie angegeben hat, dass an der ausgewachsenen Knolle die Knospe sich dicht neben der Anheftungsstelle befinde.

Da kein sicherer Anhaltspunkt von diesen Forschern zu Gebote gestellt ist, bin ich nicht imstande, gegen ihre Meinungen Widerlegung zu wagen. Aller Wahrscheinlichkeit nach scheint ihre Ansicht von ihrer subjektiven Beurteilung herzurühren.

Wie einleitend erwähnt, hat Goebel schon vor mehr als 40 Jahren die Luft- und Erdknollen als homolog festgestellt. Es ist schade, dass er trotzdem nicht ebenso gut wie der Verfasser zu derselben Schlussfolgerung wie dieser gelangt ist; die Ursache liegt einfach darin, dass er allzu sehr daran festgehalten hat, dass die Luftknollen Anschwellungen der Sprossachsen darstellten. Er hätte die Luftknollen noch genauer und aufmerksamer beobachten sollen, weil ein Grundirrtum in seiner Beobachtung vorhanden ist, wie das sich aus seiner nebenstehenden Zeichnung von Luftknollen und Erklärung im Text ergibt: "In Fig. 12 ist ein Knöllchen abgebildet, das Wurzeln und (an dem seiner ursprünglichen Anheftungsstelle gegenüberliegenden Ende) einen beblätterten Spross getrieben hat" (Seite 181) Fig. 65 (Tafel. XXVIII). Er hat gedacht, dass die Knospe der Luftknolle sich an einem der Anheftungsstelle gegenüberstehenden Ende befinde, etwa wie es bei den Luftknollen der Kartoffelpflanze der Fall ist, mit anderem Worte, dass die Luftknollen etwa radiär symmetrisch gebaut seien. Hierin liegt sein erster Irrtum. Wie erwähnt, sind die Knospe sowie die Anheftungsstelle dicht nebeneinander stehend an demselben Ende vorhanden. Wäre aber das, was er dafür hält, in der Tat richtig, so müsste er gerade dadurch noch einen zweiten Fehler begehen, denn es ist

falsch, dass er die Luftknollen mit den Erdknollen als homolog hingestellt hat. Wäre dies wie er meint, so müsste die Knospe von Erdknollen sich an dem Vegetationspunkt vorfinden, weil er sonst nicht hätte behaupten können, dass die beiden Knollen homolog seien.

Insgesamt beruhen alle diese Fehler darauf, dass er nur die Stellung der Narbe, und von der Stellung der Knospe gilt das Gleiche, missverstanden hat. Es ist in der Tat im allgemeinen sehr schwer, die Stellung der Narbe sicher zu bestimmen; es ist so schwer, dass man sie kaum bestimmen kann, selbst wenn man ihre Stellung an der Pflanze abschätzt und gleich nach der Entfernung beobachtet. Goebels Fehler kann daher nicht ausschliesslich auf seine Achtlosigkeit allein zurückgeführt werden. Doch es ist mir unverständlich, warum er solchen Fehler begangen hat, in Betracht dessen, dass in der Abhandlung von Miss Dale, die ihm gut bekannt war, die Stellung der Knospe und die Anheftungsstelle richtig angegeben sind.

Ich kann mich des Erstaunens nicht erwehren, wenn ich denke, wie ein kleiner (wenn auch im wesentlichen sehr grosser) Fehler zu grossen falschen Schlüssen führen konnte. Goebel hat wegen solch eines kleinen Fehlers nicht nur die wahre Natur der Luftknollen selbst, sondern auch die der Erdknollen vom Grunde aus missverstanden. Hierzu will ich betonen, dass die Luftknollen sicher keine verdickten Sprossachsen sind.

Wenn trotzdem jemand die Luftknollen als solche ansehen will, so möchte ich an ihn einige nachstehende Frage richten:

- a) Wenn die Luftknolle eigentlich eine geschwollene Sprossachse wäre, wie käme es, dass sie einen dorsiventralen Bau besitzt, obgleich es begreiflich erschiene, wenn sie etwa wie die Luftknollen von Kartoffelpflanzen radiär symmetrisch gebaut wäre?
- b) Welchem Teil der Sprossachse entspricht jener seitlich gewölbte Auswuchs, den Fig. 55 (Tafel. XXV) veranschaulicht?
- c) Wie kommt es, dass auf der Luftknolle keine Spur weder von Blättern noch von Knoten zu finden ist? Nach Goebels Ansicht entspricht je eine Knospe der Luftknolle (falls zwei oder mehrere Knospen darauf vorhanden sind) je einem Seitensprosse, wobei sich aus einem ersten ein zweiter, aus diesem noch ein dritter und so weiter verzweigt hätten. Wenn dies wirklich der Fall wäre, erschiene es sehr begreiflich, dass in irgendeiner Form

auch nur die Spur von Blättern oder Knoten erhalten bliebe. Fig. 66 (Tafel. XXVIII) zeigt einige abnormerweise grosse Luftknollen in ihrer natürlichen Grösse. Darauf sieht man keine Spur von solchen. Wie wird diese Tatsache erklärt? Als blattlos gewordener Stengel wie im Falle der Erdknollen? Wenn man Goebel erklären lässt, so gibt es eine grosse Möglichkeit, dass er in solcher Weise antworten würde. Denn nach seiner Ansicht entsteht die Luftknolle als Seitenspross aus dem Achselspross oder aus der Inflorescenz und zwar deckblattlos, wie dies auch aus seiner Erklärung in Fig. 56 (Tafel. XXVI) ersichtlich ist. In Anschluss daran sei bemerkt, dass dies auch sein Missverständniss ist. *Dioscorea* ist von Natur aus begabt, an einer Blattachsel neben dem Achselspross oder der Inflorescenz auch noch mehrere Nebenknospen serienweise zu bilden, und mithin stellt ein einziges gewöhnliches Laubblatt ein gemeinsames Deckblatt dar (26).

- d) Wäre die Luftknolle in Wirklichkeit ein von der Sprossachse umgewandeltes Gebilde, so wäre folgende Tatsache kaum erklärbar, dass zahlreiche Wurzelanlagen auf der Knolle vorhanden sind. Der oberirdische Stengel (abgesehen von unterirdischem Stengel) von *D. Batatas* als Steckling gesteckt, erzeugt keine einzige Wurzel, wie Goebel selbst sich überzeugen konnte. Allgemein gesagt, gibt es Pflanzen, die sich zwar durch Stecklinge nicht bewurzeln wohl aber durch Ableger bereitwillig bewurzeln. Nach meinen Erfahrungen kommt bei *Dioscorea* die Bewurzelung auch durch Ableger überhaupt nicht vor. Man wird also wohl nicht fehlgehen mit der Annahme, dass in dem Stengel von *Dioscorea* wurzelbildende Fähigkeit überhaupt nicht vorhanden ist. Wie kommt es, dass trotzdem die Luftknolle, die nach bisheriger Ansicht nichts anderes als ein Seitenspross sein müsste, zahlreiche, selbst dem freien Auge sichtbare Wurzelanlagen erkennen lässt? Fig. 67 und 68 (Tafel. XXIX).
- e) Zum Schluss ist es mir gelungen, die Pflanzen solches Gebilde erzeugen zu lassen, das uns lehrt, dass die Luftknolle, wenn sie wirklich eine verdickte Achselknospe wäre, in einer derartigen Form zum Vorschein kommen müsste. Fig. 69 (Tafel. XXIX). Welch grosser Unterschied zwischen dieser Form und einer gewöhnlichen Luftknolle! Welche von beiden ist eigentlich die geschwollene Achselknospe?

Alle oben aufgeworfenen Fragen sind insgesamt das, was sich durch die bisher herrschende Ansicht über die Luftknollen nicht befriedigend hat beantworten lassen; dagegen sehr bequem durch die von mir diesmal vorgeschlagene Ansicht beantwortet werden kann. Die Luftknollen sind bis auf den heutigen Tag von allen Gelehrten der Welt als ein Umgebilde von Achselsprossen betrachtet worden, ohne von jemand selbst als das fragliche Organ erkannt zu werden. Hierin liegt der Grund, warum ich sage, dass gerade die Luftknollen ein rätselhafteres Gebilde als die Erdknollen sind.

Die Luftknollen sind durchaus nicht die geschwollenen Sprossachsen, sondern ein Organ, das wie die Erdknollen als mit der Wurzel identisch betrachtet werden muss.

Zusammenfassung.

Vorliegende Versuche wurden unternommen zu dem Zweck, die wahre Natur der Erd- und Luftknollen von *D. Batatas* festzustellen. Die Versuchsergebnisse lassen sich folgendermassen kurz zusammenfassen.

I. Ueber die wahre Natur von Erdknollen.

1. Es ist mir gelungen, die Pflanzen neben der gewöhnlichen Erdknolle gleichzeitig noch eine andere erzeugen zu lassen, die mit Niederblättern versehen ist, eine Stengelknolle, d. h. ein äusserst seltsames Gebilde, das bisher niemand beobachtet hat.
2. Durch Auftreten desselben ergab sich, dass die Erdknolle wenigstens nicht ein aus dem Stengel umgewandeltes Organ darstellt, und noch dazu, dass die von Goebel vorgeschlagene Ansicht, die Erdknolle stehe zwischen Wurzel und Stengel, nicht mehr aufrechterhalten werden kann. Gleichzeitig wurde die Hoffnung für die Meinung, dass die Erdknolle eine geschwollene Wurzel sein müsse, gesteigert.
3. Darauf wurde die Erdknolle von aussermorphologischen, physiologischen und anatomischen Gesichtspunkten genauer erprobt. Als Folge davon stellte sich heraus, dass sie, abgesehen von der Bauart der Gefässbündel, in allen übrigen Eigenschaften mit denen der Wurzel vollkommen übereinstimmt.
4. Mit Rücksicht auf die Tatsache, dass selbst eine Wurzel, knollenartig verdickt, gleichfalls einen mit der gewöhnlichen Erdknolle

gleichkommenden Bau der Gefässbündel aufweist, kann der kollaterale Bau der Gefässbündel nicht als der entgegengesetzte Beweis aufrechterhalten werden, dass die Erdknollen mit den Wurzeln nicht von derselben Natur seien, ja sogar kann die oben erwähnte Tatsache anstatt dessen als darauf hindeutend aufgefasst werden, dass die Erdknollen den Wurzeln gleichen.

Aus diesen Gründen habe ich die Schlussfolgerung gezogen, dass die Erdknolle von *D. Batatas* ein mit der Wurzel identisches Organ darstellt.

II. Ueber die wahre Natur der Luftknollen.

1. Es wurde neuerdings bestätigt, dass der Stengel von *D. Batatas* in seiner ganzen Ausdehnung, einschliesslich des im Boden befindlichen Teiles, mit der Fähigkeit begabt ist, an jeder der Blattachsen oder an jedem der Knoten Knollen zu bilden, obwohl in der freien Natur die Knollenbildung auf eine bestimmte Region, d. h. an dem oberirdischen Teile auf den dem apikalen Ende nahe liegenden Teil, am unterirdischen Teil auf seine unterste Basis beschränkt ist.
2. Es wurde bestätigt, dass die beiden Knollen je nach Umständen wechselseitig ineinander übergehen können und dass die Kleinheit der Luftknollen durch die Zusammenwirkung von Licht und Trockenheit der Luft verursacht wird und mithin die beiden Knollen im Grunde genommen miteinander identisch sind.
3. Die Homologie der beiden Knollen wurde auch von entwicklungsgeschichtlichen Gesichtspunkten aus ganz sicher dargetan.
4. Es ist dem Autor gelungen, die Pflanzen solche Gebilde erzeugen zu lassen, die, trotzdem sie sicher geschwollene Achselknospen darstellen, dennoch, mit den seit langem als solche betrachteten üblichen Luftknollen verglichen, im wesentlichen ganz anders sind.

Aus Vorhergehendem wurde die Luftknolle als ein Organ beurteilt, das, gemeinsam mit der Erdknolle, von derselben Natur wie die Wurzel ist.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Y. Shima, für die zahlreichen Anregungen und Förderungen meinen herzlichsten Dank auszusprechen. Auch Herrn Prof. I. Namikawa, Prof. an der Kyoto Universität, Herrn S. Imai.

Prof. an der Gakugei Universität und fernerhin Herrn T. Tagawa, Prof. an der Hokkaido Universität, die mir bei dieser Arbeit viele wertvolle Ratschläge gegeben haben, danke ich dafür aufs wärmste. Ich danke ferner Herrn T. Tamura, der mir stets hilfsbereit zur Seite stand, für seine Güte. Nicht vergessen seien meine Assistenten Herren N. Iwaki und K. Mizue und der Akademiker Herr S. Inoue, die für Durchführung dieser Arbeit herzlichste Unterstützung geleistet haben, wofür ich ihnen an dieser Stelle meinen besonderen Dank aussprechen möchte.

Zum Schluss sei erwähnt, dass für diese Untersuchung von dem Gelehrtenverein des Unterrichtsministeriums eine Unterstützung geliefert wurde, wofür ich hier meinen herzlichsten Dank sage.

Literaturverzeichnis.

1. Bailey. Hortus.
2. Bailey. Encyclopedia of American Horticulture.
3. Bentham. Flora Australiensis. Vol. VI.
4. Bucherer. Beiträge zur Morphologie und Anatomie der Dioscoreen. Bot. Centr. Vol. XLIII.
5. Dale, E. On the Origin, Development and Morphological Nature of the Aerial Tubers in *Dioscorea sativa* Linn. Annals of Bot. Vol. XV.
6. De Bary. Anatomie der Vegetationsorgane.
7. Decaisne. Note sur la *Dioscorea Batatas*. Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Tome. XL.
8. Engler. Natürliche Pflanzenfamilien.
9. Goebel, K. Organographie der Pflanzen.
10. Goebel, K. Organe, welche zwischen Wurzeln und Sprossen stehen. Flora. Bd. 95. 1905.
11. Gray, A. School and Field Botany.
12. Hooker. Flora of British India. Vol. VI.
13. 市村 塘. 植物學講義.
14. 猪野俊平. 植物の組織.
15. 神谷辰三郎. 顯花植物分類學.
16. 喜田茂一郎. 蔬菜園藝全書.
17. 木村光雄. 薯蕷「大和黑皮種」の栽培に關する基礎的研究. 農業及び園藝十三卷 1803; 2011.
18. 草場榮喜. 蔬菜園藝.
19. Leclerc du Sablon. Sur le tubercule du *Tamus communis*. Revue générale de botanique. Tome. XIV.
20. Lindinger, S. Ueber den morphologischen Wert der an Wurzeln entstehenden Knollen einiger *Dioscoreen*arten. Beih. z. botan. Zentralblatt. XXI.
21. 牧野富太郎. 日本植物總覽.
22. Möbius, M. Beiträge zur Lehre von der Fortpflanzung der Gewächse.

23. 村越三千男. 大植物圖鑑.
 24. 永井威三郎. 作物栽培各論.
 25. Nicholson. The Illustrated Dictionary of Gardening.
 26. 小倉謙. 植物形態學.
 27. 小倉謙. 植物解培及び形態學.
 28. Queva. Recherches sur l'anatomie de l'appareil végétatif des Taccacées et des Dioscorées.
 29. Sachs. Stoff und Form der Pflanzenorgane.
 30. Sagot. Bull. de l. Soc. bot de France. 1871.
 31. 齋田功太郎. 内外植物誌.
佐藤禮介.
 32. 坂村徹. 植物生理學. 432頁.
 33. Sprecher. V. B. Tropische und subtropische Weltwirtschaftpflanzen.
 34. 下川義治. 蔬菜園藝.
 35. 高龜格三. 薯蕷の成長に關する研究 (抄録) 新園藝 2. 10. (1949).
 36. 遠山正英. 薯蕷の品種と栽培 新園藝 2. 12. (1949).
 37. Trimen & Hooker. Flora of Ceylon. Vol. IV.
 38. Vilmorin, A. Plantes potagères.
 39. Warming. Handbuch der systematischen Botanik.
 40. 渡邊誠三. 根菜.
 41. 米内山泰助. 蔬菜栽培精義.
 42. 吉井義次. 植物の光週性.
-

Tafelerklärung.

Tafel. X.

- Fig. 1.** Eine äusserst seltsame mit Blättern versehene Knolle, die sich aus einem Stengel umgewandelt hat, folglich eine Stengelknolle darstellt.
- Fig. 2.** Verhalten der Pflanze, falls die Saatknohle 45 cm. tief im Boden eingelagert wurde, Fig. 1 zeigt einen Teil der rechtsseitigen Pflanze.
A. Saatknohle. B. neue Erdknohle. C. der Stengel. D. Stengelknolle.
- Fig. 3.** Scheitelregion einer Erdknohle.
A. Zum nächsten Frühjahr bestimmte Knospe. B. Ablösungsstelle vom Stengel. C. Hals der Erdknohle.
- Fig. 5.** Junge Knolle, deren Spitze sich gemäss der Schwerkraft rechtwinklig abwärts gekrümmt hat.

Tafel. XI.

- Fig. 4.** Verhalten der Pflanzen, falls die Saatknohlen (Luftknohlen verwendet) verschieden tief im Boden eingepflanzt wurden; links zwei 10 cm., mittlere zwei 15 cm., rechts drei 30 cm. tief. Die weisse Linie deutet die Grundoberfläche an.
- Fig. 6.** Polarität und die Stelle der Adventivbildung an den Knollenstücken. Die Adventivknospe entwickelt sich stets am apikalen Ende der Knollenstücke gleichgültig ob sie im Boden (A) vertikal umgekehrt, (B) normal aufrecht, oder (C) wagrecht gepflanzt wurden.

Tafel. XII.

- Fig. 7.** Sitzenbleiben der Erdknohle, was an die Luftknohle erinnert.
A. Hals der Saatknohle. B. Stengel. C. neue Erdknohle.
- Fig. 8.** Vergrösserung des betreffenden Teiles in Fig. 7.
- Fig. 9.** Entwicklung der Knollen und Wurzeln innerhalb eines von Anfang an stets dunkel und feucht gehaltenen Kastens. Der in halber Höhe des Stengels umgewickelte weisse Papierstreifen deutet die Höhe des Kastens an.
- Fig. 10.** Längsschnitt einer ruhenden Knospe der Erdknohle. W. Wurzelanlage.

Tafel. XIII.

- Fig. 11.** Querschnitt einer Knospe durch ihre mittlere Höhe. W. Wurzelanlage.
- Fig. 12.** Querschnitt einer Knospe dicht unterhalb der Ebene, worauf sich Wurzelanlagen vorfinden. Die Knollenanlage ist nirgends zu sehen.
- Fig. 13.** Allererster Anfang der Knollendifferenzierung am basalen Teil des Stengels, endogene Entstehung.
A. Saatknohle. B. Stengel. C. Anlage der neuen Knolle.
- Fig. 14.** Noch fortgeschrittenes Stadium.
A. Saatknohle. B. Stengel. C. Spitze der neuen Knolle.

- Fig. 15.** Weiteres Stadium als Fig. 14.
A. SaatknoUe. B. Stengel. C. Neue ErdknoUe.

Tafel. XIV.

- Fig. 16.** Zerbrechen des Rindengewebes an der Basis des Stengels durch die von innen ausgetriebene ErdknoUe.
A. SaatknoUe. B. Stengel.
- Fig. 17.** Wurzelanlage aus der Stengelbasis.
- Fig. 18.** Gleichzeitige Entstehung von Wurzel- und Knollenanlage, die von einander scharf unterscheidbar sind.
A. SaatknoUe. B. Stengel. C. Knollenanlage. D. Wurzel.
- Fig. 19.** Differenzierung von Knollenanlage an der Basis des aus LuftknoUe ausgegangenen Stengels.
A. SaatknoUe. B. Stengel. C. Anlage der ErdknoUe.

Tafel. XV.

- Fig. 20.** Allererste Stufe der Adventivbildung, die nur eine Wucherung aus meristematischen Zellen darstellt.
A. SaatknoUe.
- Fig. 21.** Stadium, das Fig. 20 nachfolgt.
A. SaatknoUe. B. Knospe. C. neue KnoUe.
- Fig. 22.** Stadium, das nächst Fig. 21 vorkommt.
- Fig. 23.** Stadium, das Fig. 22 nachfolgt.

Tafel. XVI.

- Fig. 24.** Auftreten von SeitenknoUe aus der Unterseite der wagrecht erhaltenen KnoUe.
A. Ursprüngliche KnoUen. B. Spitze der SeitenknoUe.
- Fig. 25.** VerzweigungsknoUen dicht oberhalb der Schnittfläche.
Fünf Verzweigungs-knoUen sind dicht oberhalb der Schnittfläche der ursprünglichen KnoUe aufgetreten.
- Fig. 26.** Junge ErdknoUe, an deren rechter Seite die Verzweigung in Angriff genommen ist.
- Fig. 27.** VergroUerung der Verzweigungsstelle in Fig. 25.

Tafel. XVII.

- Fig. 28.** Wurzelanlage aus einer ErdknoUe.
- Fig. 29.** Wurzelhaube an der Spitze einer echten Wurzel.
- Fig. 30.** Spitze einer jungen ErdknoUe. Der Wurzelhaube entsprechendes Gewebe ist sichtbar.
- Fig. 31.** Spitze einer ausgewachsenen ErdknoUe.

Tafel. XVIII.

- Fig. 32.** Querschnitt eines Stengels.

- Fig. 33. Querschnitt eines aus einer Luftknolle entstandenen jungen Stengels.
 Fig. 34. Querschnitt einer Wurzel, wo der Gefäss- und Siebteil abwechselnd angeordnet sind.

Tafel. XIX.

- Fig. 35. Querschnitt durch eine Erdknolle. Die Gefässbündel sind im parenchymatischen Gewebe vereinzelt verbreitet.
 Fig. 36. Gefässbündelbau der Erdknolle.
 Fig. 37. Querschnitt durch eine Stengelknolle.
 Fig. 38. Gefässbündelbau der Stengelknolle.

Tafel. XX.

- Fig. 39. Abbildung, die von Goebels Abhandlung herrührt. Die Erklärung ist unten gegeben.
 Fig. 40. Wurzel, die an Stelle der Erdknolle aufgetreten zu sein scheint.
 A. Saatknohle. B. Stengel. C. Wurzel.
 Fig. 41. Dieselbe Erklärung wie Fig. 40.

Tafel. XXI.

- Fig. 42. Laubblatt, das mit etwas Stengelgewebe an der Blattstielbasis angeheftet weggeschnitten wurde.
 Fig. 43. Knollenbildung an der Basis des Blattstieles, etwa einen Monat nach dem Stecken in den Boden.
 Fig. 44. Veränderungsverlauf von Grösse und Form der Luftknollen bei dem Blattsteckling.

Tafel. XXII.

- Fig. 45. Art und Weise, wie der Stengel in den Boden eingeschlagen wurde.
 A. Hals der Saatknohle. B. Stütze und Stengel. C. eingeschlagener Teil.
 Fig. 46. Umwandlung von Luftknolle in die Erdknolle, die aus dem im Boden eingeschlagenen oberirdischen Stengelteil von der zylinderförmigen Sorte hervorgetreten ist. (Aufnahme: Anfang November, 1949).
 Fig. 47. Knohle, die in der Natur in der Mitte des unterirdischen Stengelteilcs aufgetreten ist.

Tafel. XXIII.

- Fig. 48. Zwei äusserst seltsame Exemplare, die neben der gewöhnlichen Erdknolle noch eine Knohle an einem unterirdischen Knoten gebildet haben.
 A. eigentliche Erdknolle. B. die in Rede stehende Knohle. C. Saatknohle.
 Fig. 49. Künstlich hervorgerufene Knollenbildung an unterirdischem Knoten, der sonst in der Regel nie Knohle ansetzt.
 Sorte: Gingkoblattformige.

- Fig. 50.** Der Luftknolle täuschend ähnliche Erdknolle, die sich der Luft ausgesetzt entwickelt hat.
A. Saatknolle. B. Stengel. C. neue Erdknolle.

Tafel. XXIV.

- Fig. 51.** A. Erdknollen aus überaus kleinen Saatknollen, die als geschrumpfte Reste erhalten bleiben.
B. Gewöhnliche Luftknollen.
- Fig. 52.** Gegenüberstellung von Erdknolle (rechts) und Luftknolle (links) bei dem Blattsteckling.
A. Stengel a. Blattstiel.
B. Mutterknolle..... b. Blattachsel.
C. Erdknolle. c. Luftknolle.
- Fig. 53.** Ansetzung der Luftknollen unter natürlichen Umständen. Sie sind auf den herabhängenden Stengelteil beschränkt.

Tafel. XXV.

- Fig. 54.** Anfangstermin der Luftknollenentsehung, wo nur eine Wucherung zutage getreten ist, ein Stadium, das demjenigen von Fig. 20. entspricht.
A. Stengel. D. Inflorescenz. E. Blattstiel.
- Fig. 55.** Nächst Fig. 54 vorkommendes Stadium, wo die Differenzierung von verschiedenen Organen in Angriff genommen ist. Dieses Stadium entspricht demjenigen von Fig. 21 und Fig. 22.
A. Stengel. B. Knospe. C. Knollenanlage. D. Inflorescenz. E. Blattstiel.
W. Wurzelanlage.
- Fig. 20.** Anfangstermin der Adventivbildung aus einer Saatknolle.
- Fig. 21.** Nächst Fig. 20 vorkommendes Stadium.
A. Saatknolle, B. Knospe. C. Knollenanlage.
- Fig. 22.** Weiter fortgeschrittenes Stadium als Fig. 21. Die Erklärung der Zeichen ist gleich wie Fig. 21.

Tafel. XXVI.

- Fig. 56.** Abbildung aus Goebels Abhandlung. Die Erklärung ist dort unten gegeben.
- Fig. 57.** Wechselseitige Beziehung von Anheftungsstelle und Knospe an der Luftknolle.
A. Knospe. B. Anheftungsstelle.
- Fig. 58.** Längsschnitt einer Luftknolle, der die Oertlichkeit von Anheftungsstelle und Knospe zeigt.
A. Knospe. B. Anheftungsstelle.
- Fig. 61.** Längsschnitt einer ganzen Luftknolle.
- Fig. 62.** Den Luftknollen äusserst ähnlich sehende Erdknollen, die direkt aus den Mutterknollen gebildet sind.

Tafel. XXVII.

- Fig. 59.** Entwicklungsverlauf der Luftknolle, von oben nach unten. Die Knospe, die

anfangs nach abwärts sieht, ändert ihre Richtung im Zusammenhang mit dem Weiterwachsen der Luftknolle immer mehr und mehr nach oben, um sich schliesslich nach dem Himmel zu richten. Der Pfeil zeigt die Richtung der Schwerkraft.

- Fig. 60.** Erd- und Luftknolle, die, um auf eine dazwischen vorhandene morphologische Homologie hinzudeuten, gegenüber gestellt sind.
 A. Knospe. B. Ablösungsstelle von der Mutterknolle.
 a. Knospe. b. Ablösungsstelle von der Mutterpflanze.

Tafel. XXVIII.

- Fig. 63.** An dem im Boden eingeschlagenen oberirdischen Stengel gebildete Luftknollen von ginkoblattförmiger Sorte. Ihr Aussehen erinnert an die Erdknollen derselben Sorte. Vergleiche man diese Figur mit Fig. 46.
- Fig. 64.** Luftknollen der zylinderförmigen- (A) und ginkoblattförmigen Sorte (B).
- Fig. 65.** Goebels Zeichnung von Luftknollen.
 a. Anheftungsstelle. S. Knospe.
- Fig. 66.** Ungewöhnlich grosse Luftknollen in natürlicher Grösse.

Tafel. XXIX.

- Fig. 67.** Querschnitt von Luftknolle, worauf 3 Wurzelanlagen sichtbar sind.
 W. Wurzelanlage.
- Fig. 68.** Wurzelanlage aus einer Luftknolle.
- Fig. 69.** "Eine verdickte Achselknospe", die aber mit der gewöhnlichen Luftknolle nichts zu tun hat.

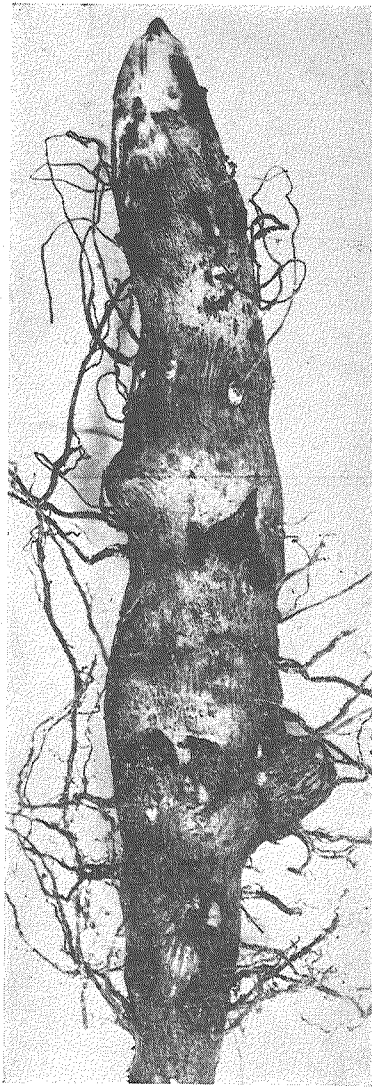


Fig. 1.

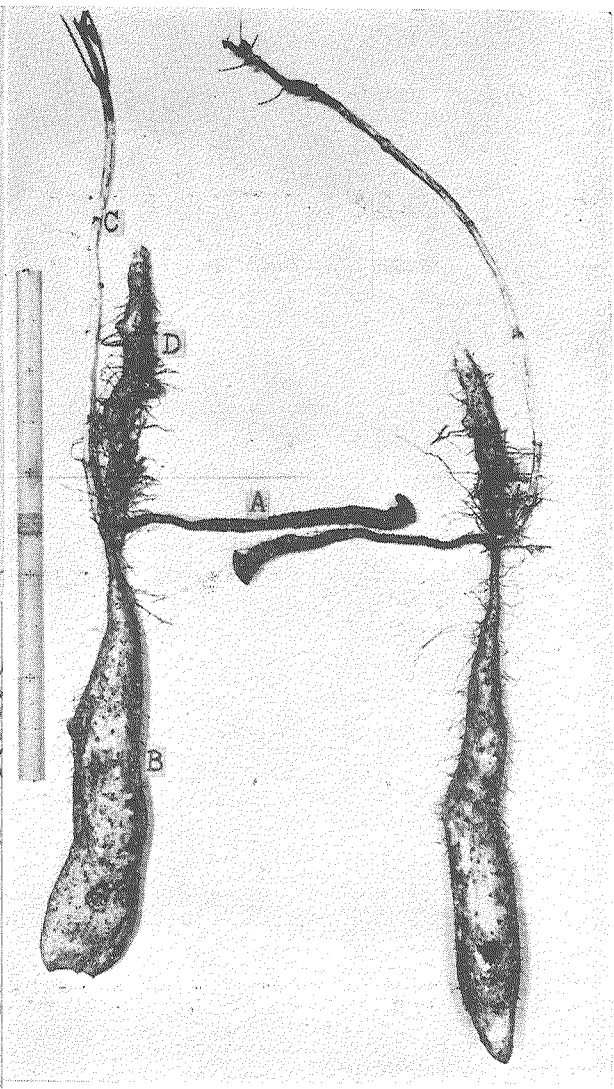


Fig. 2.

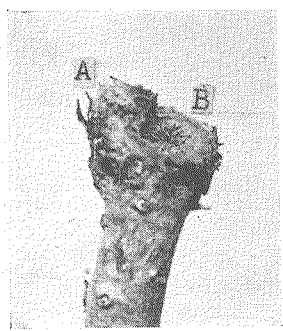


Fig. 3.

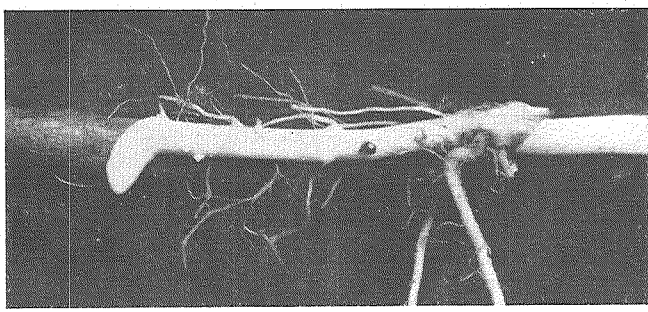


Fig. 5.

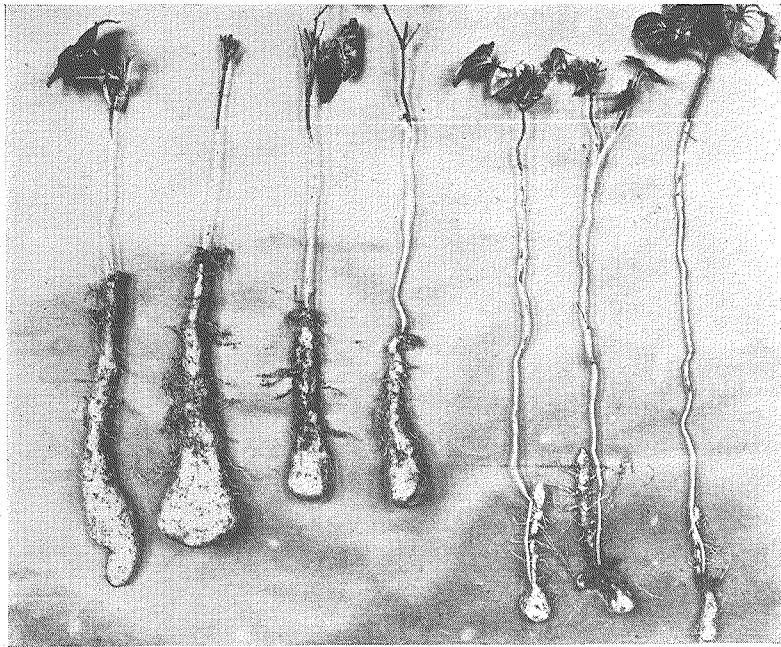


Fig. 4.

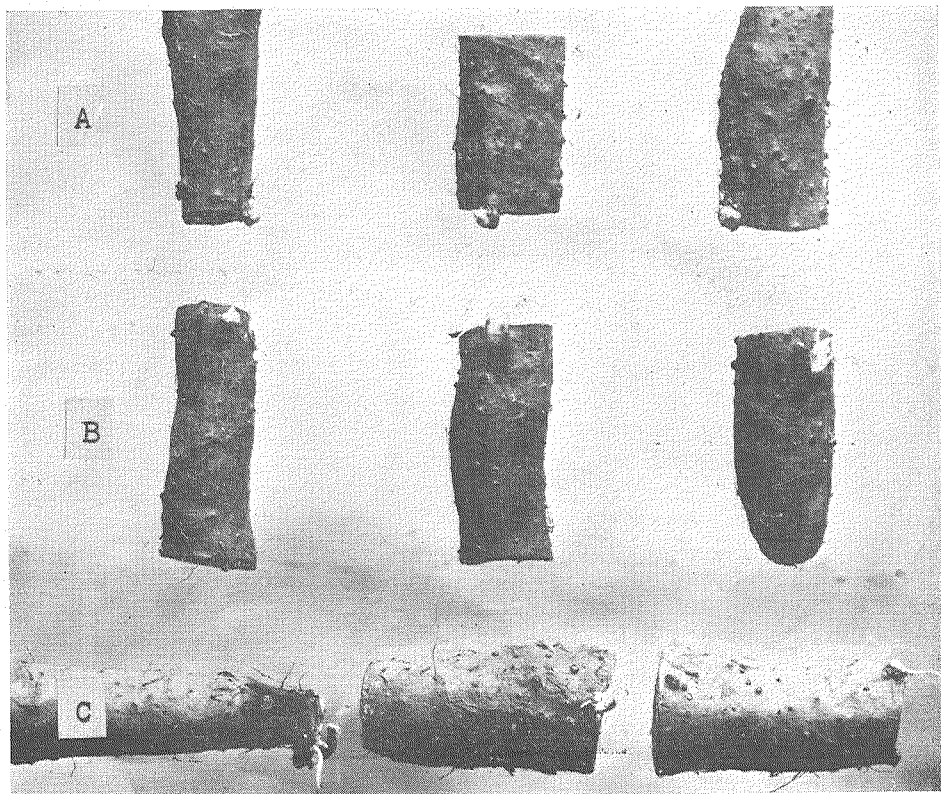


Fig. 6.

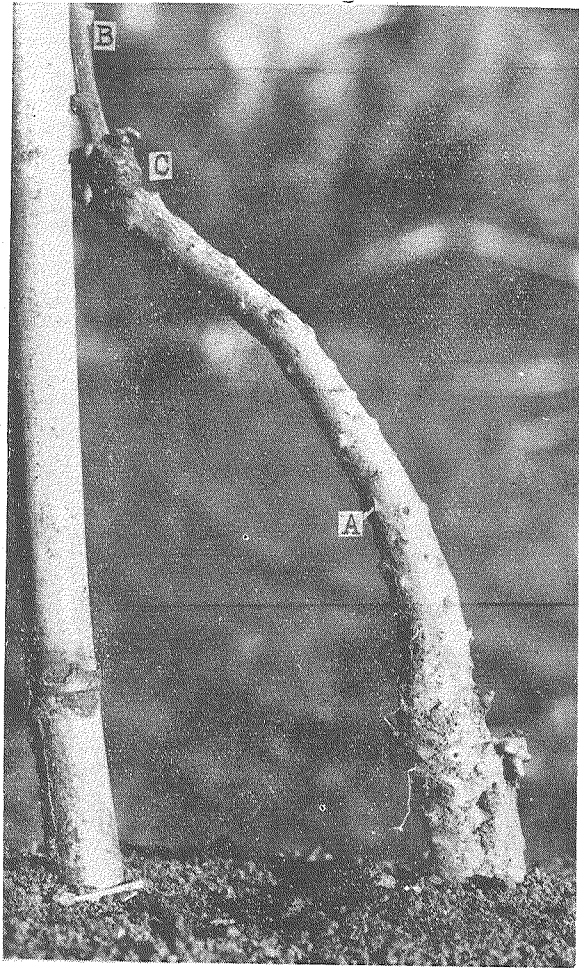


Fig. 7.

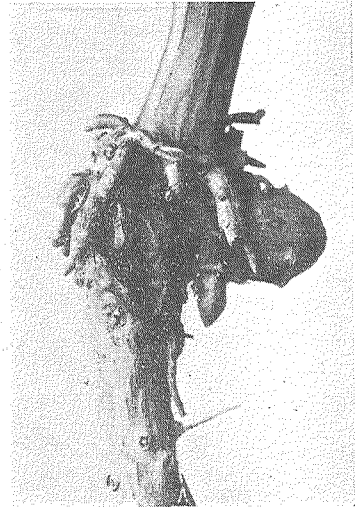


Fig. 8.

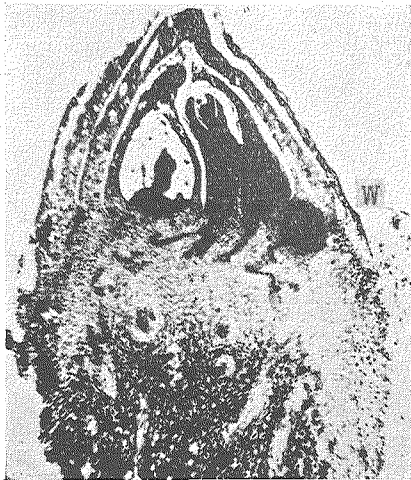


Fig. 10.



Fig. 9.

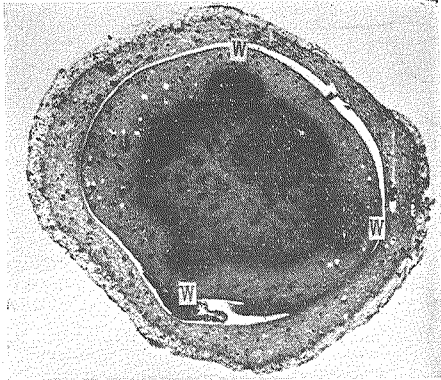


Fig. 11.

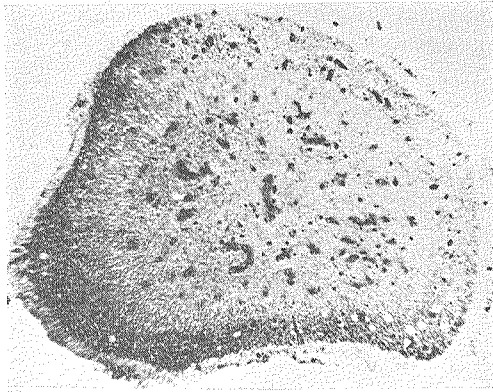


Fig. 12.

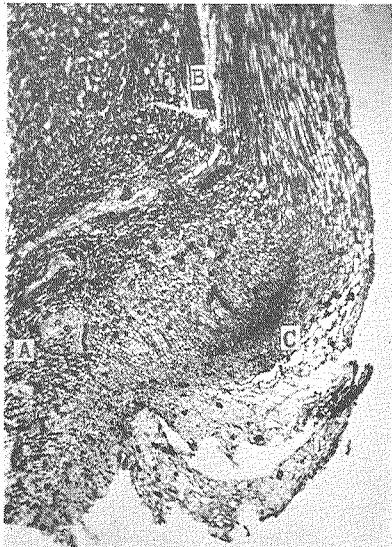


Fig. 13.

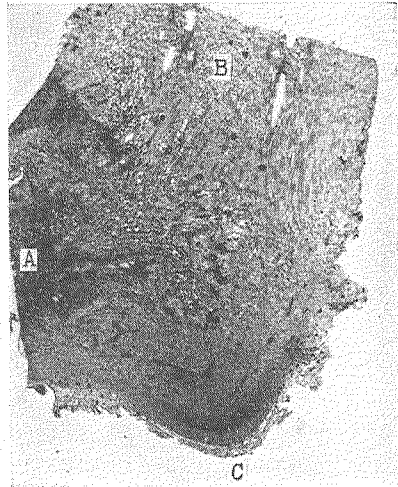


Fig. 14.

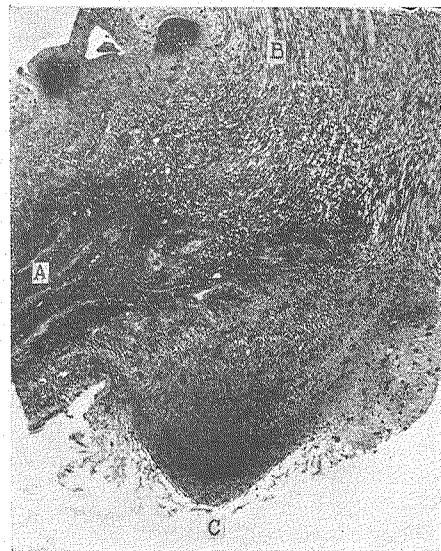


Fig. 15.

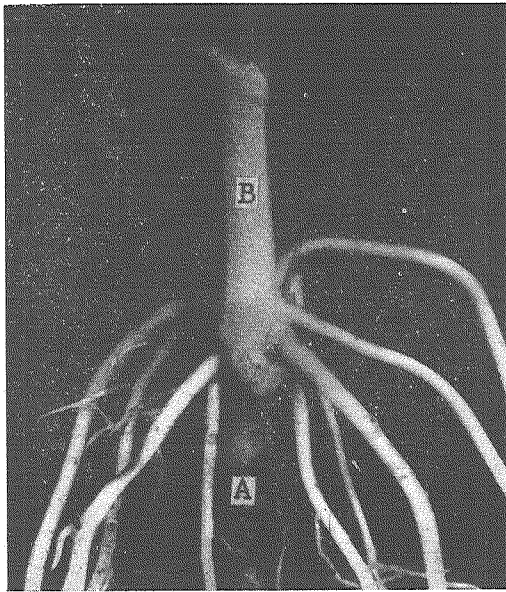


Fig. 16.

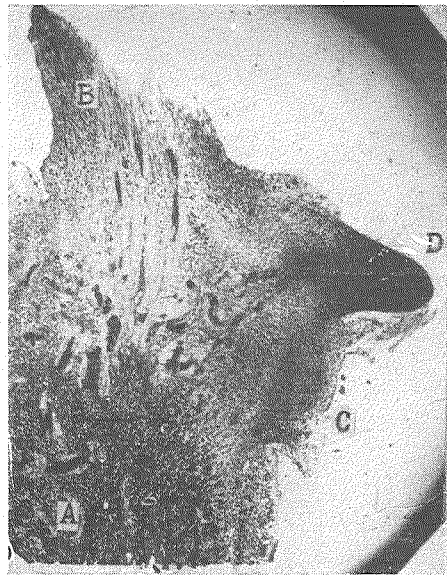


Fig. 18.

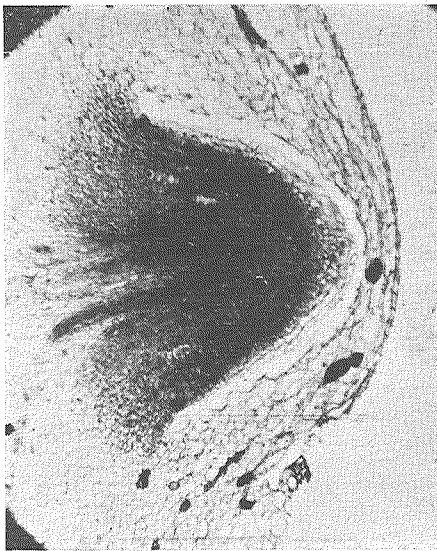


Fig. 17.

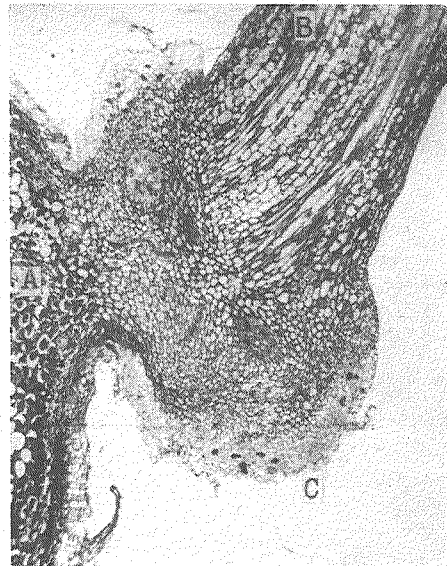


Fig. 19.

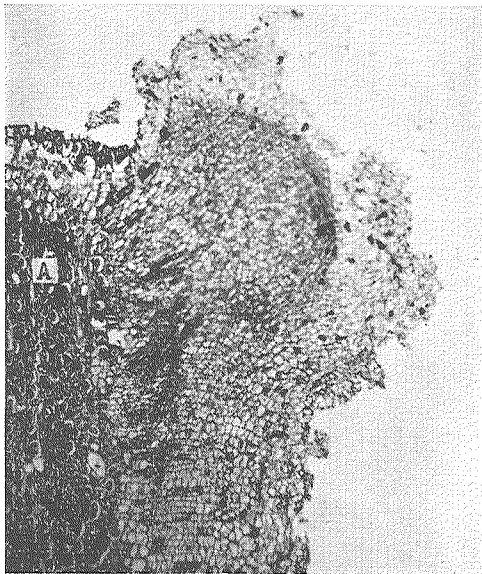


Fig. 20.



Fig. 22.

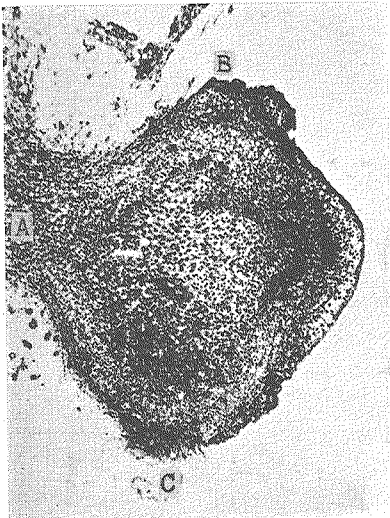


Fig. 21.



Fig. 23.

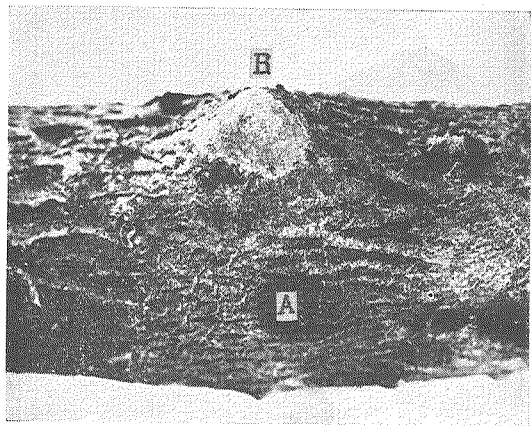


Fig. 24.

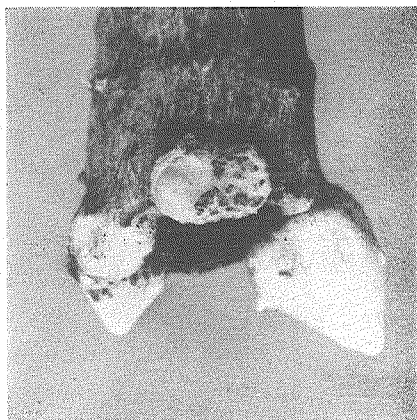


Fig. 25.



Fig. 26.

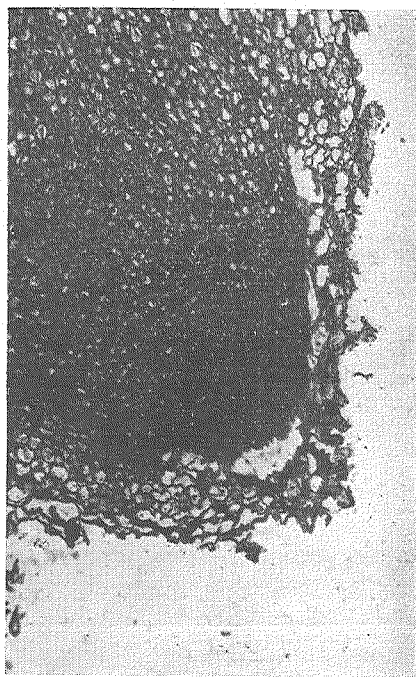


Fig. 27.

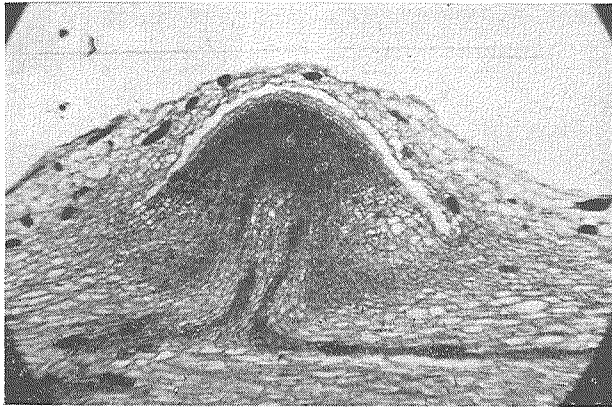


Fig. 28.

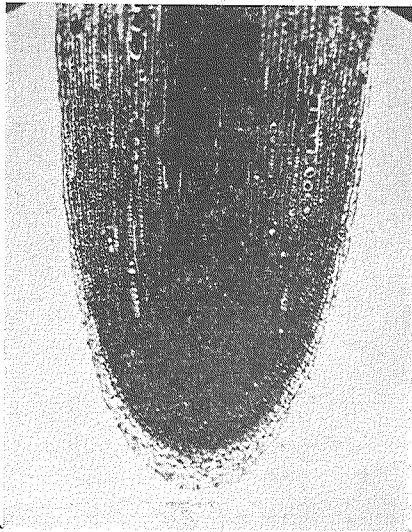


Fig. 29.

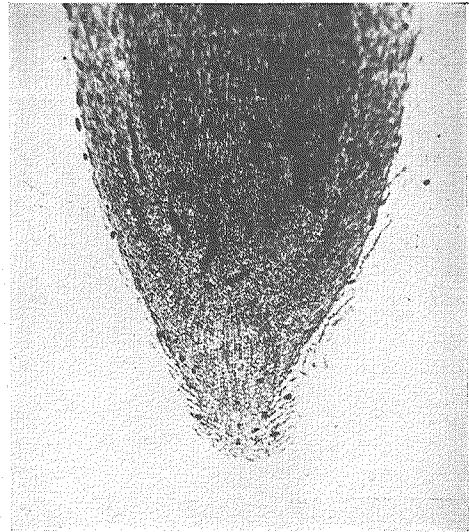


Fig. 30.

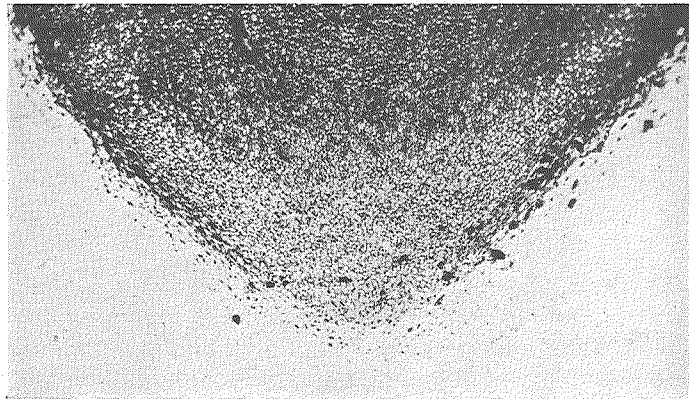


Fig. 31.

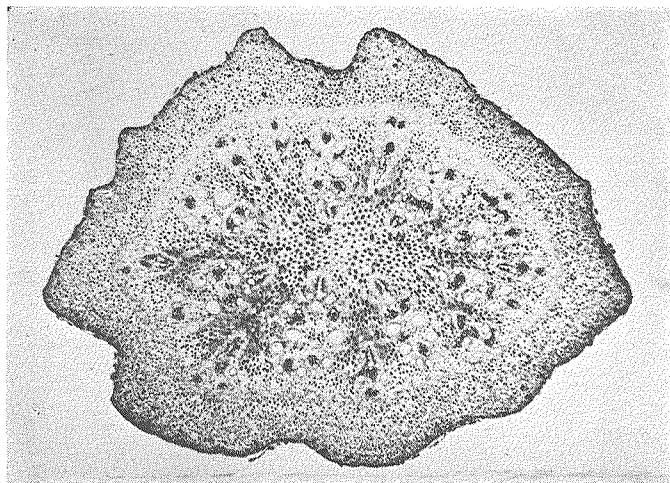


Fig. 32.

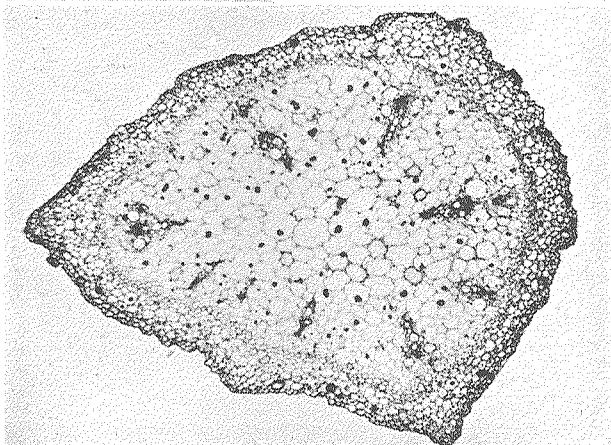


Fig. 33.

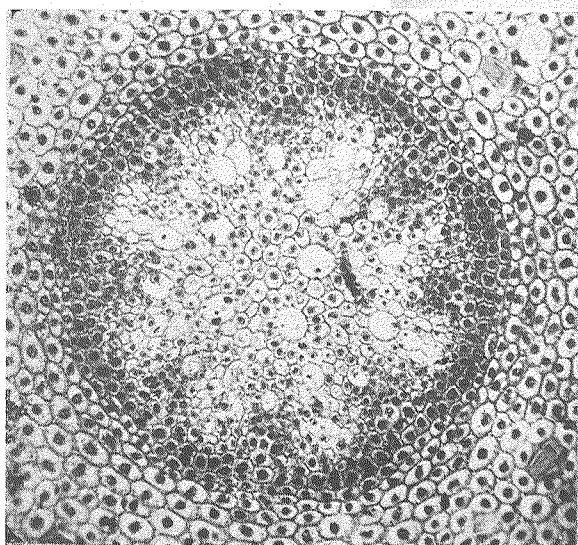


Fig. 34.

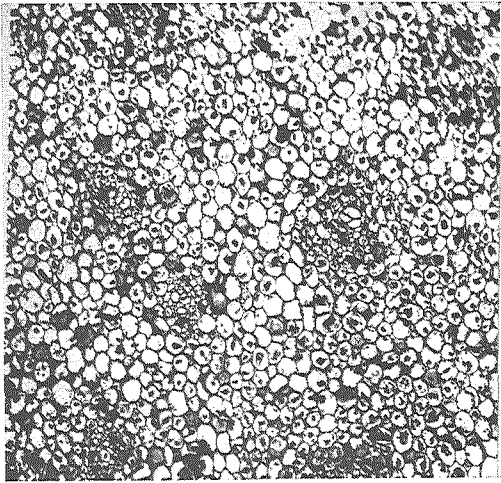


Fig. 35.

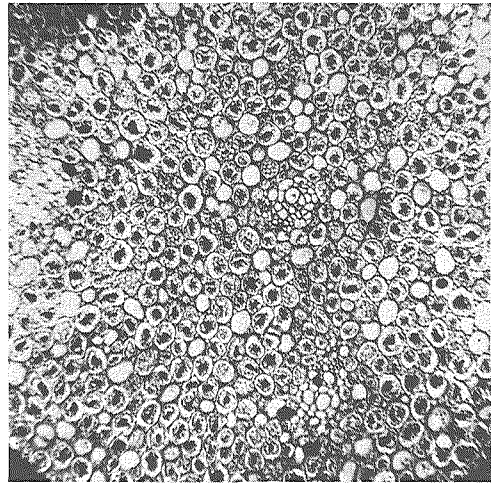


Fig. 37.



Fig. 36.

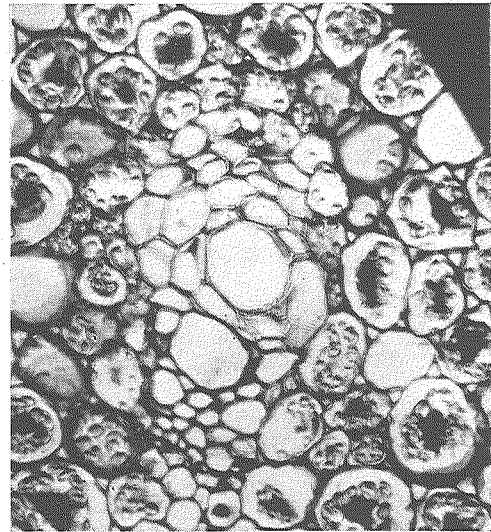


Fig. 38.

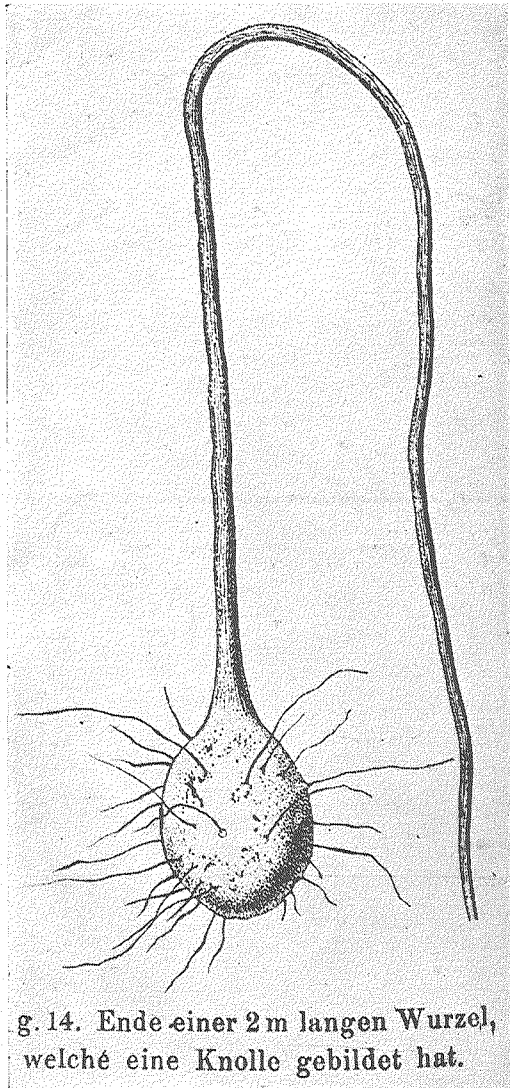


Fig. 39.

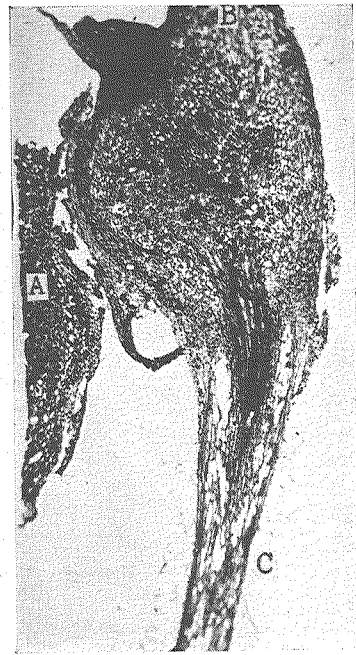


Fig. 40.



Fig. 41.

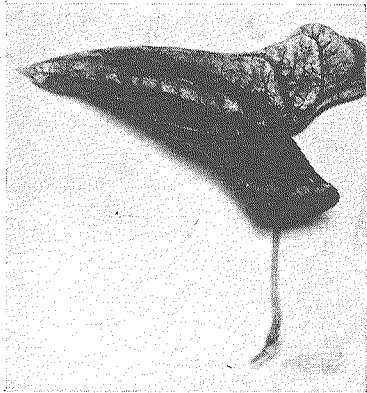


Fig. 42.

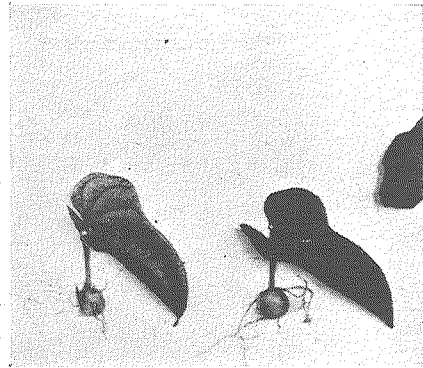


Fig. 43.

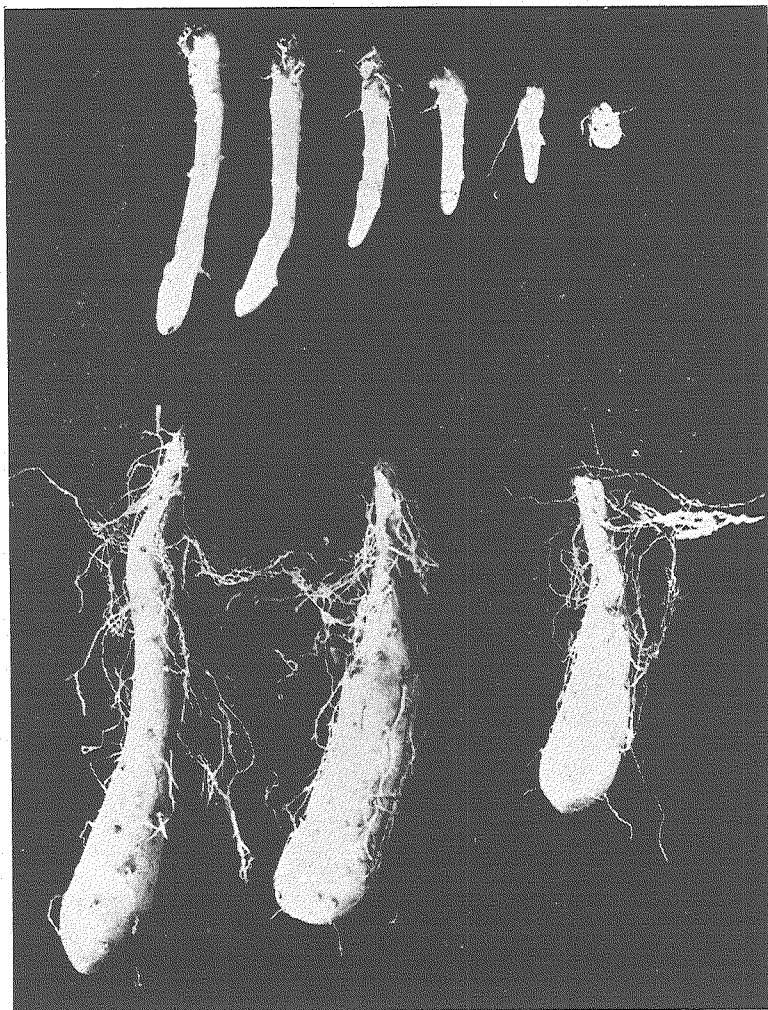


Fig. 44.

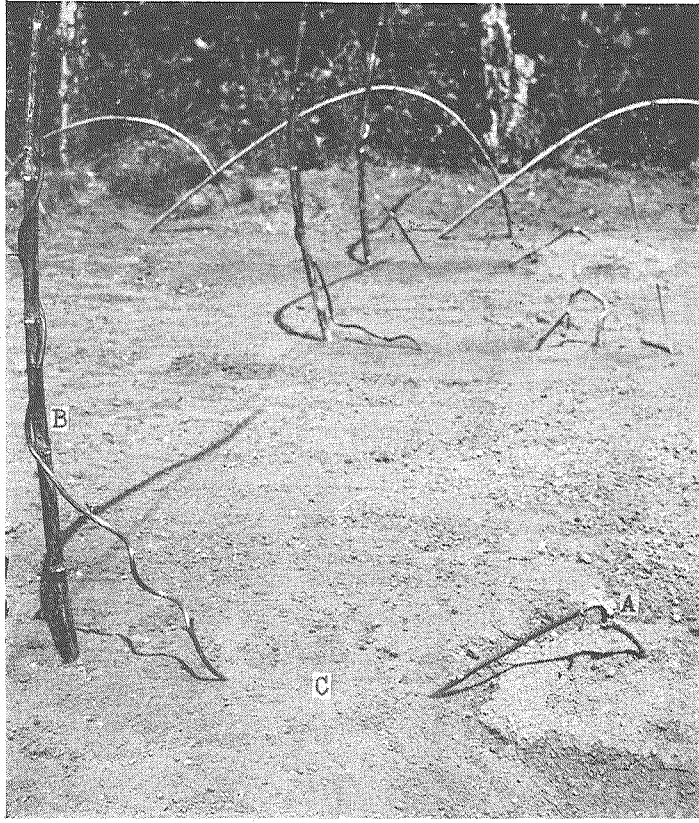


Fig. 45.

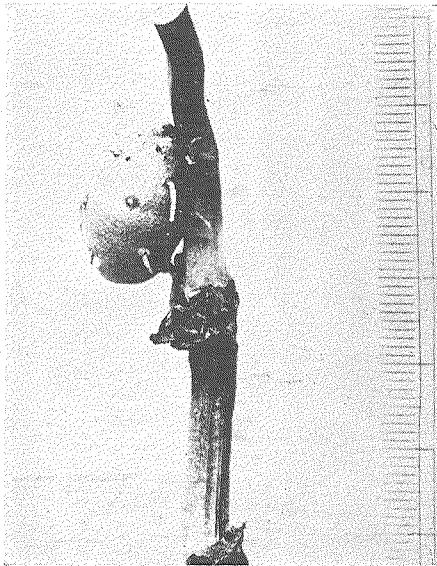


Fig. 47.



Fig. 46.

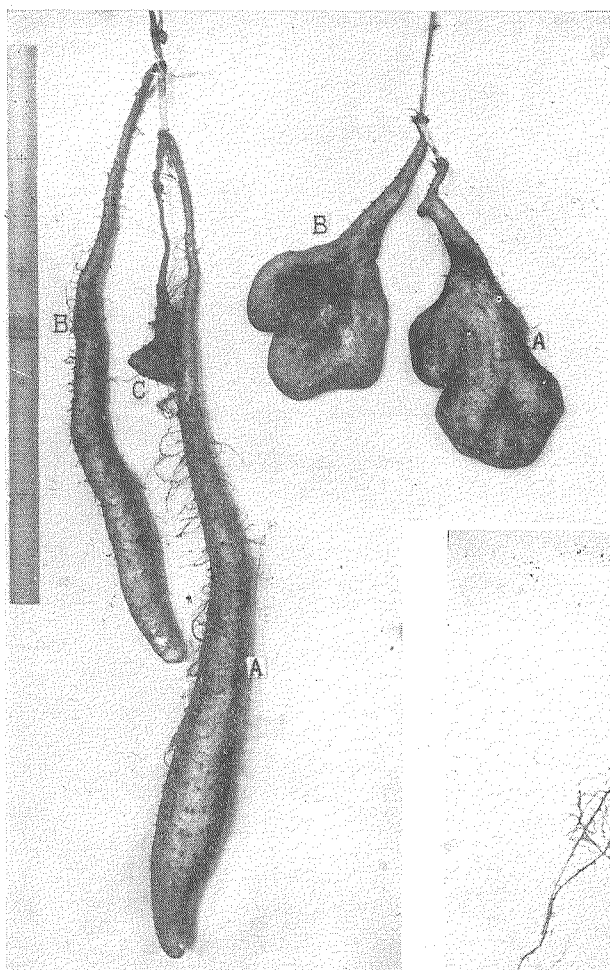


Fig. 48.

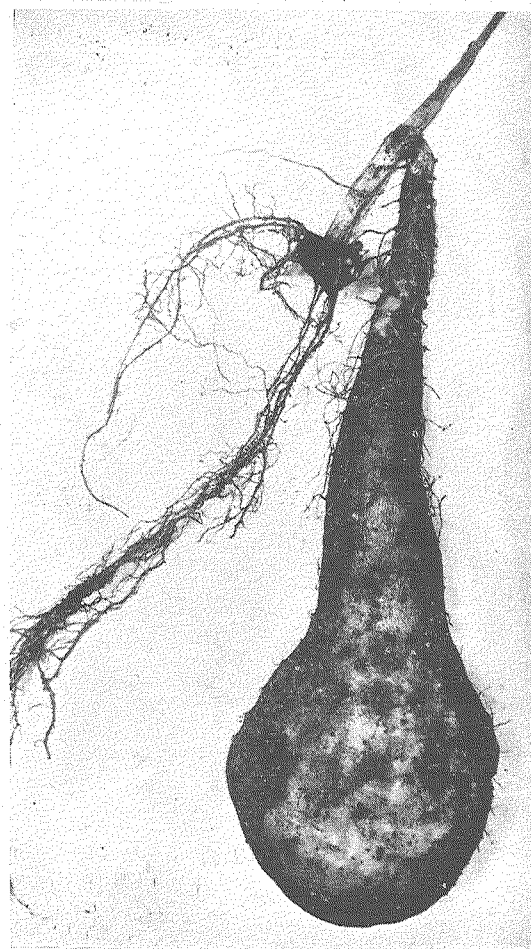


Fig. 49.

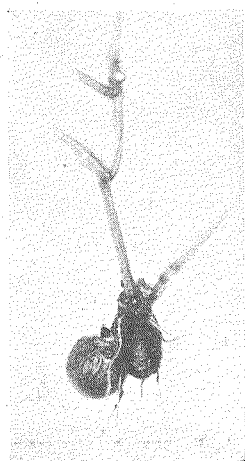


Fig. 50.

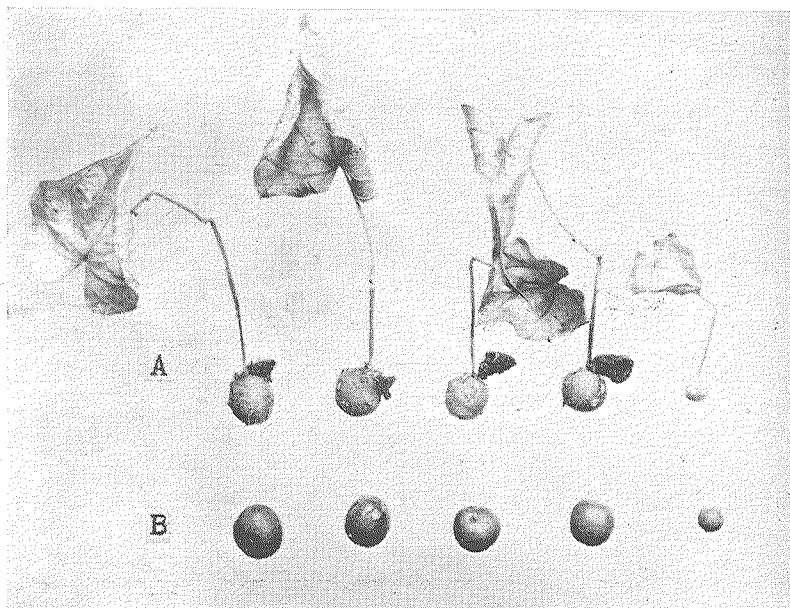


Fig. 51.

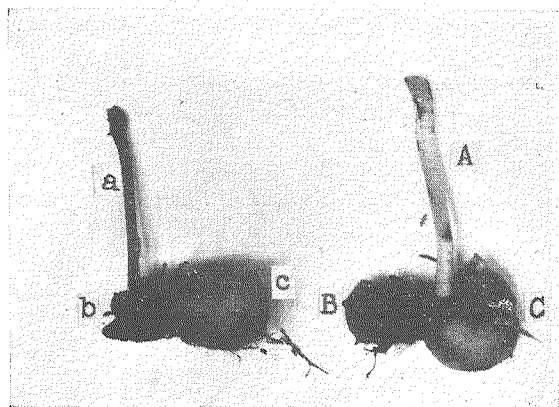


Fig. 52.

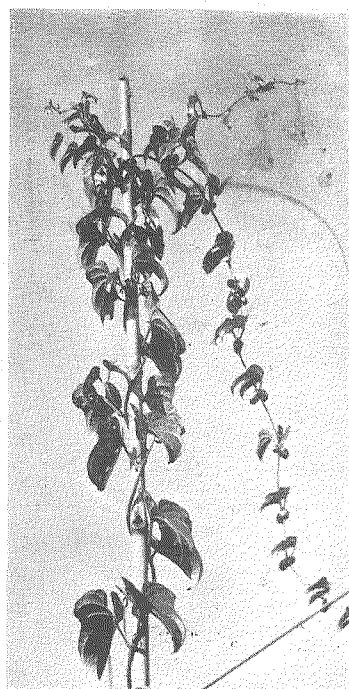


Fig. 53.

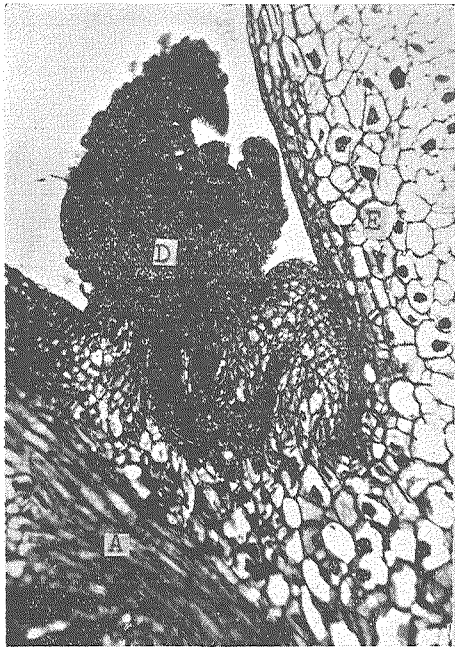


Fig. 54.

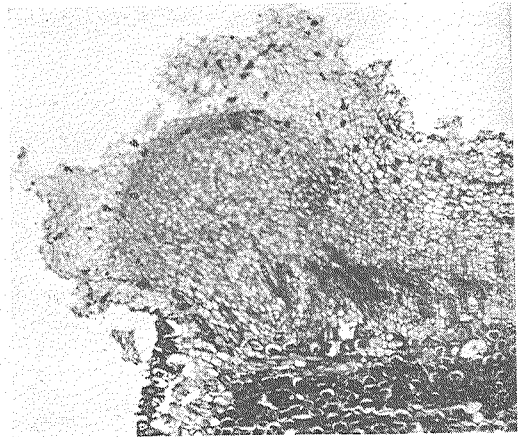


Fig. 20.

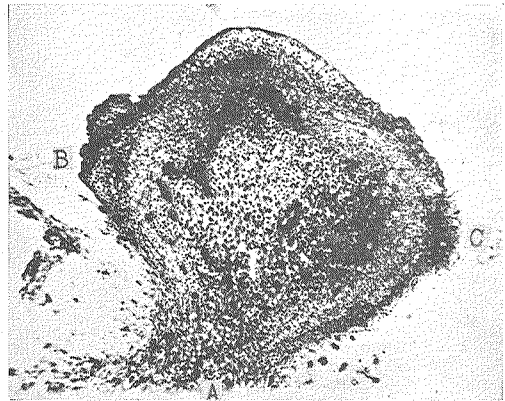


Fig. 21.



Fig. 55.

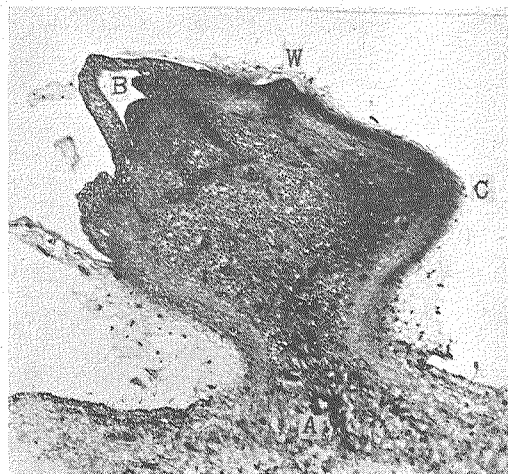


Fig. 22.

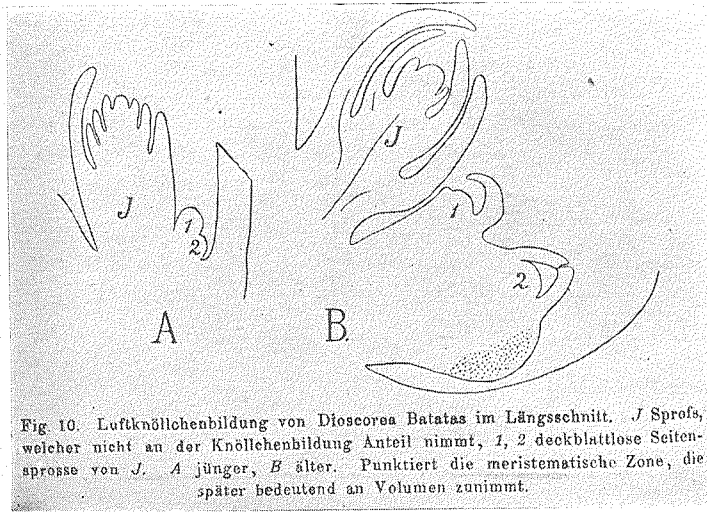


Fig. 56.

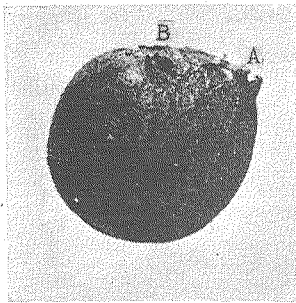


Fig. 57.

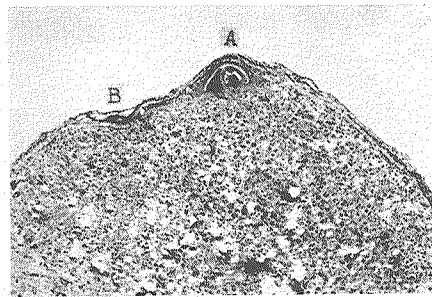


Fig. 58.



Fig. 61.



Fig. 62.

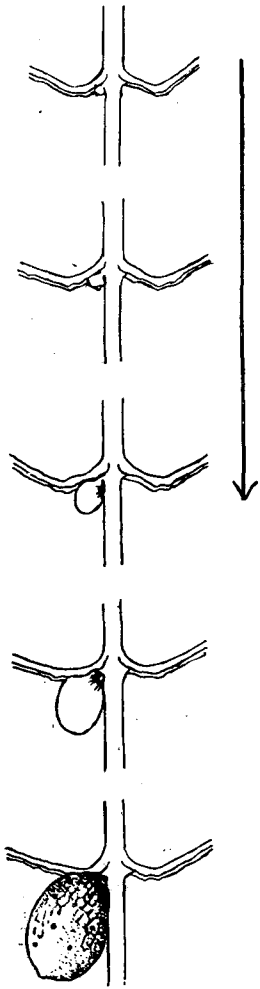


Fig. 59.

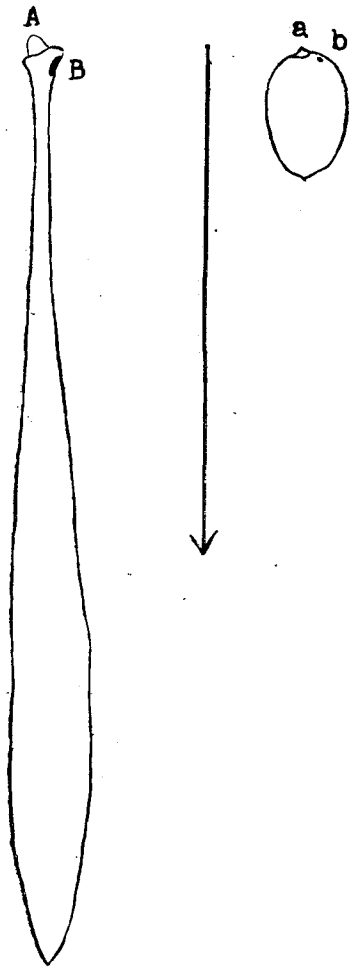


Fig. 60.

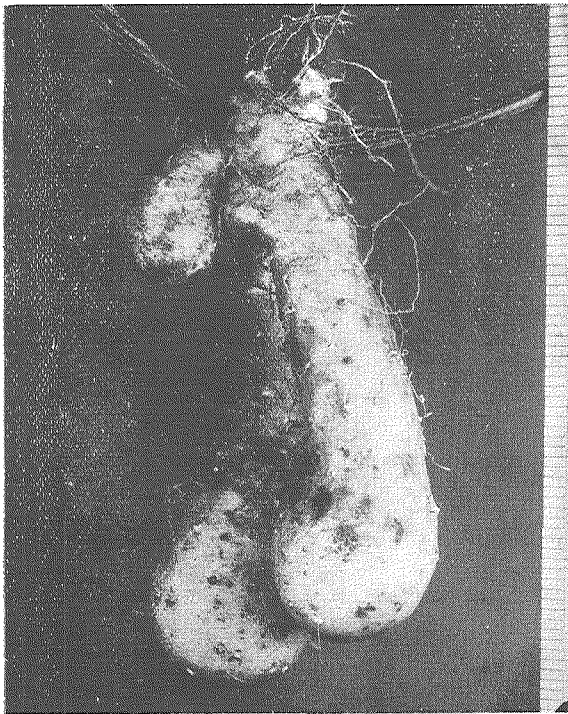


Fig. 63.

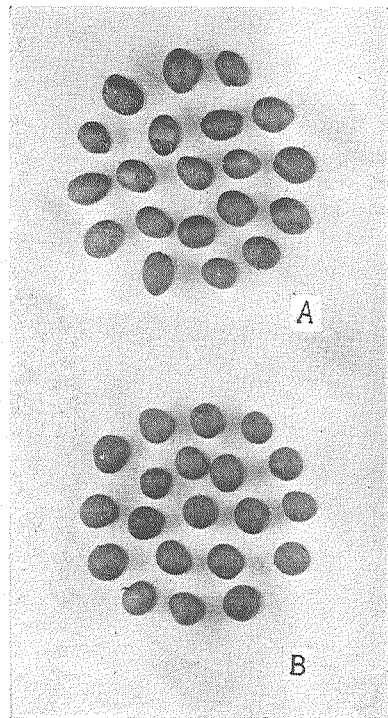


Fig. 64.

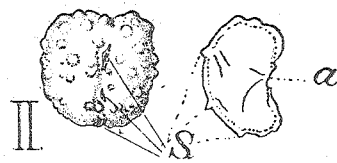


Fig. 65.



Fig. 66.

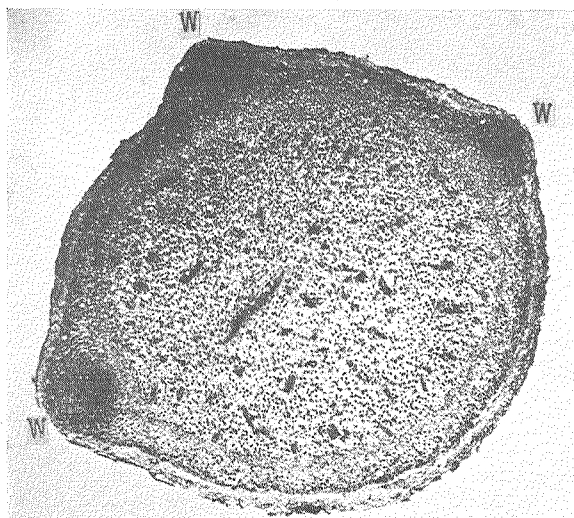


Fig. 67.



Fig. 68.



Fig. 69.