

1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100

Die kontraktile Wurzeln und ihre Thätigkeit.

Von

A. Rimbach.

Hierzu Tafel I und II.

Dass es Wurzeln giebt, welche das Bestreben haben, sich zu verkürzen, und welche dadurch einen mechanischen Einfluss auf die übrigen Teile der Pflanze ausüben, darauf sind schon seit geraumer Zeit verschiedene Forscher aufmerksam geworden. Joh. Aug. Tittmann¹ erwähnte zuerst das Hinabgezogenwerden der Keimpflanze von *Daucus carota* in die Erde im Jahre 1819 und sprach die Vermutung aus, dass dies durch die Thätigkeit der Wurzel herbeigeführt würde. J. G. Beer² nahm eine Verkürzung der Wurzel bei den Keimpflanzen von *Orchis mascula* und *variegata*, sowie bei *Ornithogalum*, *Muscari*, *Narcissus* und *Colchicum* an und suchte dadurch das Eindringen dieser Pflanzen in den Boden zu erklären. Th. Irmisch³ schrieb die Lagenveränderung der unterirdischen Sprosse von *Pinellia tuberifera* der Verkürzung der Wurzel zu, und auch A. Winkler⁴ nahm eine solche Thätigkeit der Wurzel bei manchen von ihm beobachteten Fällen des Eingezogenwerdens von Keimpflanzen in den Boden an. Hildebrand⁵ beobachtete das Sichhinabsenken der Zwiebeln von *Oxalis Regnelli*, *lasiantha*, *Vespertilionis*, *incarnata* und *bifida* und schreibt es der Thätigkeit der rübenförmigen Wurzeln zu. Von Warming⁶ ist das Hinab-

¹ Botanisch-Karpologische Bemerkungen. Flora 1819, Nr. 42, S. 653.

² Beiträge zur Morphologie und Biologie der Familie der Orchideen. 1863. S. 4 u. ff.

³ Beiträge zur vergl. Morphologie der Pflanzen. Über einige Aroideen. Abhandl. der naturf. Ges. in Halle. 1872, Bd. 13, S. 11.

⁴ Verhandl. d. bot. Vereins d. Prov. Brandenburg. 1874, Bd. 16, S. 16 und derselbe, Über die Keimpflanze der *Mercurialis perennis*. L. Flora 1880, Nr. 22.

⁵ F. Hildebrand, Die Lebensverhältnisse der *Oxalis*-Arten, Jena 1884, S. 24, 33, 62, 64.

⁶ E. Warming, Über Sprossbau, Überwinterung und Verjüngung. (Referat in Englers botan. Jahrbüchern) 1884, und: Über die Keimpflanzen von *Phragmites communis*. Botaniska Sällskapet in Stockholm. 1884.

gezogen werden der Primspresse mancher Pflanzen durch Zusammenziehung der Wurzel mehrfach erwähnt worden. Wiesner¹ giebt an, dass bei Brombeerarten mit kriechenden Stämmen die angewurzelten Endknospen samt dem oberen Stammende durch Kontraktion der Wurzeln in den Boden hinabgezogen werden. Kerner² von Marilaun bespricht die Erscheinung der Wurzelverkürzung ebenfalls und erwähnt im Besonderen das Eingezogenwerden von *Primula auricula*, *Clusiana* und *hirsuta*, von *Phytolacca comosum*, *Gentiana Christiana*, *Campanula Zoisii*, *Pedicularis Ageria* in Felsritzen, sowie das der Stammenden von *Rubus bifrons* in die Erde. Jost³ führt an, dass bei manchen Pflanzen durch fortdauernde Kontraktion des Stammes und der Wurzel die Blattrosetten stets der Erde angepresst werden. Von keinem dieser Beobachter sind aber die Einzelheiten der in Rede stehenden Erscheinungen weiter verfolgt oder genauere Messungen an der Wurzel vorgenommen worden.

H. de Vries⁴ hat diesen Gegenstand eingehender behandelt. Nachdem von Sachs⁵ die Beobachtung gemacht worden war, dass Wurzelzonen von *Vicia faba* nach Beendigung des Längenwachstums sich später wieder etwas verkürzen, stellte de Vries das Vorkommen von Verkürzung an jungen Hauptwurzeln der Zuckerrübe und des roten Klees fest, indem er dieselben mit 2 Marken versah und sie nach einigen Wochen, während welcher die Pflanzen in Erde oder Wasser weiter kultiviert worden waren, von neuem mass. Er fand dabei für die Rübe 10%, für den Klee 10—25% Verkürzung. Er zeigte auch und zwar zunächst für dikotyle Pflanzen, dass die mit Verkürzungsvermögen begabten Wurzelteile bei Steigerung des Turgors sich verkürzen, bei Nachlassen desselben sich verlängern, dass die Verkürzung auf einer eigentümlichen Art des Wachstums beruhe, und dass das lebende Parenchym das beim Verkürzungsvorgange aktive Gewebe sei. Verkürzung bei Wasseraufnahme und Verlängerung bei Wasserentziehung, sowie beträchtliche Dimensionsänderungen

¹ J. Wiesner, Elemente der wissenschaftl. Botanik. 1884, Bd. II., S. 85.

² A. Kerner von Marilaun, Pflanzenleben. 1888, Bd. I, S. 724 f.

³ L. Jost, Die Zerklüftungen einiger Rhizome und Wurzeln, Bot. Zeitung. 1890.

⁴ Landwirtschaftl. Jahrb. 1877, Bd. 6, S. 927; 1879, Bd. 8, S. 474; 1880, Bd. 9, S. 37.

⁵ Arbeit. d. bot. Inst. Würzburg. 1873, Bd. 1, S. 419.

der antagonistischen Teile beim Isolieren wurden dann von mir¹ auch an den Wurzeln von Monokotylen gefunden. Von V. Stroeve² wurde später das Eintreten von Verkürzung an abgeschnittenen und in Wasser gelegten Wurzeln für eine grössere Anzahl von Pflanzenarten nachgewiesen. Weitere Messungen an der im natürlichen Verbande mit der Pflanze befindlichen und unter natürlichen Verhältnissen vegetierenden Wurzel sind dann von mir³ vorgenommen worden. Durch dieselben wurde das Vorkommen der Wurzelkontraktion für eine Anzahl monokotyler und dikotyler Species festgestellt, sowie die Dauer, Stärke und Verteilung der Verkürzung, und deren Wirkung im Leben jener Pflanzen genauer ermittelt. Auch wurde von mir der Nachweis geliefert, dass die eigentümliche Zellhautwellung in der Endodermis und Exodermis der Wurzeln durch eben diese Kontraktion verursacht wird.⁴

Somit ist diese physiologisch merkwürdige und biologisch wichtige Erscheinung der Wurzelkontraktion verhältnismässig selten Gegenstand eingehenderer Untersuchung gewesen, und unsere Kenntnisse über diese Seite des Wurzellebens sind deshalb noch ziemlich oberflächlich und wenig umfangreich. In der vorliegenden Abhandlung will ich ein Bild von der Thätigkeit der kontraktile Wurzeln geben, wie ich es durch meine bisherigen Beobachtungen gewonnen habe. Dabei soll zuerst eine Aufzählung der Pflanzen-Species, an welchen ich Wurzelverkürzung festgestellt habe, vorgenommen, dann auf die Eigentümlichkeiten der kontraktile Wurzeln näher eingegangen, und endlich die Thätigkeit dieser Wurzeln im Leben der Pflanze geschildert werden.

I. Die Verkürzung der Wurzeln.

Methode der Messung.

Um festzustellen, ob an den Wurzeln einer Pflanze bei Entwicklung unter natürlichen Verhältnissen Verkürzung vorkommt oder nicht, und um die Stärke der Verkürzung messen zu können, wandte ich folgende Methode an. Ich kultivierte die Pflanzen in mit Erde gefüllten Zinkkästen von der Form, wie sie zuerst von Sachs zum

¹ Beitrag zur Kenntnis der Schutzscheide. Inaug.-Dissert. 1887.

² Über die Verbreitung der Wurzelverkürzung. Inaugural-Dissert. 1892.

³ Berichte der deutschen bot. Gesellschaft. 1893, Bd. 11, Heft 2, S. 94 u. Heft 8, S. 467; 1895, Bd. 13, Heft 4, S. 141.

⁴ l. c.

Zwecke der Beobachtung der Wurzelentwicklung benutzt worden sind. An den beiden geneigten Wänden von 30—40 cm Höhe und Breite, welche aus Zinkblech oder auch aus Glas bestanden, hatte ich insofern eine Änderung vorgenommen, als ich dieselben mit über- und nebeneinander liegenden, quadratischen, etwa 10 cm breiten, fensterartigen Öffnungen versehen hatte. Diese Öffnungen waren durch abnehmbare Glasscheiben verschlossen. Die Samen, Rhizome u. dgl. der Pflanzen, deren Wurzeln beobachtet werden sollten, wurden oberhalb der Fenster oder hinter denselben in die Erde eingesetzt. Ihre Wurzeln wuchsen dann den Glasscheiben entlang. Hatte sich eine Wurzel genügend entwickelt, so wurde die Verschlusscheibe abgenommen, die Oberfläche des zu markierenden Wurzelteiles so viel als erforderlich von Erde gereinigt und getrocknet, dann auf derselben die nötigen Tuschmarken aufgetragen und nach dem Trocknen derselben die Öffnung wieder verschlossen. Mit dem Fortwachsen der Wurzel wurde dieses so oft als wünschenswert wiederholt. Die Tuschmarken wurden immer ziemlich knapp hinter der wachsenden Region der Wurzel angebracht und zwar gewöhnlich in einer Entfernung von 5 mm von einander. Von Zeit zu Zeit wurde dann der Abstand der Marken gemessen, und die Messung in einigen Fällen so lange fortgesetzt, bis sich keine Veränderung mehr wahrnehmen liess. Diese Methode hat den Vorteil, dass die Wurzeln sich dabei in ganz normalen Verhältnissen befinden, und die Beobachtung derselben Monate und Jahre lang fortgesetzt werden kann. Zu biologischen Zwecken, welche ich hier in erster Linie im Auge hatte, ist dieselbe daher sehr geeignet.

Verzeichnis der gemessenen Arten.

Die Pflanzenarten, bei welchen ich mit dieser Methode das Vorkommen von Wurzelverkürzung gefunden habe, sind die nachstehend verzeichneten. Den Namen nachgesetztes [H] bedeutet, dass an der Hauptwurzel, [Ad], dass an Adventivwurzeln, [S], dass an Seitenwurzeln Verkürzung gemessen worden ist.

Monokotylen.

Lilium martagon — (Ad), *Hyacinthus candicans* — (Ad), *H. orientalis* — (Ad), *Scilla bifolia* — (Ad), *Allium ursinum* — (Ad), *A. porrum* — (Ad), *Anthericum ramosum* — (Ad), *A. liliago* — (Ad), *Chlorophytum*

sp. — (Ad), *Heimerocallis fulva* — (Ad), *Asphodelus ramosus* — (Ad), *Asparagus officinalis* — (Ad), *Polygonatum multiflorum* — (Ad), *Convallaria majalis* — (Ad).

Narcissus tazetta — (Ad), *Leucojum vernum* — (Ad), *Clidanthus fragrans* — (H, Ad), *Stenomesson aurantiacum* — (H, Ad), *Phaedranassa chloracca* — (H, Ad, S), *Eucharis grandiflora* — (Ad), *Elisena ringens* — (H, Ad), *Hymenocallis calathina* — (Ad), *Polyanthes tuberosa* — (Ad), *Agave americana* — (Ad), *Fourcroya gigantea* — (Ad).

Iris germanica — (Ad), *I. pseudacorus* — (Ad), *I. hispanica* — (Ad), *Hermodyctylus tuberosus* — (Ad), *Crocus Imperati* — (Ad), *Tigridia pavonia* — (H, Ad), *T. spec.* — (Ad), *Gladiolus communis* — (Ad).

Arum maculatum — (Ad), *Richardia africana* — (Ad).

Tradescantia virginica — (Ad).

Canna indica — (Ad).

Dikotylen.

Rumex acetosa — (Ad).

Ranunculus lanuginosus — (Ad), *R. repens* — (Ad), *R. bulbosus* — (Ad), *Aquilegia vulgaris* — (H, S), *Aconitum Napellus* — (Ad).

Chelidonium majus — (H).

Geranium pyrenaicum — (H).

Oxalis elegans — (H, Ad), *O. lasiandra* — (H, Ad).

Petroselinum sativum — (H), *Curum carvi* — (H), *Pimpinella saxifraga* — (H), *Foeniculum officinale* — (H), *Pastinaca sativa* — (H), *Heracleum sphondylium* — (H), *Daucus carota* — (H).

Fragaria vesca — (Ad), *Potentilla verna* — (H).

Atropa belladonna — (H, S).

Echium vulgare — (H), *Symphytum officinale* — (Ad).

Plantago media — (H), *P. major* — (Ad).

Phyteuma spicatum — (H).

Valeriana officinalis — (Ad).

Succisa pratensis — (Ad); *Dipsacus silvester* — (H).

Cichorium intybus — (H), *Taraxacum officinale* — (H, S), *Hieracium pilosella* — (Ad), *Lappa tomentosa* — (H), *Leontodon auctumnale* — (Ad).

Es sind an 70 Species aus 6 monokotylen und 14 dikotylen Familien der verschiedensten Teile des Systems.

Pflanzen, bei welchen ich keine Wurzelkontraktion gefunden habe, sind unter anderen:

Paris quadrifolia, *Colchicum autumnale*, *Bulbocodium verum*, *Tulipa gesneriana*, *T. silvestris*, *Gagea lutea*, *Bomarea Caldasiana*, mehrere epiphytische *Tillandsia*-Arten, *Oncidium nubigenum*, und mehrere epiphytische Orchideen, *Zea mais*, *Hordeum distichum*, *Triticum vulgare*. Bei *Orchis maculata*, *Ophrys muscifera* und *Listera ovata* ist es mir zweifelhaft geblieben, ob an den unter natürlichen Verhältnissen wachsenden Wurzeln der älteren Exemplare Verkürzung vorkommt. Sollte es der Fall sein, so dürfte dieselbe nur einen äusserst geringen Grad erreichen.

Stärke und Dauer der Verkürzung.

Bei einer gewissen Anzahl der oben genannten Pflanzen habe ich die Verkürzung der Wurzel von ihrem Beginne bis zum vollständigen Erlöschen verfolgt. Als höchstes Mass der Kontraktion für die Strecke von 5 mm Länge fand ich bei den Amaryllideen *Phaedranassa chloracea*, *Stenomesson aurantiacum*, *Elisena ringens*, *Hymenocallis calathina*, *Clidanthus fragrans*, ferner bei einer *Tigridia*-Art und bei *Oxalis elegans* 70%, bei *Tigridia paronia* 60%, bei *Agave americana* und *Arum maculatum* 50%, bei einer *Chlorophytum*-Art und bei *Allium ursinum* 30%, bei *Richardia africana* 25%, bei *Asparagus officinalis* und *Canna indica* 10%. Diese höchsten Beträge der Verkürzung kommen aber nur in einem Teile der mit Verkürzungsvermögen begabten Strecke der Wurzel vor. Wenn man daher die ganze kontraktile Strecke der Wurzel in Betracht zieht, so fällt deren Verkürzung geringer aus. Bei *Phaedranassa chloracea* zum Beispiel wird während des Längenwachstums von der Keimwurzel eine kontraktionsfähige Strecke von etwa 6 cm Länge, von der Wurzel der erwachsenen Pflanze eine solche von etwa 30 cm Länge ausgebildet. Die erstere verkürzt sich im Laufe der Entwicklung um etwa 2 cm, die letztere um 10 cm. Für den ganzen kontraktilen Teil der Wurzel beträgt demnach in beiden Fällen die Verkürzung nur etwa 30—40%.

Der Beginn der Verkürzung erfolgt in einer bestimmten Wurzelstrecke in vielen Fällen sehr bald nach Beendigung des Längenwachstums derselben. Bei manchen der von mir untersuchten Monokotylen ist die Verkürzung schon zwischen 25 und 30 mm hinter der Wurzelspitze deutlich zu erkennen.

Als grösste Kontraktionsgeschwindigkeit fand ich für die Strecke von 5 mm in 24 Stunden an *Phaedranassa chloracea* 10%, an *Arum maculatum* 5% Verkürzung bei etwa 15° C Durchschnittstemperatur.

Was die Dauer des Kontraktionsvorganges betrifft, so währt derselbe in einer Wurzel bei den genannten Amaryllideen 2—5 Monate, bei *Oxalis elegans* 4—5 Monate, bei *Arum maculatum* etwa 2 Monate, bei *Tigridia* 1—2 Monate. In Teilstrecken der verkürzungsfähigen Zone ist die Dauer der Verkürzung etwas geringer als in der ganzen Wurzel. In den persistierenden Hauptwurzeln und Seitenwurzeln von *Taraxacum*, *Heracleum*, *Atropa*, *Phyteuma* und ähnlich gebauten Formen dauert die Kontraktion Jahre hindurch. Es ist mir wahrscheinlich, dass bei diesen Pflanzen die Kontraktion den von mir an Monokotylen gemessenen Höchstbetrag von 70% noch überschreitet. Die Wurzeln jener oben genannten Monokotylen, welche ihre Kontraktion sehr bald beenden, bleiben nach Beendigung derselben noch längere Zeit lebendig und im Dienste ihrer übrigen Funktionen. Denn die Wurzeln von *Phaedranassa chloracea* erreichen ein Alter von 2 Jahren, jene von *Tigridia* werden 6, die von *Arum maculatum* 10 Monate alt. Die Kontraktionsthätigkeit füllt also nur einen kleinen Teil der Lebensdauer dieser Wurzeln aus. Bei zweijährigen Pflanzen, wie *Echium vulgare* und *Dipsacus silvester*, scheint im zweiten Jahre, in welchem die Blüten zur Entwicklung kommen, keine Kontraktion mehr stattzufinden.

Aktive und passive Bestandteile der Wurzel.

Bei den Monokotylen ist von den Geweben, welche den Wurzelkörper zusammensetzen, nur das innere Parenchym der Rinde am Zustandekommen der Verkürzung aktiv beteiligt. Der zentrale Gefässbündelstrang und die Aussenrinde verhalten sich passiv, und ihr Widerstand wird von dem sich verkürzenden Rindenparenchym überwunden. Den Beweis hierfür liefern folgende Erscheinungen:

1. Wenn man den zentralen Gefässbündelstrang aus seinem Zusammenhang mit der Rinde befreit, so verlängert sich der Gefässbündelstrang, die Rinde aber verkürzt sich. Dieses Verhältnis wird durch folgende Beispiele veranschaulicht.

Iris germanica. Stark verkürzter Basalteil einer Wurzel.

Vollständiges Wurzelstück: 50 mm Länge.

Gefässbündelstrang isoliert: 56 " "

Rinde isoliert: 49 " "

Lilium martagon. Stark verkürzter Basalteil einer Wurzel.

Vollständiges Wurzelstück: 50 mm Länge.

Gefäßbündelstrang isoliert: 55 " "

Rinde isoliert: 49 $\frac{1}{2}$ " "

2. Wenn man an einer in Kontraktion befindlichen Wurzel die Rinde auf eine bestimmte Strecke durch Abschneiden entfernt, so verkürzt sich der Teil, welchem die Rinde genommen ist, um so weniger, je weniger Rindengewebe demselben geblieben ist.

3. Eine vom Gefäßbündelstrang befreite Längshälfte der Rinde krümmt sich so, dass die Innenseite konkav, die Aussenseite, welcher das Periderm anhaftet, konvex wird. Wird der Turgor durch Aufnahme von Wasser erhöht, so verstärkt sich diese Krümmung. Entfernt man das Periderm, so unterbleibt die Krümmung oder wird nicht so stark wie sonst. Löst man das gefaltete Periderm vom lebenden Rindenparenchym ab, so lässt es sich durch Ausstreichen der Falten bedeutend verlängern.

Am basalen Teile einer stark kontraktiven Wurzel von *Phaedranassa chloracea* treten folgende Dimensionsänderungen bei der Verkürzung und beim späteren Isolieren der Bestandteile ein:

Wurzel-Strecke vor der Verkürzung: 125 mm Länge.

do. nach der Verkürzung: 50 " "

Aktive Rinde isoliert 49 $\frac{1}{2}$ " "

Gefäßbündelstrang isoliert 70 " "

Periderm isoliert und ausgestreckt ca. 90 " "

Wird die isolierte Rinde solcher Wurzeln ins Wasser gelegt, so tritt infolge von Turgorsteigerung eine weitere Verkürzung der Rinde ein. Wird dieselbe in eine Wasser entziehende Salzlösung gebracht, so verlängert sich die isolierte Rinde, erreicht aber auch nicht annähernd die Ausdehnung wieder, welche sie vor der Verkürzung besessen hatte. Gefäßbündelstrang und Periderm verändern weder in Wasser noch in Salzlösung ihre Länge in merklicher Weise.

Es zeigt sich somit, dass die Verkürzung sowohl im aktiven Rindenparenchym als auch in den passiven Geweben zum Teile fixiert wird und nicht wieder rückgängig gemacht werden kann.

Bei vielen Dikotylen mit fleischigen Wurzeln ist nach den Untersuchungen von de Vries auch das innerhalb des Holzkörpers befindliche Parenchym an der Verkürzung aktiv beteiligt. Möglicherweise kommt dies auch bei fleischigen Monokotylen-Wurzeln vor.

Verteilung der Verkürzung in der Wurzel und im Wurzelsystem.

Die Kontraktion ist gewöhnlich nicht gleichmässig auf die ganze Länge der Wurzel verteilt. In zahlreichen Fällen ist das Verhältnis so, dass sich der Spitzenteil der Wurzel wenig oder gar nicht, der Basalteil hingegen stark verkürzt. Um einen Überblick über die Verteilung zu erhalten, habe ich vielfach die Keimwurzel der *Phaedra-nassa chloracea* untersucht und dabei folgendes Verhältnis gefunden.

Auf einer Keimwurzel waren während des Längenwachstums von der Basis bis zur Spitze 19 Strecken von je 5 mm Länge abgetragen worden. Die Wurzel würde also infolge des Längenwachstums mindestens 95 mm lang geworden sein. Wegen der gleichzeitig erfolgenden Verkürzung betrug ihre Länge aber schliesslich nur etwa 73 mm. Die Kontraktion war auf die 5 mm-Strecken von der Basis nach der Spitze zu auf folgende Weise in Prozenten verteilt:

65, 70, 60, 60, 60, 50, 30, 10, 10, 10, 5, 5, 0, 0, 0, 0, 0, 0.

Eine andere Keimwurzel derselben Pflanze wäre vermöge ihres Längenwachstums 70 mm lang geworden. Während desselben waren von der Basis an Strecken von je 5 mm Länge abgetragen worden. Die Verkürzung verteilte sich am Ende der Entwicklung, wo die Wurzel eine Länge von 47 mm aufwies, auf die markierten Strecken von der Basis nach der Spitze zu in Prozenten ausgedrückt in folgender Weise:

60, 70, 60, 55, 50, 40, 20, 5, 0, 0, 0, 0, 0.

Im Basalteile einer nach der Verkürzung etwa 40 cm langen Wurzel eines erwachsenen Exemplares war das Verhältnis der Verkürzung der 5 mm-Strecken von der Basis nach der Spitze in Prozenten folgendes:

40, 50, 60, 60, 70, 70, 70, 60, 60, 60, 60, 60, 60, 60, 60, 50
und nach der Spitze zu allmählich bis fast auf 0 sinkend (vergl. Taf II, Fig. 8a).

Eine kräftige Wurzel von der Unterseite der Knolle von *Arum maculatum* zeigte von der Basis ab folgende Verkürzung der 5 mm-Strecken in Prozenten:

45, 50, 50, 40, 40, 40, 40, 35, 30, 30, 25, 20, 20, 20, 20

Bei *Tigridia pavonia* war das entsprechende Verkürzungs-Verhältnis:

40, 50, 50, 50, 50, 40, 40, 30, 30, 30, 20, 20

Und bei *Agave americana*:

40, 50, 50, 40, 40, 30, 20, 20, 20, 10, 0, 0 (Vergl. Taf. II, Fig. 7).

Eine ähnliche Verteilung der Kontraktion findet sich in den Wurzeln von vielen der oben genannten Liliaceen, Amaryllideen, Irideen, Araceen, Oxalideen und scheint überhaupt sehr allgemein zu herrschen. Bei anderen hingegen, wie bei *Asparagus* und *Anthericum* ist die Kontraktion ziemlich gleichmässig auf die ganze Länge der Wurzel verteilt. Wo die Kontraktion sich hauptsächlich auf den Basalteil der Wurzel beschränkt und daselbst stark auftritt, zeigt dieser Teil auch in seinem Baue gewisse Eigentümlichkeiten und kann als besonderes Kontraktionsorgan angesehen werden. Häufig besitzt der Basalteil in diesem Falle einen viel grösseren Durchmesser als der Spitzenteil, und zwar kommt bei den Monokotylen die grössere Dicke des Basalteiles vorzugsweise auf Rechnung des Rindenparenchyms. Bei den Monokotylen wird die Wurzel auch allgemein schon mit verdicktem Basalteile angelegt; bei den Dikotylen gewinnt sie denselben häufig erst nach längerer Zeit infolge von sekundärem Dickenwachstum. Ausserdem zeigen sich noch andere Verschiedenheiten. In dem nicht kontraktilem Spitzenteile der Wurzel von *Agave americana* zum Beispiel ist der Gefässbündelcylinder von einer breiten Schicht dickwandiger, gebräunter Zellen umgeben, welche im stark kontraktilem Basalteile der Wurzel nicht vorhanden ist.

Was die Verteilung der Kontraktion in den Gliedern des Verzweigungssystems der Wurzel betrifft, so fand ich bei den Monokotylen als Regel, dass die Seitenwurzeln das Mass der Kontraktion ihrer Mutterwurzel nicht erreichen. Ihre Kontraktion pflegt nicht stärker zu sein als jene ihrer Mutterwurzel an der Stelle ist, wo die Seitenwurzel aus derselben entspringt. So mass ich am Basalteil der starken Seitenwurzeln 1. Ordnung von *Phacelanthus chloracea* nur 5%, an den schwächeren nur 2% Verkürzung; an den Seitenwurzeln 2. Ordnung fand ich gar keine Verkürzung. — Bei manchen Dikotylen scheint indessen ein anderes Verhältnis zu herrschen.

Bei manchen der oben genannten Pflanzen sind alle Wurzeln einer Ordnung kontraktile und zwar in ziemlich derselben Stärke. Bei anderen ist jedoch die Kontraktion vorzugsweise oder ausschliesslich auf einige Wurzeln beschränkt, während andere derselben Ordnung wenig oder nicht mit Kontraktionsfähigkeit begabt sind. Oft entstehen die verschieden gearteten Wurzeln auch an getrennten Orten und zu verschiedener Zeit.

So wachsen bei *Oxalis elegans*, *O. lasiandra* und ähnlichen Arten

dieser Gattung beim Beginne der Vegetationsperiode zahlreiche dünne, fadenförmige Wurzeln aus der Zwiebel hervor. Aber von diesen wird gewöhnlich nur eine zur kontraktile Wurzel, indem sie im Basalteile anschwillt und einen dicken, parenchymatischen Rindenkörper bildet. (Taf. I, Fig. 6 u. 7). Seltener, besonders bei Kultur, werden es mehrere.

Bei *Arum maculatum* brechen im Herbste zahlreiche Wurzeln aus einer die Endknospe der Knolle ringförmig umgebenden Zone hervor. Sie sind aber von ungleicher Beschaffenheit: Nur die auf der Unterseite der Knolle entstehenden sind stark kontraktile; die der Oberseite verkürzen sich zum Teile wenig, zum Teile gar nicht.

Bei *Allium ursinum* kommen im Herbste dünne, nicht kontraktile, im Frühling die dicken, kontraktile Wurzeln zum Vorschein.

Auch *Tyridia*, *Gladiolus*, *Crocus* und *Scilla* haben zweierlei, örtlich und zeitlich getrennt entstehende Wurzeln. Zu Beginn der Vegetationsperiode kommen aus dem Umkreise der unteren Zwiebel- bzw. Kollenfläche die zahlreichen, dünnen, fadenförmigen, nicht kontraktile Wurzeln hervor. Erst nach einiger Zeit entstehen etwas höher am Stammteile, und bloss auf einer Seite desselben die wenigen, dicken Wurzeln, welche stark kontraktile sind.

Begleiterscheinungen der Wurzelverkürzung.

Die Veränderungen, welche das sich verkürzende Parenchym der Rinde durchmacht, lassen sich am besten an solchen Wurzeln untersuchen, bei welchen nicht zugleich sekundäres Dickenwachstum stattfindet, also besonders an Monokotylenwurzeln. Die Zellen der Rinde sind vor dem Beginne der Verkürzung in der Längsrichtung der Wurzel bedeutend gestreckt. Ihr Querschnitt zeigt einen nach allen Richtungen ziemlich gleichen Durchmesser. Während der Verkürzung nimmt ihr Querschnitt an Umfang zu. Bei diesem Vorgange scheinen sie die Neigung zu haben, einen möglichst kreisförmigen Querumfang beizubehalten. Letzteres geschieht aber in Wirklichkeit nicht, sondern die Zellen dehnen sich in radialer Richtung mehr aus als in tangentialer. Die grössere Streckung in der Richtung des Wurzelradius scheint nur gezwungen zu erfolgen wegen des Umstandes, dass der zentrale Gefässbündelstrang samt Endodermis, mit welcher letzteren die Rindenparenchymzellen in Verbindung stehen, bei dem durch das Rindenparenchym herbeigeführten Zu-

sammengedrückt werden sich nur sehr wenig in die Breite ausdehnt, und infolge dessen die Rindenzellen am Vorrücken hindert.

Durch den Druck, welchen sie auf einander ausüben, werden die Rindenzellen nach aussen gedrängt. Die passive Aussenrinde setzt aber ihrem Vorrücken eine Grenze. Die äussersten Lagen des aktiven Rindenparenchyms kollabieren und werden von den inneren, welche ihren Platz einnehmen, zusammengedrückt. Die inneren Lagen verfallen aber fortschreitend demselben Lose, und am Ende sind nur noch wenige der innersten Lagen in intaktem, turgeszenten Zustande übrig. Alle anderen sind von den nachdrängenden inneren Zellen zusammengedrückt in einer ringförmigen Zone unter der Aussenrinde angehäuft, und diese zusammengedrückte Masse wird samt der Aussenrinde beim Fortschreiten der Kontraktion in Falten gelegt. Das Auftreten einer solchen Schicht kollabierter Zellen fand ich bei *Lilium*, *Phacelranissa*, *Stenomesson*, *Leucopium*, *Agave*, *Iris*, *Gladiolus*, *Arum* und vielen anderen (vergl. Taf. II, Fig. 4b). In Wurzeln, welche sich nur wenig verkürzen, treten die eben beschriebenen Erscheinungen nicht auf.

Infolge der Kontraktion entstehen zwischen den antagonistischen Geweben Spannungen. So besteht eine Längsspannung zwischen dem Rindenhohlzylinder und dem darin eingeschlossenen Gefässbündelstrang. Letzterer hindert die Rinde an der Verkürzung, die Rinde hindert den Gefässbündelstrang an der Verlängerung. Werden beide Teile von einander getrennt, so ändern sie auch sofort dementsprechend ihre Dimensionen. Beispiele hierfür wurden oben bereits angeführt. Desgleichen scheint eine Querspannung zwischen diesen beiden Teilen zu bestehen; der von der Rinde befreite und verlängerte Gefässbündelstrang vermag die Höhlung der sich verkürzt habenden Rinde nicht wieder ganz auszufüllen.

Das Mass der Verlängerung des Gefässstranges nach Trennung von der Rinde ist in verschieden stark kontrahierten Teilen derselben Wurzel gleichsinnig verschieden nach dem Masse der stattgehabten Kontraktion.

Bei den Monokotylen wird der zentrale Gefässbündelstrang, soweit meine Beobachtungen reichen, bei der Kontraktion nie verbogen, sondern bleibt geradlinig. Hingegen kommt bei den Dikotylen, wie beispielsweise bei *Oxalis*, häufig sehr starke Verbiegung desselben vor (siehe Taf. I, Fig. 7). Bei Dikotylen mit sekundärem Dicken-

wachstum sind die innersten, ältesten Gefässbündel am meisten, die äusseren, jüngeren am wenigsten verbogen.

Die Aussenrinde legt sich bei vielen Wurzeln, sobald die Kontraktion ein gewisses Mass erreicht, in Falten. Besonders häufig geschieht dieses bei Monokotylen, (siehe Taf. I, Fig. 5 u. Taf. II, Fig. 1, 7, 8). Die deutliche Faltenbildung beginnt bei *Phaedranassa chloracea*, *Stenomesson aurantiacum*, *Elisena ringens* und *Tigridia* mit 40%, bei *Agave americana* mit 20% Verkürzung. Bei *Arum maculatum* verliert die Oberfläche der Wurzel schon bei 15% Verkürzung ihre Straffheit. Starke Runzelung der Aussenrinde findet sich ausserdem bei *Lilium*, *Hyacinthus*, *Scilla*, *Allium*, *Leucojum*, *Eucharis*, *Iris*, sowie bei den Dikotylen *Atropa*, *Heracleum*, *Foeniculum*, *Phyteuma* (Taf. I, Fig. 3), *Aquilegia* und zahlreichen anderen Arten.

Eine Folgeerscheinung der Kontraktion ist auch die wellige Verbiegung der radialen Längswände der Zellen in der Endodermis und der Exodermis der Wurzeln (siehe Taf. II, Fig. 5 u. 6). Der Beweis hierfür liegt in folgenden Thatfachen:¹

1. Die Wellenbildung beginnt mit der Kontraktion und steigert sich mit dem Zunehmen derselben (siehe Taf. II, Fig. 3). In der Endodermis hört die Steigerung der Wellung mit jener der Wurzelkontraktion auf; in der Exodermis nimmt sie ihr Ende, sobald Faltenbildung des Peridermis eintritt, durch welchen Umstand die Zellwände dem Einflusse der Kontraktion entzogen werden.

2. In ein und derselben Wurzel, sowie in den Gliedern eines Wurzelsystems ist die Wellung gleichsinnig verteilt mit der Stärke der Kontraktion. In Wurzeln, welche sich nicht verkürzen, findet sich auch keine Wellung.

3. An den Querwänden der Endodermis und Exodermis findet sich die Wellung nur in dem Falle, dass dieselben nicht genau rechtwinkelig zur Längsaxe der Wurzel angeordnet sind (siehe Taf. II, Fig. 5); und zwar ist die Wellung der Querwände um so mehr derjenigen der Längswände an Stärke gleich, je mehr sich die Richtung der ersteren der Richtung der letzteren nähert.

4. In der noch im Längenwachstum begriffenen Strecke der Wurzel kann durch Verkürzung der Membranen auf künstlichem Wege

¹) Vergl. meine zitierten Abhandlungen in den Berichten der deutsch. bot. Ges. 1893.

in der Endodermis eine Wellenbildung hervorgerufen werden, welche der auf natürlichem Wege entstehenden ähnlich ist. Die Verkürzung der Zellwände wird herbeigeführt durch Aufheben der Turgorspannung mittels Verletzung oder Plasmolyse der Zellen.

5. Die Wellenbildung kann in Endodermis und Exodermis dadurch ganz unterdrückt, oder, wenn sie schon begonnen hat, am Fortschreiten gehindert werden, dass man die Kontraktion der Wurzel durch mechanische Mittel (Anlegen eines Gypsverbandes u. dergl.) verhindert. In Bezug auf die Endodermis kann dieses auch geschehen durch Wegschneiden des Rindenparenchyms (vergl. Taf. II, Fig. 8 b).

Diese Wellung der Zellhaut in Endodermis und Exodermis ist in älteren Wurzelteilen fixiert und nicht wieder rückgängig zu machen.¹

II. Die Thätigkeit der kontraktile Wurzeln.

Spannung der kontraktile Wurzeln.

In nicht zu lockerem Boden ist der Spitzenteil einer wachsenden Wurzel wegen seiner innigen Verbindung mit den Teilchen der Erde immer stärker befestigt als die älteren, nach der Basis zu liegenden Teile. Daher erfolgt, wenn in einer solchen Wurzel Verkürzung auftritt, die Bewegung in der Richtung auf die Spitze der Wurzel. Ist aber die Wurzelbasis in Verbindung mit einem schwer bewegbaren Körper (einem Stengelgebilde oder einer anderen Wurzel), so entsteht bei der Verkürzung eine Spannung zwischen den beiden festliegenden Teilen, und die Bewegung erfolgt nach derjenigen Seite hin, welche am wenigsten nachgiebt.

Davon, dass eine durch die Kontraktion verursachte Spannung in den Wurzeln besteht, habe ich mich dadurch überzeugt, dass ich an verschiedenen in den oben beschriebenen Kästen sich entwickelnden Pflanzen die in starker Kontraktion befindlichen Wurzeln von der Seite her mit einer dünnen, scharfen Klinge durchschnitt. Bei dieser Operation wichen die Schnittflächen sofort auseinander und zwar bei *Phaedranassa chloracea* um 5 mm, bei *Elisena ringens* um 3 mm, bei *Agave americana* und *Arum maculatum* um 2 mm, bei *Atropa bella-*

¹ Zellhautwellung in Endodermis oder Exodermis ist daher ein wenn auch vielleicht nicht in allen Fällen zuverlässiges, so doch ziemlich sicheres Zeichen stattgehabter Kontraktion.

lonna an Haupt- und Seitenwurzeln um 2 mm, bei *Leucojum vernum* und *Symphytum officinale* um 1 mm. Bei manchen von diesen Wurzeln erweiterte sich der Abstand zwischen den beiden Schnittflächen in den nächsten Stunden um ein Bedeutendes. Bei *Phacelranassa chloracea* mass ich an oberhalb und unterhalb der Schnittstelle vorher markierten Strecken von je 1 cm Länge eine beim Durchschneiden erfolgende Verkürzung von je 5 %.

Wenn der Boden, in welchen eine Wurzel hineinwächst, so locker und verschiebbar ist, dass er derselben keinen genügenden Halt bietet, so geht die Verkürzung nach der besser befestigten Basis hin. Die natürlichen Bedingungen, unter welchen die hier in Betracht kommenden Pflanzen leben, sind aber meist derart, dass in der Wurzel selbst eine Spannung entsteht, und in vielen Fällen eine Bewegung des Basalteiles der Wurzel samt den damit in Zusammenhang stehenden übrigen Teilen des Pflanzenkörpers nach der Spitze der Wurzel hin zustande kommt. Die an beiden Enden der Wurzel wirkenden Hindernisse haben aber wohl immer zur Folge, dass die Wurzel die von ihr angestrebte Verkürzung nicht vollständig ausführen kann.

Wirkungsweise der kontraktile Wurzeln auf die Pflanze.

Das Resultat der Thätigkeit der kontraktile Wurzeln hängt ab von dem Betrage der Kontraktion, von der Richtung und Anordnung der Wurzeln, von der Bewegbarkeit der Teile, von welchen die Wurzeln entspringen, und von der Beschaffenheit des Mediums, in welchem sich die Pflanze befindet.

Wenn man die Wirkungsweise der kontraktile Wurzeln ins Auge fasst, so können die mit solchen Wurzeln ausgestatteten Pflanzen um die nachstehend angeführten, typischen Fälle gruppiert werden. Diese Typen sind aufgestellt nach den Verhältnissen, wie sie sich an der älteren Pflanze vorfinden. Das oft abweichende Verhalten der Keimpflanzen ist dabei ausser Acht gelassen.

1. Die kontraktile Adventivwurzeln entspringen aus abwärts oder horizontal wachsenden, langen, häufig auch verzweigten Rhizomen und verursachen keine merkliche Ortsveränderung derselben. Hierher gehören *Polygonatum multiflorum*, *Canna indica*, *Asparagus officinalis*. Wo bei derartigen Pflanzen ein Eindringen in den Boden erfolgt, wird es hauptsächlich durch die nach unten führende Wachstumsrichtung der Sprosse bewirkt.

2. Die kontraktile Adventivwurzeln wirken einseitig an der mehr oder weniger aufrecht wachsenden Sprossaxe und ziehen dieselbe seitlich nieder. Die Pflanze bildet meist einen längeren, häufig verzweigten Erdstamm und ihre Abwärtsbewegung ist verhältnismässig gering.

Zu dieser Gruppe sind zu zählen: *Iris germanica*, *I. pseudacorus*, *Ranunculus lanuginosus*, *R. repens*, *Fragaria vesca*, *Hieracium Pilosella*.

3. Die kontraktile Adventivwurzeln ziehen einseitig an aufwärts oder horizontal wachsenden Sprossaxen. Die Pflanze bildet keinen umfangreichen Erdstamm und ihre Abwärtsbewegung ist bedeutend.

Beispiele sind *Tigridia pavonia*, *Iris hispanica*, *Gladiolus communis*; *Oxalis elegans*; *Arum maculatum*, *Hemodactylus tuberosus*.

Einige Beispiele mögen die Vorgänge bei diesen Pflanzen veranschaulichen

Bei *Arum maculatum* schiebt während der Keimung des Samens der sich verlängernde Cotyledon die Keimknospe etwa 15 mm senkrecht abwärts. Das aus derselben sich entwickelnde Knöllchen kommt daher normaler Weise etwa 2 cm unter die Erdoberfläche zu liegen. Erwachsene *Arum*-Knollen liegen aber in etwa 10 cm Tiefe. Dahin werden dieselben durch die Kontraktion der Wurzeln geschafft. Die Wurzeln entstehen in einer etwas schief liegenden, die Hauptknospe der Knolle ringförmig umgebenden Zone. Sie sind von ungleicher Beschaffenheit insofern, als die auf der Unterseite der Knolle entstehenden dick und sehr kontraktionsfähig, die der Oberseite angehörenden hingegen dünn und wenig oder nicht kontraktionsfähig sind. Durch diese Anordnung kommt es, dass die Knolle während der Kontraktion der Wurzeln mit ihrer Spitze abwärts gezogen wird, unter Umständen über 1 cm in einer Vegetations-Periode, und im Boden schief, manchmal sogar senkrecht mit der Spitze nach unten liegt. Legt man eine solche Knolle horizontal, so wird sie, sobald sich die Wurzeln entwickeln, wieder in die Lage mit abwärts gerichteter Spitze versetzt (siehe Taf. II, Fig. 1).

Die Keimknospe von *Gladiolus communis* wird vom Cotyledon etwa 10 mm abwärts und darauf durch kontraktile Wurzeln in noch grössere Tiefe befördert. In der ersten Vegetationsperiode werden bloss kontraktile Wurzeln gebildet und zwar einzeln in der Weise,

dass immer eine neue Wurzel dann erscheint, wenn die Kontraktion der vorbergehenden beinahe zu Ende ist. Durch jede neue Wurzel werden nun mit der Knolle auch die älteren sich nicht mehr verkürzenden Wurzeln abwärts gezogen und erhalten infolge dessen einen bogenförmigen Verlauf. In späteren Vegetationsperioden treten auch Wurzeln auf, welche nicht kontraktile sind, und zwar ist die Bildung der kontraktile und der nichtkontraktile Wurzeln örtlich und zeitlich getrennt. Beim Beginne der Vegetation kommen aus dem Umkreise der unteren Knollenfläche zahlreiche dünne, fadenförmige, sich bald reich verzweigende Wurzeln hervor. Diese sind nicht verkürzungsfähig und verändern auch die Lage der Knolle nicht. Während der Vegetation der Blätter und der Ausbildung der neuen, über der alten stehenden Knolle bilden sich nahe dem Grunde dieser neuen Knolle, aber bloss auf einer Seite derselben, eine kleine Anzahl dicker, rübenförmiger Wurzeln aus, welche senkrecht abwärts wachsen und lange unverzweigt bleiben.¹ Diese verkürzen sich stark und üben einen derartigen Zug auf die Pflanze aus, dass die beiden Knollen auf die Seite gelegt und unter Umständen ein Stück abwärts gezogen werden. Die Richtung der Blätter und des Blütenstengels wird infolge dessen zur Längsaxe der Knolle etwa rechtwinkelig. Nach dem Abwelken des Laubes und der vollständigen Ausbildung der neuen Knolle sterben diese Wurzeln ab und mit dem Beginne der folgenden Vegetationsperiode erscheinen rings am Grunde der Knolle wiederum die vorher erwähnten fadenförmigen Wurzeln.

Bei *Oxalis elegans* liegt der Sprossvegetationspunkt der Keimpflanze 2–3 mm über der Erdoberfläche. Durch die Kontraktion der Keimwurzel wird schon in den ersten Monaten der Entwicklung

¹ Die fleischigen, kontraktile Wurzeln, von welchen hier die Rede ist, sind schon Irnisch bei *Gladiolus* und anderen Knollen- und Zwiebelgewächsen aufgefallen, doch wurde ihre Bedeutung von demselben nicht erkannt. Vergl. seine Äusserung hierüber in „Morphologische Beobachtungen an einigen Gewächsen aus den natürlichen Familien der Melanthaceen, Irideen und Aroideen, Berlin 1856, S. 10. — Die entsprechenden Gebilde bei *Crocus* werden von Maw erwähnt (Monograph of the genus *Crocus*, London. 1882—86). Derselbe bildet die fleischigen Wurzeln ab, und zwar die der Keimpflanzen von *Crocus aureus* (Tafel A, Fig. 8, 9, 10) und die der erwachsenen Knolle von *C. minimus* (Tafel C, Fig. 6 u. Tafel XIX, Fig. 3). — Über die Funktion dieser Wurzeln spricht er sich nicht aus; die fleischigen Wurzeln an der älteren Knolle hält er für eine zufällige, von der Keimungszeit her ererbte Erscheinung (S. 3. u. 17).

die Zwiebel, welche sich aus dem Sprosse bildet, unter die Erde gezogen, und durch die Thätigkeit der späteren Adventivwurzeln kommt der Vegetationspunkt der erwachsenen Pflanze in 6 bis 8 cm Tiefe.

4. Die kontraktile Adventivwurzeln ziehen rings an der senkrecht aufwärts wachsenden Grundaxe und verursachen unter Beibehaltung der Richtung derselben eine Abwärtsbewegung der Pflanze.

In diese Gruppe gehören von Dikotylen *Succisa pratensis* und *Plantago major* (Taf. I, Fig. 2), von Monokotylen *Lilium martagon*, (Taf. I, Fig. 5) *Hyacinthus candicans*, *Allium ursinum*, *Leucojum vernum*, *Clidanthus fragrans*, *Phaedranassa chloracea* (Taf. I, Fig. 4), *Stenomesson aurantiacum*, *Eucharis grandiflora*, *Elisena ringens*, *Hymenocallis calathina*, *Polyanthes tuberosa*; überhaupt gehören viele monokotyle Zwiebelgewächse diesem Typus an.

Durch die Wirkung der Wurzeln rückt die Grundaxe dieser Pflanzen, obgleich ihr Wachstum nach oben gerichtet ist, im Laufe der Entwicklung immer weiter nach unten. Die Fortbewegung muss also mindestens so viel betragen, als der Zuwachs der Grundaxe ausmacht. Bei *Lilium martagon* beträgt der Längenzuwachs an der erwachsenen Pflanze jährlich etwa 5 mm, bei *Phaedranassa chloracea* ebensoviel, bei *Succisa pratensis* 5—8 mm, bei *Allium ursinum* 3 mm, bei *Leucojum vernum* 1—2 mm. Wenn diese Pflanzen sich aus Samen entwickeln, so erfolgt die Keimung derselben normaler Weise an der Oberfläche des Bodens oder wenig unterhalb derselben. Die Versenkung der Keimknospe wird bei den hier zu berücksichtigenden Monokotylen im Anfange allerdings durch den Cotyledon bewirkt, welcher dieselbe eine bestimmte Strecke in die Erde hineinschiebt. Die weitere Abwärtsbewegung wird aber durch die Wurzeln besorgt, zuerst durch die Keimwurzel, nach deren baldigem Absterben durch aus dem Stamme entspringende Adventivwurzeln. Solange die Abwärtsbewegung durch die Wurzeln die durch den Zuwachs bedingte Aufwärtsbewegung des Vegetationspunktes übertrifft, findet ein Hinabrücken der Pflanze in die Tiefe statt. Sobald sich beide Bewegungen ausgleichen, bleibt die Pflanze stehen.

Bei *Lilium martagon* wird die Keimknospe durch den Cotyledon 5—8 mm abwärts geschoben, befindet sich also, wenn die Thätigkeit der Wurzeln anfängt, etwa 1 cm unter der Erdoberfläche. Von hier wird der Vegetationspunkt der Grundaxe durch die kontraktile Wurzeln im Laufe der Jahre bis in die Tiefe von etwa 10 cm be-

fördert. Die Geschwindigkeit der Bewegung beträgt bei jüngeren Exemplaren manchmal 10 mm im Jahre.

Auf dieselbe Weise kommt der Vegetationspunkt von *Allium ursinum* bis in 10 cm, der von *Leucojum vernum* bis in 7 cm Tiefe. Die Stammknospe von *Stenomeson aurantiacum* wird vom Cotyledon 8 mm abwärts geschoben und wandert von da bis in 10 cm Tiefe. Der Vegetationspunkt des Zwiebelstammes von *Phaedranassa chloracea* wird vom Cotyledon etwa 10 mm in die Erde gesenkt und von da durch die Wurzeln bis zu 20 oder 30 cm hinabgezogen (vergl. Taf. II, Fig. 2). Bei *Elisena ringens*, deren Samen über 2 cm Durchmesser und über 10 gr Gewicht haben, beträgt die Versenkung durch den Cotyledon 8 cm; von da aus geht die Wanderung mittels der Wurzeln bis in 30 cm Tiefe vor sich.

Bei diesen Pflanzen werden mit der Grundaxe auch die Basalteile der älteren, sich nicht mehr verkürzenden Wurzeln hinabgezogen. Durch die Verschiebung der Basalteile aus ihrer ursprünglichen Lage erhalten diese Wurzeln einen eigentümlichen, bogenförmigen Verlauf.

5. Die kontraktile ausdauernde Hauptwurzel zieht die senkrecht aufwärts wachsende Sprossaxe in ihrer Längsrichtung abwärts.

Beispiele für diesen Typus sind: *Taraxacum officinale*, *Cichorium intybus*, *Lappa tomentosa*, *Dipsacus silvestris*, *Phyteuma spicatum*, *Plantago media*, *Echium vulgare*, *Atropa belladonna*, *Gentiana cruciata*, *Petroselinum sativum*, *Carum carvi*, *Pimpinella saxifraga*, *Foeniculum officinale*, *Pastinaca sativa*, *Heracleum sphondylium*, *Daucus carota*, *Geranium pyrenaicum*, *Chelidonium majus*, *Aquilegia vulgaris*.

Die Keimung dieser Pflanzen verläuft so, dass der Vegetationspunkt der Keimpflanze über die Oberfläche der Erde zu stehen kommt. Bei *Taraxacum officinale* befindet sich derselbe 2—3 mm, bei *Atropa belladonna*, *Aquilegia vulgaris*, *Foeniculum officinale* etwa 5 mm über dem Erdboden. Während der folgenden Entwicklung verkürzt sich die Wurzel und ebenso das Hypokotyl, und hierdurch wird die Plumula abwärts geführt, so dass sie bei manchen dieser Pflanzen schon nach einigen Wochen unter der Erdoberfläche verschwindet. Die Verkürzung des Hypokotyls beträgt bei *Aquilegia* 15%, bei *Foeniculum* 20% in einem Monate. Die Grenze zwischen Wurzel und Hypokotyl wird dabei undeutlich, und letzteres ist später überhaupt nicht mehr zu erkennen. Die Kontraktion dauert in der Wurzel der perennierenden Species dieser Gruppe Jahre hindurch und beträgt

so viel, dass der Vegetationspunkt der Staude trotz des jährlichen Längenzuwachses der Sprossachse immer um ein gewisses Mass unter der Erdoberfläche gehalten wird. So kommt es, dass die Grenzlinie zwischen Wurzel und Stengel in dem Masse, als der Stammteil sich durch Zuwachs verlängert, tiefer unter die Bodenoberfläche rückt. Diese Stelle befindet sich beispielsweise bei alten Exemplaren von *Plantago media* und *Aquilegia vulgaris* in etwa 5 cm, bei *Phyteuma spicatum* in 2—3 cm Tiefe (vergl. hiezu Taf. I, Fig. 1 und 3).

Bei allen diesen Pflanzen erleiden die aus der Hauptwurzel, zumal aus deren Basalteile, entspringenden Seitenwurzeln, sowie auch die etwa vorhandenen stammbürtigen Adventiv-Wurzeln eine eigentümliche Verzerrung aus ihrer ursprünglichen Lage, indem ihr Ansatzpunkt mit in die Tiefe gezogen wird, in ganz ähnlicher Weise, wie es mit den älteren stammbürtigen Wurzeln bei der vorigen Gruppe geschieht (siehe Taf. I, Fig. 3).

Die Wurzel als Bewegungsorgan.

Aus der vorhergehenden Darlegung ist ersichtlich, dass die Thätigkeit der kontraktilen Wurzeln darin besteht, dass sie einen Zug auf die Teile der Pflanze ausüben, mit welchen sie in Verbindung stehen. Wenn man daher durch eine besondere Benennung diese Thätigkeit hervorheben will, in der Weise, wie man das Vorhandensein anderer Funktionen durch die Ausdrücke „Nährwurzel“, „Haftwurzel“, „Speicherwurzel“ angiebt, so würde wohl die Bezeichnung „Zugwurzel“ passend sein. Die Leistungen der Zugwurzeln sind insofern verschieden, als diese in manchen Fällen bloss ein Andrücken oder Anheften der Pflanze an das Substrat, in anderen Fällen ausserdem eine Fortbewegung derselben herbeiführen. Bloss den ersten Erfolg haben, wie schon oben angegeben, die Wurzeln von *Polygonatum*, *Canna*, *Asparagus*. Auch jene Wurzeln sind hierher zu rechnen, welche in einer ringförmigen Zone aus dem unteren Teile des Luftstengels von *Lilium martagon* ausstrahlen. Ob die kontraktilen Wurzeln, welche von den gestauchten Enden der Rhizome von *Convallaria majalis*, *Majanthemum bifolium* und *Valeriana officinalis* ausgehen, einen weiteren Erfolg haben, als den der stärkeren Anheftung dieser Teile, muss ich dahingestellt sein lassen. Die kontraktilen Wurzeln fungieren aber in zahlreichen Fällen auch als Bewegungsorgane der Pflanze. Der Betrag, um welchen eine Pflanze

von den Wurzeln in einer bestimmten Zeit fortbewegt wird, fällt im einzelnen sehr verschieden aus. Bei Kultur in besonders hergestellter, aber ziemlich fester Erde beobachtete ich an jungen, oberflächlich sitzenden Exemplaren von *Agave americana* 4—5 mm, von *Phaedranassa chloracea*, *Stenomesson aurantiacum* und *Gladiolus communis* 5 mm, von *Clidanthus fragrans* und *Arum maculatum* 7 mm, von *Elisena ringens* 10 mm monatlicher Fortbewegung. Unter den gewöhnlich weniger günstigen Bodenverhältnissen in der freien Natur beträgt die Ortsbewegung absteigender Exemplare von *Lilium marginatum*, *Phaedranassa chloracea*, *Arum maculatum* und ähnlicher Pflanzen wohl höchstens 10 mm im Jahre.¹ In den Fällen, wo eine ausgiebige Ortsveränderung der Pflanze vor sich geht, pflegen übrigens die Sprosse eine Form zu besitzen, welche der Fortbewegung wenig Schwierigkeiten bereitet; Sprossformen wie die Zwiebeln der genannten Liliaceen, Amaryllideen und Oxalideen oder wie die Knollen von *Arum*, *Gladiolus* und *Hemerocallis* bleiben dadurch rundlich und verhältnismässig kurz, dass die älteren Teile sowie die Verzweigungen bald abgelöst werden. Bei diesen sehr beweglichen Pflanzen tritt auch die Eigentümlichkeit auf, dass die stark kontraktile Wurzeln dicht beisammen stehen und alle in derselben Richtung wachsen, sich also sehr wenig entgegen arbeiten.

Die durch den Zug kontraktiler Wurzeln bewirkte Fortbewegung der Pflanze hat, physiologisch betrachtet, das Charakteristische, dass fertige, ausgewachsene Pflanzenteile durch in anderen Teilen der Pflanze stattfindende Wachstumsvorgänge von ihrem ursprünglichen Orte entfernt werden. Es ist also dasselbe, wie wenn der Spitzenteil

¹ Kerner von Marilaun giebt (Pflanzenleben, Bd. II, S. 768 u. f.), an, dass die Seitenzwiebeln von *Muscari racemorum* und *Ornithogalum nutans* durch den Zug von parallel der Erdoberfläche verlaufenden Wurzeln eine bedeutende Strecke von der Mutterzwiebel weggezogen werden, und dass hierdurch ein Auseinanderücken der Individuen einer Kolonie zustande komme. Er nimmt solches auch für *Tulipa silvestris* an und glaubt, dass die unterirdische schnelle Verbreitung dieser Pflanze davon herrühre. Auch ist ihm eine Ortsveränderung von *Aconitum Napellus* durch den Zug der horizontalen Wurzelfasern wahrscheinlich. — Den Vorgang bei *Muscari* und *Ornithogalum* kenne ich nicht aus eigener Anschauung. Hingegen kommen nach meinen Erfahrungen bei *Tulipa silvestris* kontraktile Wurzeln überhaupt nicht vor. Die Verbreitung findet durch Ausläufer statt. Auch bei *Aconitum Napellus* habe ich merkliche Ortsveränderung durch Wurzelzug nicht gefunden.

eines Blattes durch interkalare Streckung des Basalteiles fortgeschoben, oder wenn die Rinde eines Baumes durch die Thätigkeit des Cambiums nach aussen gedrängt oder ein Sprossstück durch eine sich einrollende Ranke an die ergriffene Stütze herangezogen wird. Die hier behandelte Bewegung hat aber das Auffallende, dass in vielen Fällen nicht ein Teil der Pflanze, sondern die ganze Pflanze davon betroffen wird. Denn eine *Arum*-Knolle oder *Oxalis*-Zwiebel kriecht ja mit Hülfe ihrer gleich Armen ausgestreckten Zugwurzeln tatsächlich im Boden fort. Deshalb gewinnt diese Bewegungsweise äusserlich einige Ähnlichkeit mit der freien Ortsbewegung der niederen Pflanzen oder der Tiere, unterscheidet sich aber natürlich von dieser dadurch, dass sie auf Wachstumsvorgängen beruht und nicht rückgängig gemacht werden kann.

Richtung und Kontraktionsstärke der Wurzeln unterliegen bei manchen Pflanzen während der Entwicklung des Individuums beträchtlichen Änderungen. So sinkt bei manchen Amaryllideen (*Phaedranassa*, *Stenomesson*, *Eucharis*) die Maximalstärke der Kontraktion, welche während des Absteigens in die Tiefe 70 % beträgt, auf 20 bis 30 %, wenn diese Pflanzen ihre normale Tieflage erreicht haben; auch wachsen die Wurzeln später nicht mehr so steil abwärts, sondern gleich vom Grunde an flach nach aussen (siehe Taf. II, Fig. 2c). Eine gleichsinnige Veränderung der Kontraktionsstärke der Wurzeln zeigt *Arum maculatum*. Manche Irideen, wie *Tigridia*, bilden in ihrer normalen Tieflage die charakteristischen rübenförmigen Zugwurzeln überhaupt nicht mehr oder nur noch in sehr schwacher Weise; ähnlich verhalten sich die oben genannten *Oxalis*-Arten. Die Ursache dieser Änderung scheint mit der Begrenztheit der Grössenzunahme und der Stoffmenge der Pflanzen im Zusammenhang zu stehen. Durch das Aufhören der Bildung stark kontraktile Wurzeln wird dem Eindringen dieser Pflanzen in die Tiefe eine Grenze gesetzt. Doch hängt es nicht von dem Entwicklungszustande der Pflanze ab, ob Wurzeln von grosser oder geringer Kontraktionsfähigkeit gebildet werden, sondern nur von der Tieflage derselben. Denn wenn erwachsene Pflanzen aus ihrer normalen Tieflage, wo die Intensität der Kontraktion sich sehr vermindert hat, in oberflächliche Lage versetzt werden, so beginnen sie von neuem mit der Bildung stark kontraktile Wurzeln und streben mit Hülfe derselben ihrer normalen Tieflage wieder zu (siehe Taf. II, Fig. 2d).

Wo im Entwicklungsgange der Pflanze eine jährliche Periodizität besteht, da macht sich dieselbe gewöhnlich auch im Wurzelleben geltend. Auch die Bildung und Thätigkeit der kontraktile Wurzeln ist bei vielen Pflanzen auf eine bestimmte Zeit des Jahres beschränkt. Bei *Phaedranassa chloracea* zum Beispiel, welche ich in ihrer Heimat, in den tropischen Anden, beobachtete, sind während des grössten Theiles des Jahres, zumal während der regenreichen Periode, in Kontraktion befindliche Wurzeln vorhanden; nur etwa während dreier Monate, von August bis Oktober, wo die Trockenheit sehr gross ist, wird die Wurzelbildung unterbrochen und die Kontraktionsthätigkeit hört infolge dessen auf. Bei einer *Tigridia*-Art und bei *Oxalis elegans*, welche in derselben Gegend einheimisch sind, dauert die Thätigkeit der kontraktile Wurzeln jedes Jahr etwa 5 Monate lang. Manche der bei uns einheimischen Pflanzen schränken das Wirken ihrer kontraktile Wurzeln zeitlich noch mehr ein. Bei *Arum maculatum* geht dasselbe nur während zweier oder dreier Monate (von September bis November), bei *Gladiolus communis* ebenfalls nur während dreier Monate vor sich. Alle diese Pflanzen bewegen sich daher, wenn man die ganze Zeit ihrer Entwicklung berücksichtigt, nicht gleichmässig, sondern ruckweise im Boden fort. Etwas ähnliches geschieht ja auch bei jenen Pflanzen, bei welchen die Erneuerungsknospen nicht durch den Zug der Wurzeln, sondern durch Zuwachsbewegung des Stammes in grössere Tiefe geschafft werden. So findet das Vorrücken des Vegetationspunktes von *Colchicum autumnale* der Hauptsache nach auch bloss während etwa dreier Monate, von März bis Mai statt.

Analoge Lebenserscheinungen bei Pflanzen mit und ohne kontraktile Wurzeln.

Die kontraktile Wurzeln sind im Pflanzenreiche weit verbreitet und unter den ausdauernden krautigen Phanerogamen, Monokotylen wie Dikotylen, am meisten ausgebildet. Bei Kryptogamen und phanerogamen Holzgewächsen habe ich kontraktile Wurzeln bis jetzt nicht aufgefunden. Besondere Wichtigkeit gewinnen sie bei jenen Gewächsen, deren Eigenart es ist, ihre Erneuerungsknospen unter die Erdoberfläche zu verlegen. Man kann diese Pflanzen wegen dieser eigenartigen Lebensweise als besonderen biologischen Typus auffassen.¹

¹ „Geophile“ Pflanzen nennt sie Areschoug. Vergl. dessen Beiträge zur Biologie der geophilen Pflanzen. (Acta Reg. Soc. Phys. Lund. T. VI. Lund 1896).

Innerhalb dieses Typus stehen sich, worauf ich schon bei anderer Gelegenheit hingewiesen habe,¹ besonders zwei Gruppen gegenüber, welche ganz verschiedene Mittel anwenden, um die Erneuerungsknospen in eine bestimmte Bodentiefe zu bringen beziehungsweise dieselben in dieser Tiefe zu erhalten. Bei der einen geschieht es durch Thätigkeit kontraktile Wurzeln, bei der anderen durch Wachstumsbewegung der Sprossgebilde, ohne dass die Wurzeln dabei eine ausschlaggebende Rolle spielen. *Lilium martagon* und *Colchicum autumnale* veranschaulichen in unserer Flora wohl am besten dieses entgegengesetzte Verhalten.

Trotz der ganz verschiedenartigen Einrichtungen zum Eindringen in die Erde zeigen doch die Vertreter dieser beiden Gruppen eine merkwürdige Übereinstimmung darin, dass sie zwar eine gewisse Tiefe anstreben, aber dieselbe auch nicht überschreiten. Für die mit Zugwurzeln begabten Pflanzen ist das bereits oben näher ausgeführt worden. Für das Verhalten jener Gewächse, denen kontraktile Wurzeln fehlen, ist ein schönes Beispiel *Colchicum autumnale*.

Bei den kleineren Exemplaren dieser Pflanze, welche sich an der Erdoberfläche aus Samen entwickelt haben, wachsen die Jahrestriebe fast senkrecht nach unten. Anfangs ist die Strecke, um welche die Erneuerungsknospe der Knolle jährlich abwärts rückt sehr klein, später steigert sie sich bis auf etwa 15 mm. Nähert sich die Knolle endlich der Tiefe von etwa 15 cm, wohin sie nach vielleicht 20 jähriger Wanderung gelangt, so weicht die Richtung der Jahrestriebe immer mehr von der senkrechten ab und wird schliesslich horizontal. Die Knolle wächst infolge dessen nun nicht weiter abwärts, sondern behält ihre Tieflage bei. Wird aber eine solche Knolle aus ihrer normalen Tiefe genommen und in oberflächliche Lage versetzt, so ändert sie, ähnlich den mit Zugwurzeln versehenen Gewächsen, von neuem ihr Verhalten: Sie richtet ihre Jahrestriebe senkrecht abwärts, wie sie es in der Jugend gethan hatte, so dass dieselben nun nicht mehr neben einander, sondern über einander, die jüngsten zu unterst, liegen; und zwar thut sie das so lange, bis die normale Tieflage wieder erreicht ist.

Ähnlich sind die Vorgänge bei *Dentaria bulbifera*. Auf die Oberfläche der Erde gefallene Brutknospen, oder solche, welche nur

¹ Berichte der deutschen bot. Ges. Bd. XIV, Heft 4, S. 164.

wenig unter die Oberfläche geraten, entwickeln ein senkrecht abwärts wachsendes Rhizom. In der Tiefe werden aber die Triebe flacher und etwa 8 cm unter der Oberfläche laufen sie annähernd horizontal. Kommen die Brutknospen gleich anfangs in etwa 5 cm Tiefe, so wachsen sie sofort horizontal weiter.

Neue Individuen entstehen bei den hier in Betracht kommenden Pflanzen bekanntlich auf zweierlei Weise: Einmal durch von oberirdischen Organen gebildete Keime (Samen oder Brutknospen), welche auf die Erdoberfläche fallen, und zweitens dadurch, dass sich von den in der Erde befindlichen Grundachsen Zweige lostrennen und ein selbständiges Leben anfangen. Auch die auf dem letzteren Wege gebildeten Individuen haben in den beiden besprochenen Gruppen ein übereinstimmendes Benehmen.

Die Nebenzwiebeln der *Oxalis*-Arten zum Beispiel oder die Nebenknochen von *Arun*, welche zur Zeit ihrer Ablösung noch verhältnismässig klein sind, verharren ungefähr in der Tiefe, in welcher sie entstanden sind, wenn dies die normale ist, und wachsen daselbst zur definitiven Grösse heran. Wenn sie aber in oberflächliche Lage gebracht werden, so fangen sie, sobald Blätter zum Lichte gedungen sind, an, mit Hülfe stark kontraktile Wurzeln abzusteigen gleich den aus Samen entstandenen Individuen.

Übereinstimmend hiemit schlagen die Nebenknochen der in normaler Tiefe sitzenden Individuen von *Colchicum autumnale* von Anfang an eine ungefähr horizontale Wachstumsrichtung ein und erreichen, ohne ihre Tieflage wesentlich zu ändern, im Laufe der Jahre ihre endgültige Grösse. In oberflächliche Lage versetzt, nehmen sie jedoch bald das Verhalten der absteigenden, aus Samen entstandenen Individuen an.

Je nachdem die Individuen auf die eine oder die andere Art entstehen, machen sie also unter normalen Umständen bezüglich dieser Verhältnisse eine ganz verschiedene Entwicklung durch.

Gleich anderen biologischen Eigentümlichkeiten, ist auch der Besitz kontraktile Wurzeln nicht an Angehörige bestimmter systematischer Gruppen gebunden. Innerhalb derselben Familie kommen häufig bei einer Gattung stark kontraktile Wurzeln vor, während bei Arten einer anderen Gattung die Kontraktilität ganz fehlt oder doch nur in geringem Grade sich findet. Als Beispiele für solches entgegengesetztes Verhalten seien genannt: Die Liliaceen *Lilium Martagon* und *Colchicum autumnale*, die Amaryllideen *Phaedranassa chlora-*

cea und *Bomarea Caldasiana*, die Solanaceen *Atropa Belladonna* und *Physalis Alkekengi*. In manchen Abteilungen des Systems zeigt sich hingegen grosse Übereinstimmung im diesbezüglichen Verhalten. So scheinen in den Familien der Gramineen und Bromeliaceen kontraktile Wurzeln nicht vorzukommen, ebenso wie sie unter den Orchideen im allgemeinen keine grosse Rolle spielen. Dagegen bilden die Liliaceen, Amaryllideen, Irideen und Araceen ein Hauptgebiet ihres Vorkommens, und die Angehörigen einzelner Untergruppen dieser Familien scheinen durchgehends damit ausgestattet zu sein.

Figurenerklärung.

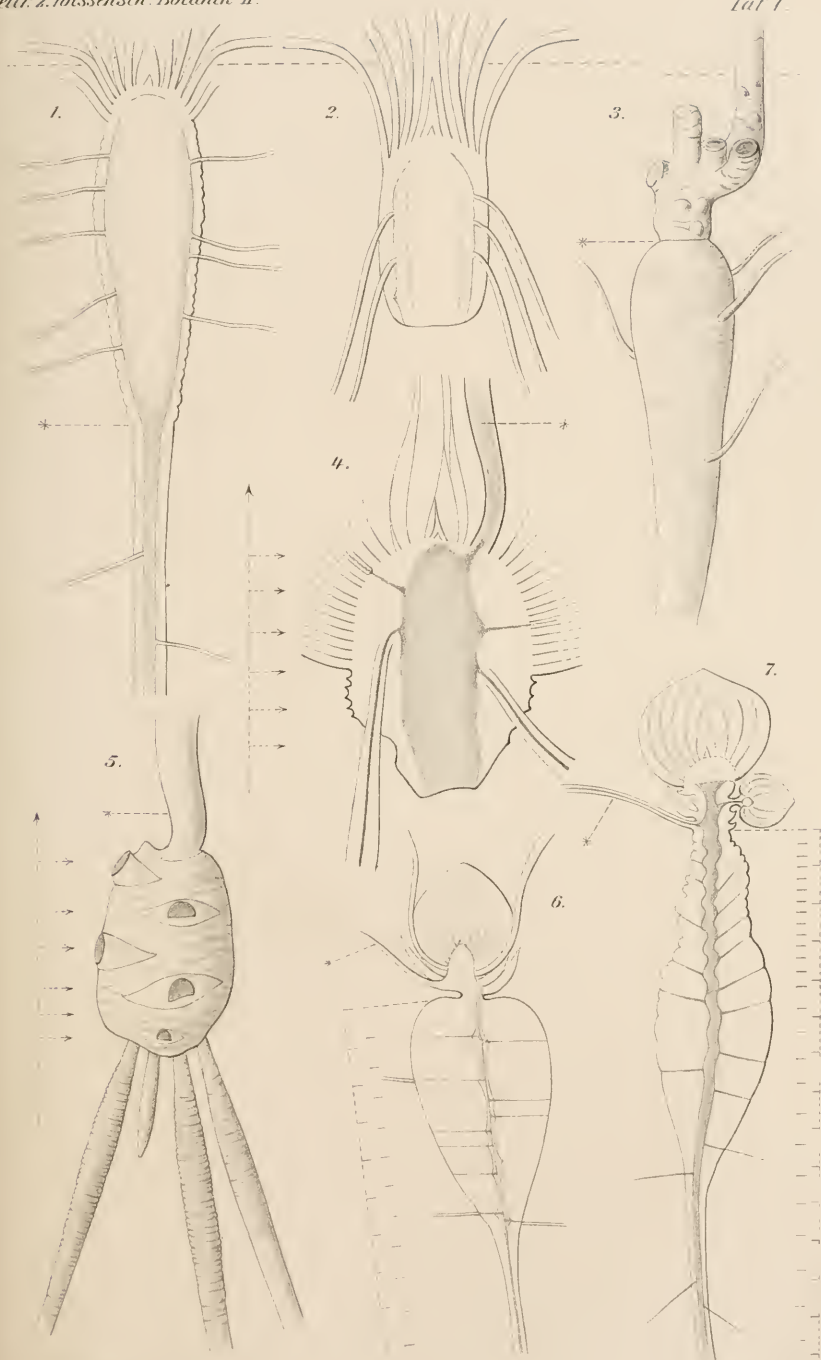
Die gestrichelten Horizontallinien bedeuten die Oberfläche der Erde. Von den neben die Wurzeln gezeichneten Massstäben giebt der eine die ursprüngliche (5 mm betragende), der andere die durch die Verkürzung herbeigeführte Entfernung der auf die Wurzeln aufgetragenen Marken von einander an.

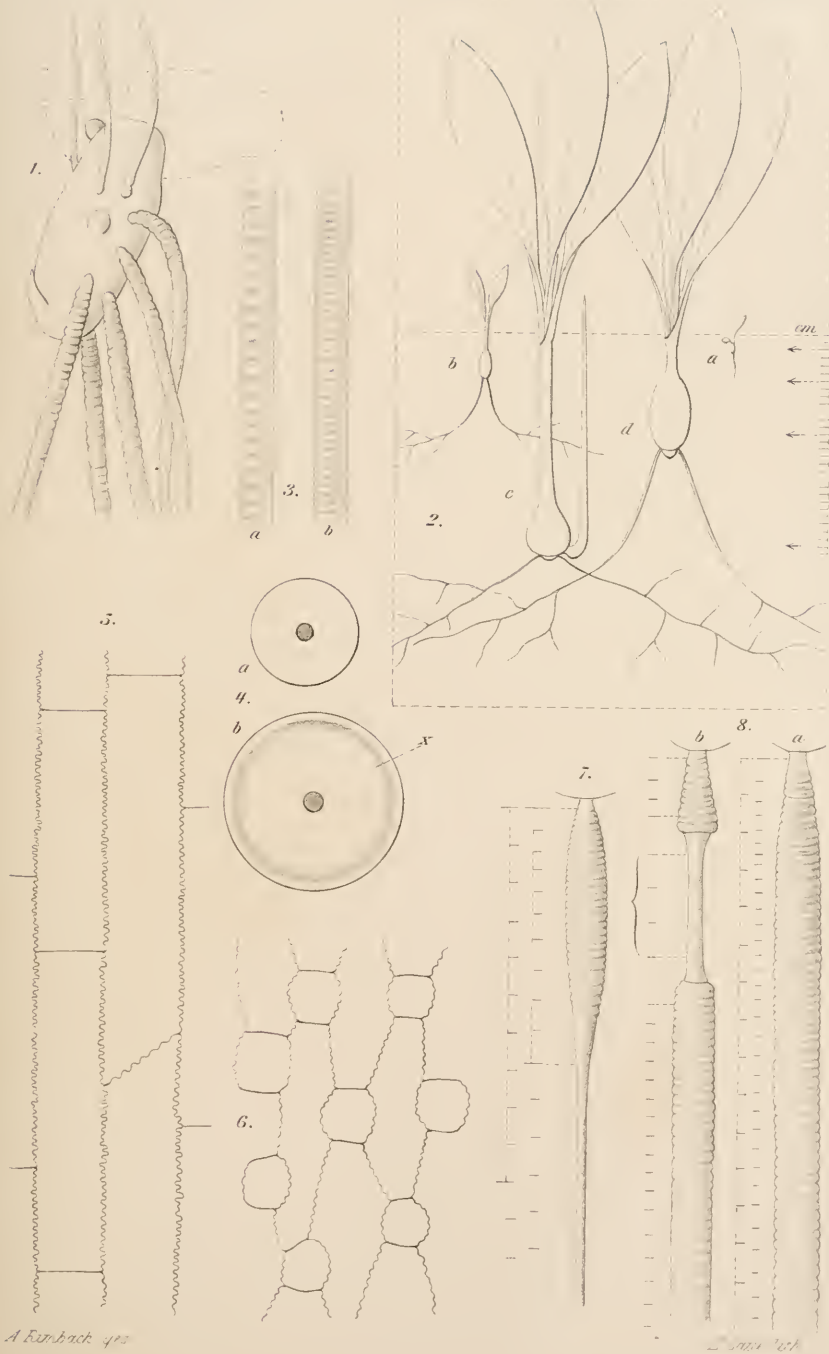
Tafel I.

- Fig. 1. *Plantago media*. Nat. Gr. Erwachsenes, älteres Exemplar. Längsschnitt. — * Grenze zwischen Spross und Wurzel.
- Fig. 2. *Plantago major*. Nat. Gr. Erwachsenes, älteres Exemplar. Längsschnitt.
- Fig. 3. *Phyteuma spicatum*. Nat. Gr. Erwachsenes, älteres Exemplar. * Grenze zwischen Spross und Wurzel. — Die Hauptwurzel mit leichten Querrunzeln. Die Seitenwurzeln zeigen die eigentümliche Verzerrung.
- Fig. 4. *Phaedranassa chloracea*. Nat. Gr. Teil eines Längsschnittes durch die erwachsene, ältere Zwiebel. Die Pfeile zeigen auf die Spuren der Blütenstengel und geben den jährlichen Längenzuwachs der von unten her absterbenden Zwiebelaxe an. * Diesjähriger Blütenstengel, links davon die Hauptknospe. Die Wurzeln durchbrechen abwärts wachsend die Rinde.
- Fig. 5. *Lilium Martagon*. Nat. Gr. Axe einer erwachsenen, älteren Zwiebel nach Entfernung der Schuppen. Die Pfeile zeigen auf die Narben der oberirdischen Sprosse und geben den jährlichen Längenzuwachs der von unten her absterbenden Axe an. * Diesjähriger Luftspross, links davon die Hauptknospe. Aus dem unteren Teile des Zwiebelstammes kommen die kontraktile, stark gerunzelten Wurzeln.
- Fig. 6.u.7. *Oxalis elegans*. Nat. Gr. Längsschnitte durch die Zwiebel und die kontraktile Wurzel erwachsener Exemplare.
- Fig. 6. Im Anfange der Kontraktion. Die fleischige Wurzel ist noch glatt.
- Fig. 7. Gegen Ende der Kontraktion. Die Wurzel ist im basalen Teile faltig geworden und zusammengeschrumpft. Der Gefäßbündelstrang ist stark verbogen. * Aus ihrer ursprünglichen Lage verzerzte unkontraktile Wurzeln.

Tafel II.

- Fig. 1. *Arum maculatum*. Nat. Gr. Durch die (jetzt im Absterben begriffenen) Wurzeln abwärts gezogene Knolle am Ende der Vegetationsperiode. Die obere, gestrichelte Figur giebt die ursprüngliche Lage der Knolle an.
- Fig. 2. *Phaedranassa chloracea*. $\frac{1}{10}$ Nat. Gr.
 a. Keimpflanze.
 b. Aus Samen entstandenes, absteigendes Exemplar im zweiten Jahre.
 c. Erwachsenes Exemplar in normaler Tieflage.
 d. Erwachsenes, abnorm hoch sitzendes Exemplar, im Absteigen begriffen.
- Der Deutlichkeit wegen sind von den zahlreichen Wurzeln nur je zwei gezeichnet. Man beachte die verschiedene Richtung derselben bei b und d einerseits und c anderseits. — Die Pfeile zeigen auf die Vegetationspunkte der Zwiebeln und geben die Tieflage derselben an.
- Fig. 3. Radiale Längswand der Endodermis aus dem basalen, sich um 70% verkürzenden Teile der Wurzel von *Phaedranassa chloracea*. Flächenansicht. Vergr. 300.
 a) bei 35% Verkürzung. — b) bei 70% Verkürzung. Die Wellen sind näher aneinandergerückt und — was auf der Figur nicht zu sehen ist — höher geworden.
- Fig. 4. Querschnitte des basalen Teiles von Wurzeln der *Phaedranassa chloracea* nach Beendigung der Kontraktion. 3fache Grösse.
 a) Von einem erwachsenen, in normaler Tiefe befindlichen Exemplar (Fig. 2, c) mit 25% Verkürzung.
 b) Von einem erwachsenen, absteigenden Exemplar (Fig. 2, d) mit 60% Verkürzung.
 x = Zone der zusammengedrückten Zellen.
- Fig. 5. u. 6. Aus dem um 70% verkürzten basalen Teile der Wurzel von *Phaedranassa chloracea*.
- Fig. 5. Endodermis im optischen Flächenschnitt durch den am stärksten gewellten Teil der Zellwände. Vergr. 300.
- Fig. 6. Exodermis. Optischer Flächenschnitt durch die Mitte der Zellen. Vergr. 150.
- Fig. 7. *Agave americana*. Wurzel eines jungen Exemplares nach Beendigung der Kontraktion. Nat. Gr. Der dicke Basalteil ist kontraktile, der dünne Spitzenteil nicht. — Die Marken zeigen die Verteilung der Kontraktion an.
- Fig. 8. *Phaedranassa chloracea*. Basalteile der Wurzeln eines erwachsenen Exemplares nach vollendeter Kontraktion. Nat. Gr. — Die Marken zeigen die Verteilung der Kontraktion an.
 Bei a) ist die Verkürzung ungestört vor sich gegangen.
 Bei b) ist auf einer Strecke bald nach Beendigung des Längenwachstums derselben der grösste Teil des Rindengewebes durch Abschneiden entfernt worden. Diese Strecke hat sich dementsprechend nur wenig verkürzt.





ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Beiträge zur Wissenschaftlichen Botanik](#)

Jahr/Year: 1897

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Rimbach A.

Artikel/Article: [Die kontraktile Wurzeln und ihre Thätigkeit 1-28](#)