© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Zur vergleichenden Anatomie des Zentralzylinders der Papilionaceen-Keimwurzel.

Von

Erich Petersen, Kiel.

Die bisher vorliegenden Resultate der Wurzelanatomie haben gezeigt, daß bei einer gewissen Gleichartigkeit doch bemerkenswerte Unterschiede sowohl zwischen einzelnen Arten einer Gattung wie zwischen einzelnen Gattungen einer Familie zu Tage treten können. Es wäre nun von besonderem Interesse, zu untersuchen, inwieweit solche Verschiedenheiten bei den Keimwurzeln, und zwar schon im primären Wachstumsstadium, innerhalb einer Pflanzengruppe vorkommen. Allerdings sind die Lebensbedingungen, unter denen sich die Keimung abspielt, verhältnismäßig gleichförmig. Ebenso herrscht im ganzen anatomischen und morphologischen Aufbau bei den Keimpflanzen eine gewisse Gleichförmigkeit. Beides sind Umstände, die inbezug auf die anatomische Struktur der Keimwurzeln weitgehende Differenzen nicht erwarten lassen. Auf der anderen Seite ist ein Vergleich zwischen den jungen Keimwurzeln insofern leicht durchführbar, als Unterschiede, wie sie sich im späteren Alter zwischen den Wurzeln einer und derselben Pflanze bemerkbar machen können — eine Erscheinung, auf die Tschirch (20) zuerst hingewiesen und als Heterorhizie beschrieben hat —, hier gänzlich in Wegfall kommen[1]).

In dieser Arbeit soll nun ein Vergleich zwischen den am Ende des primären Stadiums befindlichen Keimwurzeln der Papilionaceen angestellt werden, wobei jedoch im Wesentlichen nur der Zentralzylinder berücksichtigt werden wird.

Die Wahl dieser Pflanzengruppe erschien insofern vorteilhaft, als das Vorkommen von primären Bastfasern und von Calciumoxalat-Kristallen in den Keimwurzeln mehrerer Papilionaceen bekannt war. Namentlich die erste dieser beiden Eigenschaften,

[1]) Neuerdings hat Wildt (25) die Heterorhizie auf künstliche Weise auch in den Keimwurzeln hervorrufen können, ein Beweis, daß sie — zum Teil wenigstens — auf äußeren Faktoren beruht.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

durch die sich diese Familie vor den meisten anderen auszeichnet, versprach ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen einzelnen Gattungen bezw. Arten abzugeben. Primäre Bastfasern in der Wurzel finden sich übrigens außer bei den drei Gruppen der Leguminosen nach den bisherigen Untersuchungen nur in wenigen Fällen, so bei den Malvaceen (22), mehreren Cycadeen (16), bei Anona und Celtis (17), während sie in den Wurzeln der Monocotylen und Kryptogamen nie vorkommen (22).

Von ähnlichen vergleichend anatomischen Wurzeluntersuchungen, in denen die Papilionaceen berücksichtigt werden, kommen nur die Arbeiten von van Tieghem (21) und Lohrer (12) in Betracht. Während ersterer die noch im primären Altersstadium befindlichen Wurzeln ziemlich ausführlich beschreibt, von einem Vergleich aber absieht, legt Lohrer zwar das Hauptgewicht auf den Vergleich der verschiedenen Wurzeln, berücksichtigt dafür aber sehr wenig das primäre Stadium. Die Zahl der untersuchten Pflanzen ist in beiden Arbeiten außerdem gering. Ein eingehenderes Studium auf Grund eines reichlichen Untersuchungsmaterials erschien deshalb nicht unangebracht.

Der vorliegenden Arbeit liegt eine Untersuchung von 139 Arten zugrunde, die sich auf 49 Gattungen verteilen.

I. Allgemeiner Teil.

Eine notwendige Vorbedingung für den Wert der Arbeit inbezug auf die Vergleichbarkeit der Wurzeln war eine gleichförmige Behandlung derselben. Es wurde stets ein ganz bestimmtes Altersstadium zur Untersuchung und zum Vergleich herangezogen, und zwar die Zeit des Einsetzens der Kambiumtätigkeit, also ein Stadium, in dem der primäre Bau der Wurzel als abgeschlossen zu betrachten ist. Da nun aber gerade in dieser Wachstumsperiode oft neue Charaktere auftreten, so erschien es notwendig, auch etwas jüngere und ältere Stadien mit zu berücksichtigen. Es ist jedoch auch nicht gleichgiltig, wo die Querschnitte — nur solche werden hier zum Vergleich dienen, Längsschnitte wurden nur in seltenen Fällen ausgeführt — angebracht werden. In unmittelbarer Nähe des Hypokotyls erscheinen sie meist wesentlich anders als weiter von diesem entfernt, indem am basalen Ende der zentrale Raum zwischen den Gefäßgruppen stets größer ist als in der ganzen übrigen Wurzel, und der Übergang derselben in das hypokotyle Glied sich auch auf andre Weise äußern kann (6 und 10), worauf noch zurückzukommen sein wird. Für die vorliegende Untersuchung wurde deshalb diese Übergangszone für die Anfertigung von Wurzelquerschnitten sorgfältig vermieden. Letztere wurden stets etwa im mittleren Drittel der Wurzellänge ausgeführt, jedenfalls auch nicht in zu großer Nähe oder gar innerhalb der Streckungszone der Wurzel. Bis zum Eintritt der Kambiumtätigkeit in jener

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

mittleren Region war im allgemeinen ein Alter der Keimlinge von ein bis zwei Wochen erforderlich.

Vor allem aber handelte es sich darum, festzustellen, ob ein direkter Einfluß des Mediums schon auf diese jungen Keimpflanzen stattfinde oder nicht, d. h. ob ein verschiedener Wassergehalt des Bodens, worauf es uns hier nur ankommt, in dem Bau der Keimwurzeln einer und derselben Pflanzenart Unterschiede hervorruft. Daß die Wurzeln der in Wasser, feuchter und trockener Erde sich entwickelnden Keimlinge einer Pflanze charakteristische Unterschiede aufweisen, ist u. a. von Constantin (5), Mer (13) und Perseke (14) nachgewiesen worden. Diese Untersuchungen beschäftigen sich jedoch, wenigstens teilweise, vielleicht sogar ausschließlich, mit älteren Wurzeln als sie hier benutzt wurden. Sie zeigen, daß, abgesehen von einigen äußeren Eigentümlichkeiten, im Wasser gewachsene Wurzeln eine Reduktion des Zentralzylinders, meistens auch eine Verringerung der Rinde, vor allem aber eine kleinere Zahl von Gefäßen, weniger Mark und Bast aufweisen als solche, die in Erde gewachsen sind, daß aber auch ganz allgemein sehr feuchtes Erdreich ähnliche Wirkungen auf die Wurzel ausübt wie das Wasser allein.

Um nun festzustellen, ob derartige Unterschiede schon bis zu den für die späteren Untersuchungen in Betracht kommenden Altersstadien in den Papilionaceen-Wurzeln auftreten können, wurden mit einer größeren Zahl von Keimlingen aus den verschiedenen Tribus dieser Familie Kontrollversuche angestellt. Von jeder Art wurden einige Exemplare in möglichst trockener, andere in sehr feuchter Erde kultiviert. Es zeigte sich jedoch, daß bis zu dem erwähnten Altersstadium sich noch nirgends wahrnehmbare anatomische Unterschiede innerhalb des Zentralzylinders bemerkbar machten; auch der Durchmesser desselben blieb bei dem verschiedenen Wassergehalt des Bodens ohne merklichen Unterschied. Trotzdem ist aber stets auf möglichste Gleichartigkeit in den Wachstumsbedingungen der Keimpflanzen Rücksicht genommen worden. Sie wurden zum größten Teil im Winter bei mittlerer Bodenfeuchtigkeit im Gewächshause kultiviert, nur wenige während des Sommers im Freien.

Der **Zentralzylinder** behält trotz seiner bedeutenden Größenunterschiede doch stets ein ziemlich konstantes Verhältnis zum ganzen Wurzelquerschnitt bei, sodaß man aus der Dicke der Wurzel durchschnittlich einen Schluß auf die Größe des Zentralzylinders machen kann. Der Durchmesser des letzteren beträgt etwa den dritten bis fünften, meist ungefähr den vierten Teil des Durchmessers der ganzen Wurzel. Handelt es sich um eine diarche Wurzel, deren Zentralzylinder immer in der Richtung der beiden Gefäßgruppen gestreckt ist, so ist auch meistens der ganze Wurzelquerschnitt mehr oder weniger elliptisch, jedoch stets weniger als der zugehörige Zentralzylinder.

Die Größe des Zentralzylinders schwankt von Gattung zu Gattung und meist auch von Art zu Art. Die Extreme fanden sich bei triarchen Wurzeln. So hatte der Zentralzylinder von

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Pisum sativum einen Durchmesser von 540 μ[1]), derjenige von *Anthyllis vulneraria* nur einen solchen von 95 μ. Die Strahlenzahl steht nicht in Beziehung zur Größe des Zentralzylinders, man findet di-, tri- und tetrarche Wurzeln in jeder Größe.

Die Zentralzylinder mit mehr als zwei Gefäßgruppen sind im großen und ganzen kreisförmig, doch finden sich nicht selten Abweichungen. Eine bei einigen tri- und tetrarchen Wurzeln häufig vorkommende Unregelmäßigkeit ist eine Streckung des Zentralzylinders, die in beiden Fällen mit einer ungleichmäßigen Ausbildung der Gefäßgruppen verbunden ist, so bei *Pisum, Lathyrus Ochrus* u. a. Ebenso trifft man sowohl bei triarchen wie tetrarchen Wurzeln öfters eine Ausbuchtung des Zentralzylinders vor den Phloemteilen, in anderen Fällen wiederum vor den Gefäßgruppen, an. Je nach der Größe dieser Ausbuchtungen kommt also eine mehr oder weniger drei- resp. vierecksähnliche Form des Zentralzylinders zustande. Sehr deutlich und scheinbar konstant ist eine Hervorwölbung vor dem Phloem bei allen *Phaseolus*-Arten und bei *Vigna,* wo jedoch auch meistens vor den vier Gefäßgruppen kleine Ausbuchtungen vorhanden sind, die aber für die Form des Zentralzylinders von geringerer Bedeutung sind. Nur *Phaseolus multiflorus* macht eine Ausnahme, indem hier umgekehrt die Ausbuchtungen vor den Gefäßgruppen — die später erwähnten „Zwischenstränge" kommen hier nicht in Betracht — die weitaus größten sind. Deutliche und scheinbar ziemlich regelmäßig vorkommende Ausbuchtungen vor den Gefäßgruppen allein finden sich bei einigen *Dolichos*-Arten, bei *Trigonella coerulea* und vor allem bei *Scorpiurus.*

In geringerem Grade und zugleich weniger regelmäßig kommen diese Eigentümlichkeiten noch in mehreren andern Fällen vor.

Wie schon erwähnt, sind die diarchen Zentralzylinder in der Richtung der beiden Gefäßgruppen gestreckt, wenn auch das Verhältnis zwischen Quer- und Längsdurchmesser bei den verschiedenen Arten und Gattungen sehr verschieden ist. Im allgemeinen gilt die Regel: Je schmäler die Gefäßgruppen und je kleiner und schmäler die Bastfasergruppen sind, desto gestreckter ist der Zentralzylinder und umgekehrt. Ist dieser jedoch sehr klein, so zeigt er eine besonders große Neigung zur Kreisform *(Thermopis montana, Genista).* Eine weitere Ausnahme bilden die sehr großen Zentralzylinder von *Lupinus luteus* und *L. angustifolius,* die breite Gefäßgruppen enthalten und doch mehr gestreckt sind als alle kleineren Zentralzylinder anderer Lupinen, obgleich diese fast alle bedeutend schmälere Gefäßgruppen aufweisen. Doch diese größere Streckung der Zentralzylinder der großen Lupinenwurzeln scheint allgemein zu sein, denn auch *Lupinus albus, L. Cruckshanksii* und *L. polyphyllus* mit schmalen Gefäßgruppen zeigen eine ebenso große Streckung wie *L. angustifolius* und *L. luteus.*

---

[1]) Die in dieser Arbeit angegebenen, auf die Größe und Form des Zentralzylinders, auf die relative Größe der Gefäß- und Bastfasergruppen, auf die Menge und Weite der Gefäße bezüglichen Zahlen sollen nur Durchschnittswerte angeben, die aber insofern ein gutes Bild von den tatsächlichen Verhältnissen geben, als scheinbar nur geringe Schwankungen vorkommen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die **Endodermis**, die, wenn auch nicht zum Zentralzylinder gehörig, hier doch mit berücksichtigt worden ist, zeigt keine besonderen Eigentümlichkeiten. Die Zellen sind alle gleichförmig, von ziemlich regelmäßiger Gestalt und etwas tangential gestreckt. Zellwandverdickungen kommen, von den stets deutlich erkennbaren Caspary'schen Punkten abgesehen, nicht vor.

Im Gegensatz zu den Zellen der Endodermis zeigen diejenigen des nach innen an die Endodermis sich anschließenden **Perikambiumringes** eine Neigung zu radialer Streckung. Wie schon aus der Entwicklungsgeschichte hervorgehen muß, wechseln sie in ihrer Lage mit den Endodermiszellen ab, d. h. die Radialwände der Perikambiumzellen stehen mit der inneren tangentialen, nie mit einer radialen Wand der Endodermiszellen in Verbindung. Das Perikambium läßt sich als ein einschichtiger geschlossener Ring verfolgen, der aber in der Mehrzahl der untersuchten Fälle vor den Gefäßgruppen mehrschichtig wird; eine oder mehrere Zellreihen sind ihm hier nach innen zu angelagert. Entsprechend der Strahlungsrichtung im Zentralzylinder nimmt die Länge dieser Schichten nach außen hin zu, doch reichen sie nur wenig über die Gefäßgruppen hinaus. Beim Beginn des sekundären Wachstums schließt sich bekanntlich der Kambiumring stets durch Tangentialteilung der innersten Schicht des vor den Gefäßgruppen mehrschichtigen Perikambiums; bei ringsum einschichtigem Perikambium treten die vor den Gefäßgruppen befindlichen Zellen zu dieser Zeit ebenfalls in Teilung. Im allgemeinen ist das Perikambium um so vielschichtiger vor den Gefäßgruppen, je größer der Zentralzylinder ist. In sehr kleinen Wurzeln ist es stets einschichtig, andererseits finden sich in großen Wurzeln nie mehr als fünf Schichten, und diese Zahl kommt sogar nur ausnahmsweise vor. In sehr vielen Fällen schwankt die Zahl um eine Zellage bei einer Art, ja selbst bei einer und derselben Pflanze, wenn sie auch ebenso häufig konstant zu sein scheint.

Die Zellen des Perikambiums sind fast niemals vollständig gleichförmig, und zwar würde es sich dann nur um solche Fälle handeln, in denen es auch vor den Gefäßgruppen nur einschichtig ist. Sind nämlich hier mehrere Zellagen vorhanden, so sind die Zellen des erwähnten äußeren, einschichtigen Perikambiumringes stets größer als diejenigen der nach innen zu angelagerten Schichten. Aber auch jener zeigt meist keine Gleichförmigkeit, ob mehrere Zellagen vor den Gefäßgruppen vorhanden sind oder nicht. Hier sind nämlich die Zellen desselben fast immer größer und mehr radial gestreckt als vor den Phloemgruppen. Dieser Größen- und Gestaltsunterschied der Perikambiumzellen ist ganz auffallend bei *Onobrychis viciaefolia*, sehr deutlich auch bei *Ornithopus* und *Scorpiurus*.

Wichtig ist das Perikambium als Ablagerungsort für Calciumoxalat-Kristalle. Diese finden sich in den untersuchten Papilionaceenwurzeln ausschließlich an zwei Stellen, und zwar einmal in den vor den Phloemteilen befindlichen Perikambiumzellen, sodann noch

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

in einer an die Endodermis angrenzenden einzelligen Schicht der Rinde. Der erste Ort ist der weitaus häufigste.

Von den Elementen des **Phloems** zeigen auf Querschnitten nur die Bastfasern merkliche Unterschiede, sodaß auch nur auf diese Rücksicht genommen worden ist.

Die Strahlenzahl des Zentralzylinders hat auf das Auftreten der Bastfasern keinen sichtlichen Einfluß. Eine Beschränkung derselben auf die tri- und tetrarchen Wurzeln, wie sie De Bary (1, p. 369) angibt, entspricht nicht den Tatsachen, man findet Bastfasern scheinbar ebenso häufig in diarchen Wurzeln.

Zur Zeit des Beginns der Kambiumtätigkeit sind sie jedoch nicht immer vorhanden. Gerade in dieser Wachstumsperiode sind sie nämlich in sehr vielen Fällen im Entstehen begriffen, sodaß zum Teil auch aus diesem Grunde ein etwas jüngeres und älteres Stadium hat berücksichtigt werden müssen. Es scheint festzustehen, daß auch diejenigen Wurzeln, die beim Beginn der Kambiumtätig- noch keine Bastfasern besitzen, je nach Art und Gattung früher oder später nach diesem Zeitpunkte in ihren Phloemgruppen doch Bastfasern aufweisen, die nicht sekundären Ursprungs sind. Es handelt sich also nur um zeitliche Unterschiede, die aber trotzdem als anatomische und auch als systematische Merkmale nicht zu unterschätzen sind.

Die Zahl der Fasern in einer Phloemgruppe wechselt innerhalb weiter Grenzen. Durchschnittlich wächst sie mit der Größe des Zentralzylinders. In kleinen Wurzeln finden sich sehr häufig nur vereinzelte Bastfasern, in großen kann ihre Zahl in einem Phloemteil bis auf ca. 40 steigen *(Pisum)*, meistens sind es jedoch bedeutend weniger. Sie liegen stets an der äußeren Seite des Phloems, dicht an dem dort oft mit Calciumoxalat-Kristallen versehenen Perikambium, von dem sie nur durch einige kleinere Zellen, abgeplattete oder zerdrückte Cribralprimanen, getrennt sind. In jedem Phloemteil sind die Bastfasern, wenn es sich nicht um ganz vereinzelte handelt, zu einer einheitlichen Gruppe vereinigt, die in tri- und tretrarchen Wurzeln oft rundlich, meistens aber etwas tangential gestreckt ist. Eine solche Streckung der Bastfasergruppen ist der länglichen Form des Zentralzylinders entsprechend bei den diarchen Wurzeln besonders groß.

Die Lupinen bilden bezüglich der Bastfasern eine Gruppe für sich. In den meisten Fällen finden sich hier zur Zeit des Einsetzens der Kambiumtätigkeit überhaupt keine Fasern. Wenn sie jedoch vorhanden sind, so handelt es sich immer nur um ganz vereinzelte. Selten steigt ihre Zahl jederseits auf acht bis zehn *(L. angustifolius, L. luteus* und *L. pulchella)*. Sie bilden nie kompakte Gruppen, sondern liegen stets einzeln, an der äußeren Seite des Phloems in tangentialer Richtung verteilt, und unterscheiden sich außerdem von den Bastfasern aller übrigen Papilionaceen durch besondere Eigentümlichkeiten. Sie sind immer auffallend stark abgerundet, meist genau kreisförmig, und wenig verdickt. Vor allem aber zeichnen sie sich durch einen außerordentlich leb-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

haften seidenartigen Glanz aus, wie er den Bastfasern anderer Papilionaceenwurzeln nie zukommt.

Verholzungsreaktion zeigen die Bastfasern nur in ganz geringem Grade, zuweilen ist sie überhaupt nicht nachzuweisen.

Eine auffallende Beziehung scheint zu bestehen zwischen den Bastfasern und den wasserleitenden Elementen, insofern, als allgemein gefäßreichen und meist zugleich breiten Gefäßgruppen auch viele Bastfasern entsprechen und umgekehrt.

Was die Zahl der **Gefässgruppen** resp. der Phloemgruppen in den untersuchten Keimwurzeln betrifft, so schwankt sie im allgemeinen nur zwischen zwei und vier. Pentarche und hexarche Wurzeln kommen zwar auch vor, aber nur in seltenen Fällen. So findet man bei *Vicia Faba* gelegentlich eine pentarche, bei *Phaseolus* zuweilen eine pent- oder hexarche Wurzel.

Soweit hier ermittelt werden konnte, besitzt nun, worauf später noch zurückzukommen sein wird, der diarche Bau stets, der tri- und tetrarche nur in einzelnen Fällen Gattungscharakter. Aber auch innerhalb einer Art weist die Diarchie niemals Ausnahmen auf in Form von einzelnen Wurzeln mit höherer Strahlenzahl. Die triarchen und tetrarchen Wurzeln dagegen, vor allem die ersteren, zeigen auch hier keine Konstanz, indem sich bei ihnen immer einzelne Fälle mit abweichender Strahlenzahl finden. Ja, es kann sogar vorkommen, daß die Triarchie und die Tetrarchie — es handelt sich meistens um Schwankungen zwischen diesen beiden Strahlenzahlen — bei einer Art mit gleicher Häufigkeit angetroffen werden, während allerdings im allgemeinen die eine Zahl im Vergleich mit der anderen so häufig angetroffen wird, daß sie sich sofort als die für die Pflanze typische erweist.

Die Größe der Gefäße schwankt sowohl je nach Art und Gattung, als auch in einer einzelnen Gefäßgruppe beträchtlich.

Interessant ist das Verhältnis eines mittelgroßen Gefäßlumens einer Wurzel zum ganzen Zentralzylinder. Es zeigt sich nämlich ganz allgemein, daß kleine Zentralzylinder relativ große Gefäße besitzen und umgekehrt, daß also diese mittlere Gefäßgröße geringeren Schwankungen unterworfen ist als der ganze Zentralzylinder. Ein Beispiel möge dies illustrieren: Der diarche Zentralzylinder von *Lupinus angustifolius* hat einen etwa zwanzigmal so großen Querschnitt als der ebenfalls diarche Zentralzylinder von *Thermopsis montana*. Das durchschnittliche Lumen eines Gefäßes ist jedoch im ersten Falle nur dreimal so groß als im zweiten, sodaß es hier einen sechs- bis siebenmal so großen Teil des Zentralzylinders einnimmt als bei *Lupinus angustifolius*.

Anders steht es mit der Zahl der Gefäße. Diese ist zwar auch von Art und Gattung abhängig, ihr Verhältnis zur Größe des Zentralzylinders ist jedoch derart, daß kleine Wurzeln relativ wenige Gefäße enthalten und umgekehrt, was ja im Hinblick auf die relative Weite derselben verständlich ist. So führen z. B. die kleinen triarchen Wurzeln von *Lotus uliginosus* und *L. corniculatus* nur drei bis vier Gefäße in jeder Gruppe; und doch bilden alle Gefäße zusammen etwa den siebenten Teil des ganzen Zentral-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

zylinders, während bei den ebenfalls triarchen, aber sehr großen Wurzeln von *Pisum sativum* in jeder Gruppe durchschnittlich 25 Gefäße vorhanden sind, obwohl die drei Gefäßgruppen hier nur den neunten bis zehnten Teil des Zentralzylinders ausmachen.

Die durchschnittliche Zahl der Gefäße in jeder Gruppe beträgt bei einer mittelgroßen Papilionaceenwurzel etwa acht bis zehn.

Von den bekanntlich in zentripetaler Reihenfolge entstandenen Gefäßen sind in jeder Gefäßgruppe die äußeren, am Perikambium gelegenen, die sog. Vasalprimanen oder Primordialgefäße, kleiner als die nach innen zu sich anschließenden, namentlich bei größeren, gefäßreichen Wurzeln. Die Primordialgefäße zeigen in allen untersuchten Fällen geringere Verholzungsreaktion als die übrigen, zugleich dickwandigeren Gefäße.

Abgesehen von den äußerst kleinen Wurzeln sind die Gefäßgruppen stets in radialer Richtung gestreckt und fast immer nach außen hin etwas verschmälert, durchschnittlich sind sie etwa zweieinhalb- bis dreimal so lang als breit.

Mit der Breite der Gefäßgruppen nimmt die Zahl der Primordialgefäße im allgemeinen zu, und zwar zeigen sie bei schmalen Gruppen eine Tendenz zu radialer Anordnung, während mit zunehmender Breite der Gefäßgruppen ihre Anordnung immer mehr in tangentialer Richtung erfolgt.

Bis kurz vor dem Beginn der Kambiumtätigkeit finden sich nun in allen untersuchten Keimwurzeln die beschriebenen Gefäßgruppen als die einzigen wasserleitenden Elemente, in der Mitte des Zentralzylinders durch ein aus fünf- bis sechseckigen Zellen bestehendes zartes, noch undifferenziertes markartiges Gewebe getrennt. Bevor jedoch die ersten Anfänge des sekundären Wachstums der Wurzel sichtbar sind, zum Teil aber auch etwa gleichzeitig mit ihnen, bemerkt man in diesem zentralen Gewebe die ersten Anfänge von Gefäßbildungen, die dann entweder unmittelbar oder etwas später nach dem Einsetzen der Kambiumtätigkeit vollendet sind und diesen ganzen inneren Raum zwischen den eigentlichen Gefäßgruppen ausfüllen. Bemerkenswert ist nun, daß diese Gefäße nicht aus dem durch mehrere Zellschichten von ihnen entfernten Perikambium hervorgehen können, zumal der Beginn der Differenzierung zum Teil schon im primären Stadium erfolgt. Es sind also keine sekundären Bildungen. Nach dem Orte ihres Vorkommens mögen sie hier als „Zentralgefäße“ bezeichnet werden. Sie sind in den allermeisten Fällen bedeutend größer als die Gefäße in den eigentlichen Gefäßgruppen, sodaß ihre Zahl nur gering ist, und in sehr kleinen Wurzeln oft nur ein einziges entsteht.

Die Zentralgefäße finden sich nach dem Einsetzen der Kambiumtätigkeit in der ganzen Länge der Wurzel mit scheinbar konstanter Ausnahme der Übergangszone zwischen dieser und dem Hypokotyl, die jedoch im allgemeinen sehr kurz, selten (*Lupinus albus, L. Cruckshanksii*) von größerer Länge ist und, wie früher erwähnt, für diese Untersuchung nicht in Betracht kommt.

Eine sehr bemerkenswerte Ausnahmestellung nimmt aber *Phaseolus multiflorus* ein. Nach Dodel (6) ist die Übergangszone

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

hier wie auch bei anderen *Phaseolus*-Arten durch Vorhandensein von „Zwischensträngen", die sich aus dem Hypokotyl in die Wurzel hinabziehen, gut charakterisiert. Während nun aber dieser Verfasser angibt, daß sie stets früher endigen, „als die Wurzel in die Länge zu wachsen aufhört", hat hier immer beobachtet werden können, daß, wenn auch einige vorher blind endigen, andere ebenso weit in die Wurzel hinabreichen, wie die wurzeleigenen Gefäßgruppen. Dementsprechend ist denn auch *Phaseolus multiflorus* die einzige der hier untersuchten Pflanzen, in deren Wurzel, auch wenn sie mehrere Wochen alt und stark sekundär verdickt ist, nirgends Zentralgefäße auftreten.

Als weitere anatomische Merkmale finden sich in den Wurzeln einiger *Dolichos*-Arten und derjenigen von *Arachis hypogaea* mehrere Zellen mit bräunlichem, körnigem Inhalt, die als Gerbstoffschläuche oder Gummigänge anzusehen sind. Das Vorkommen von Gerbstoffschläuchen bei vielen Papilionaceen ist bekannt (10, p. 294), wenn sie auch in der Mehrzahl der Fälle nur in dem oberirdischen Teil der Pflanze vorhanden zu sein scheinen. So sieht man sie z. B. bei *Phaseolus multiflorus* an der Wurzelbasis endigen. Die auch oft durch ihre Größe auffallenden, aber nicht abgerundeten oder verdickten Zellen liegen, von *Arachis* abgesehen, wo sie über den ganzen Wurzelquerschnitt zerstreut sind, in der Phloemgegend, und zwar scheinen sie besonders häufig in der Nähe der beiden tangentialen Enden der Bastfasergruppen vorzugsweise vorhanden zu sein *(Dolichos Lablab)*.

Ferner fanden sich in einzelnen Fällen *(Lathyrus vernus, L. maritimus)* Stärkekörner in größer Menge in der ganzen Wurzel, doch sind wahrscheinlich hier besondere Kulturbedingungen von Einfluß gewesen.

Von besonderem Interesse ist das Auftreten der früher erwähnten **Calciumoxalat-Kristalle.** Sie besitzen überall dieselbe, d. h. wohl variable, aber doch sofort als verschiedene Modifikationen eines Haupttypus zu erkennende Gestalt. Es sind durchschnittlich etwa 20 μ lange und 5 μ breite mit meistens mehreren Knickungen und Einbuchtungen versehene Prismen. Sehr oft findet man auch, daß der Kristall nur einen Knick aufweist, etwa in der Mitte. Es ist demnach sehr wahrscheinlich, daß es sich hier um ein- resp. mehrfache Zwillingsbildungen handelt. Wir haben es jedenfalls mit den bei den Papilionaceen sehr verbreiteten „styloidenförmigen" bis „stäbchenförmigen" Kristallen zu tun, wie sie Solereder ausführlich beschreibt (10, p. 301—302), und wie sie auch von De Bary (1, p. 144 ff.) und Kohl (11) erwähnt werden. Es findet sich nie mehr als ein Kristall in einer Zelle, eine Eigentümlichkeit, wie sie solchen größeren Einzelkristallen von Calciumoxalat allgemein zukommt (1, p. 144 und 8, p. 446). Die Kristalle erscheinen oft schon als kleine kurze Körperchen, während die sie beherbergenden Zellen noch ganz kurz sind, und wachsen dann in die Länge mit der Streckung der Zellen. Bisweilen geht jedoch das Wachstum der Kristalle der Streckung der Zellen voraus, sodaß jene dann in den auf dem Längsschnitt rechteckigen, in der Richtung

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Wurzel gestreckten Zellen mehr oder weniger diagonal angeordnet sind. Diese kristallführenden Zellen bleiben übrigens in vielen Fällen kürzer als benachbarte kristallfreie. Sowohl die in den Perikambiumzellen vor den Phloemteilen als auch die in der an die Endodermis angrenzenden Rindenzellenschicht vorkommenden Kristalle liegen nun nicht etwa regellos zerstreut in beliebigen Zellen, auch kommen sie nie an diesen beiden Orten in jeder Zelle vor, sondern zeigen stets eine charakteristische Anordnung. Es finden sich immer parallel verlaufende, bald kürzere, bald längere, bald wenig, bald wiederum weiter voneinander entfernte mit Kristallen versehene Zellreihen, während die übrigen Zellen keine Kristalle enthalten.

Ob eine Beziehung zwischen Bastfasern und Kristallen in den Papilionaceenwurzeln besteht, läßt sich nicht sicher entscheiden. Daß ganz allgemein die unmittelbare Nähe der Bastfasergruppen ein beliebter Ablagerungsort für Calciumoxalat-Kristalle darstellt, ist bekannt (7, p. 448). Nun findet man allerdings hier in den meisten Fällen, wo Kristalle im Perikambium auftreten, auch gut entwickelte Bastfasergruppen in ihrer Nähe. Indessen kommt es auch sehr oft vor, daß Kristalle schon vor der Ausbildung der Bastfasern im Perikambium vorhanden sind. Die in der Rinde befindlichen Kristalle können wegen ihrer größeren Entfernung von den Bastfasergruppen und des Fehlens einer Beziehung zur Gliederung des Zentralzylinders hier kaum in Betracht kommen.

Da die Papilionaceen kalkliebende Pflanzen sind, so ist das Auftreten der Kristalle zunächst nicht auffällig, zumal das Calciumoxalat eine sehr weite Verbreitung im Pflanzenreich besitzt und in den meisten Pflanzenteilen gefunden worden ist. Merkwürdig erscheint dann nur das Fehlen der Kristalle in einigen, das Vorhandensein derselben in anderen Papilionaceenwurzeln. Daß dieser Unterschied aber durch Verschiedenheit der äußeren Lebensbedingungen, speziell durch den verschiedenen Kalkgehalt des Bodens verursacht sein sollte, ist ganz unwahrscheinlich. So sind z. B. *Anthyllis vulneraria* und *Trifolium* als besonders kalkliebend bekannt (24, p. 75) und besitzen keine derartigen Kristalle in den Wurzeln. Ebensowenig besteht eine bestimmte Beziehung zwischen dem Vorkommen von Kristallen in der Wurzel und dem oberirdischen Teil der Pflanze, was aus den Beobachtungen Borodin's (3) hervorgeht, der in den Blättern mancher Papilionaceen Calciumoxalat-Kristalle fand, in deren Wurzeln keine vorkommen, und umgekehrt. Ferner zeigen die Untersuchungen Caldarera's (4), daß eine solche Beziehung ebenfalls fehlt zwischen den in den Samen und den Wurzeln der Papilionaceen vorhandenen Kristallen. So fand er die Kristalle in den Samen aller *Lupinus*- und *Genista*-Arten, in deren Wurzeln keine vorhanden sind; dagegen fehlten sie in den Samen der Vicieen, in deren Wurzeln sie meist reichlich vorkommen. In anderen Fällen, in denen Kristalle in der Wurzel vorhanden sind, fanden sie sich wiederum auch in den Samen. Übrigens wechselte die Beschaffenheit dieser in den Samen vorgefundenen Calciumoxalat-Kristalle, oft sogar innerhalb einer Gattung. Es

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

kamen Rosanoff'sche und einfache tafelförmige Kristalle, Sphärite und in einzelnen Fällen auch Drusen vor. Um so auffälliger ist demnach das Auftreten der einen Kristallform in den Wurzeln. Eine Analogie zwischen dem Vorkommen von Calciumoxalat-Kristallen in der Wurzel und in den übrigen Teilen der Pflanze läßt sich also nicht aufstellen.

Wie wir gesehen haben, ist das Vorhandensein dieser Kristalle vom Kalkgehalt des Bodens, innerhalb gewisser Grenzen wenigstens, unabhängig. Trotzdem erschien es nicht uninteressant, ohne auf den physiologischen Wert des Calciumoxalats näher eingehen zu wollen, experimentell zu untersuchen, inwieweit die Kristallbildung durch Wasserkulturen mit verschiedenem Kalkgehalt beeinflußt werden kann. Zu diesem Zwecke wurden drei Parallelkulturen von *Pisum sativum* angesetzt, einer Pflanze, in deren Wurzel die Kristalle reichlich vorhanden sind. Die Keimlinge wurden teilweise in gewöhnlichem Leitungswasser, zum Teil in mit Calciumsulfat versetztem Leitungswasser, zum Teil schließlich in chemisch reinem Wasser kultiviert. Die beiden ersten mehrfach wiederholten Versuche zeigten, in den ersten drei Wochen des Wachstums wenigstens, gar keinen Unterschied in der Menge und Größe der Kristalle. Ein Überschuß von Calcium hatte demnach keinen Einfluß auf die Kristallbildung. Die dritte Versuchsreihe erforderte natürlich besondere Sorgfalt, da es sich hier darum handelte, jede Spur von Calcium von der Wurzel fernzuhalten. Als Kulturflüssigkeit wurde doppelt, das zweite Mal mit besonderen Vorsichtsmaßregeln destilliertes Wasser benutzt. Um sicher zu sein, daß weder aus den Wandungen der zum Versuche benutzten zirka zwei Liter fassenden Glasgefäße, noch aus den zur Befestigung der Keimlinge dienenden durchlöcherten Zinkdeckeln Calcium enthaltende Partikelchen in das Wasser resp. an die Keimwurzel gelangten, wurden alle Teile, mit denen das Wasser und die Keimlinge in Berührung kamen, mit Paraffin überzogen. Die Samen wurden in dem gleichen sorgfältig destillierten Wasser angekeimt und außerdem von ihrer Samenschale befreit. Wie übrigens in den ersten beiden Versuchen, so wurden auch hier die Wurzeln stets gegen Licht geschützt. Es zeigte sich nun in den letzteren fünf- bis sechsmal wiederholten und jedesmal mit fünfzehn bis zwanzig Keimlingen angestellten Versuchen, daß nach sechstägiger Kultur die Wurzeln weniger Kristalle enthielten als gleichaltrige im Leitungswasser, wenn auch der Unterschied zuweilen nur gering war. Wie dort, so entstanden auch hier die Kristalle zuerst an der Basis der Wurzel und breiteten sich von hier aus nach unten hin aus. Bei den im destillierten Wasser gewachsenen Wurzeln entfernten sie sich jedoch nie so weit von der Basis, wie bei denjenigen im Leitungswasser und waren oft auch etwas kleiner und spärlicher als hier. Nach dreizehntägigem Wachstum hatten sich die erwähnten Unterschiede noch mehr gesteigert. Während die Kristalle meist nur in der oberen Hälfte der im destillierten Wasser kultivierten Wurzeln zu finden waren, konnte man sie bei den im Leitungswasser gewachsenen bis in die Nähe der Wurzelspitze verfolgen. Übrigens

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

war das Wachstum der Wurzeln im destillierten Wasser und im Leitungswasser in den ersten acht Tagen gleich, erst späterhin trat eine immer mehr zunehmende Differenz zu Gunsten der letzteren ein. Wichtig ist nun, daß ein Unterschied in der Kristallbildung bereits vorhanden war, als die Wachstumsdifferenz anfing, sich bemerkbar zu machen, sodaß es feststeht, daß er — teilweise wenigstens — unabhängig ist von der Wachstumsintensität der Wurzel. Ferner zeigte sich, daß die Keimlinge auch ohne äußere Kalkzufuhr imstande waren, Calciumoxalat in ihren Wurzeln zu bilden. Das dazu erforderliche Calcium muß also notwendigerweise aus den in den Kotyledonen gespeicherten Reservestoffen stammen. Hier mag noch erwähnt werden, daß Belzung (2) das Vorkommen von „flüssigem Calciumoxalat" in den Samen von *Lupinus albus* nachgewiesen hat und es als einen Reservestoff ansieht, der bei der Keimung verbraucht wird, da er es in den Keimwurzeln nicht mehr finden konnte. Besonders hervorzuheben ist, daß die kristallarmen Wurzeln von Kulturen im destillierten Wasser an älteren Stellen noch reichlich Kristalle bildeten, wenn man sie in Leitungswasser überführte. Nach fünf- bis sechstägigem Verweilen in diesem zeigten die dann zwölf bis vierzehn Tage alten Wurzeln den gleichen Kristallreichtum wie solche, die von Anfang an hier gewachsen waren.

Obwohl es nicht zum eigentlichen Thema gehört, möge hier doch ganz kurz auf die in vielen Fällen mituntersuchten **Seitenwurzeln erster Ordnung** eingegangen werden.

Das inbezug auf Ort und Zeit der Untersuchung für die Keimwurzel Gesagte gilt auch hier; es wurden jedoch, wenn nichts anderes erwähnt wird, nur die unterhalb der Übergangszone zwischen Hypokotyl und Wurzel entspringenden Seitenwurzeln berücksichtigt.

Der Querschnitt des Zentralzylinders ist bei den Seitenwurzeln immer kleiner als bei der zugehörigen Keimwurzel. Dieser Größenunterschied wechselt jedoch, und zwar in der Weise, daß meistens großen Keimwurzel-Zentralzylindern relativ kleine Seitenwurzel-Zentralzylinder entsprechen und umgekehrt.

Die Mutterwurzeln tragen bekanntlich über jeder Gefäßgruppe eine Reihe von Seitenwurzeln. Eine Ausnahme bilden nur, wie van Tieghem (23) zuerst nachgewiesen hat, und wie auch hier bestätigt werden konnte, die diarchen Wurzeln, wo äußerlich meist auch über jeder Gefäßgruppe eine Reihe von Seitenwurzeln vorhanden zu sein scheint, wo es sich tatsächlich aber um vier Reihen handelt, von denen nur je zwei einander sehr genähert sind.

Im allgemeinen sind die Seitenwurzeln einer Keimwurzel in den untersuchten jungen Stadien als anatomisch gleichwertig zu betrachten und stellen im großen und ganzen ein verkleinertes Abbild derselben dar. Doch kommen in beiden Beziehungen bemerkenswerte Ausnahmen vor, bei *Phaseolus, Vigna* und *Dolichos* finden sich nämlich stets zweierlei Seitenwurzeln, am basalen Ende der Keimwurzel lange, kräftige, meist ziemlich horizontal ausge-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

breitete, unter dieser Zone dagegen nur kurze, zarte[1]). Doch auch die Ähnlichkeit in der anatomischen Struktur zwischen Keimwurzel und Seitenwurzeln ist nicht immer vorhanden. Diarche Keimwurzeln führen zwar stets auch diarche Seitenwurzeln (vergl. die untenstehende Anmerkung). Die entsprechende Übereinstimmung besteht meistens auch bei tetrarchen Keimwurzeln, jedoch kommen hier scheinbar immer Ausnahmen vor. Bei den triarchen Keimwurzeln dagegen sind die Verhältnisse so sehr variabel, daß man nur in seltenen Fällen einigermaßen regelmäßig auch triarche Seitenwurzeln findet; in den meisten Fällen sind diese abwechselnd tri- und tetrarch, seltener scheinbar ausschließlich tetrarch, zuweilen kommen auch einzelne diarche Seitenwurzeln vor.

Bastfasern sind gewöhnlich in relativ geringerer Zahl in den Seitenwurzeln als in den zugehörigen Keimwurzeln vorhanden. In sehr vielen Fällen führen erstere gar keine Fasern zur Zeit des Beginnes der Kambiumtätigkeit, auch wenn sie in der Keimwurzel zu dieser Zeit vorhanden sind. Später jedoch treten sie auch in den Seitenwurzeln, wenigstens in den daraufhin untersuchten Fällen, auf.

Die für die Keimwurzeln der Lupinen charakteristischen stark glänzenden Bastfasern finden sich auch in den zugehörigen Seitenwurzeln, und zwar treten sie hier meistens früher auf und sind zugleich weitlumiger, was bei der Kleinheit der Seitenwurzeln besonders auffällt.

Die Zentralgefäße, die ausnahmslos in den Seitenwurzeln angetroffen werden, entstehen hier im allgemeinen früher als in der Keimwurzel. Sehr oft sind sie beim Eintritt des sekundären Wachstums voll ausgebildet, was, wie wir gesehen haben, in der Keimwurzel nie der Fall ist.

Die Schichtenzahl des Perikambiums vor den Gefäßgruppen ist, der geringeren Größe der Seitenwurzeln entsprechend, hier meistens kleiner als in der zugehörigen Keimwurzel. Ferner sind die dort meist bestehenden Unterschiede in der Größe und Gestalt der Perikambiumzellen in den Seitenwurzeln nur selten wahrnehmbar.

Bezüglich des Auftretens der Calciumoxalat-Kristalle besteht dagegen die größte Übereinstimmung zwischen Keimwurzel und Seitenwurzel. Nur wenn sie in jener vorhanden sind, trifft man sie auch in dieser, und zwar dann an der entsprechenden Stelle. Auch handelt es sich in beiden Fällen um dieselbe Kristallform.

Diese Übereinstimmung ist inbezug auf die Gerbstoffschläuche nicht vorhanden.

Zu erwähnen ist schließlich noch eine oft bei tetrarchen Seitenwurzeln vorkommende Neigung zur bilateralen Symmetrie,

---

[1]) Am basalen Ende der Keimwurzel von *Lupinus albus* innerhalb der bereits erwähnten „Übergangszone" fanden sich zuweilen zwischen den normalen zwei Doppelreihen noch einzelne andere Seitenwurzeln, die in größerer Zahl dadurch hervorgerufen werden konnten, daß man die untere Hälfte der noch jungen Keimwurzel abschnitt und letztere dann weiter wachsen ließ. Diese Seitenwurzeln waren ziemlich zart und im Gegensatz zu den übrigen, die alle diarch waren, ganz unregelmäßig gebaut, meist tri- und tetrarch.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wie sie fast regelmäßig bei den großen Seitenwurzeln der *Phaseolinae (Phaseolus, Dolichos, Vigna)* zu beobachten ist. Der Zentralzylinder ist in solchen Fällen mehr oder weniger oval, und zwar verläuft die längere Achse desselben bei der Einmündung in die Keimwurzel in der Richtung der letzteren, sodaß es sich um eine vertikale Abplattung handelt. In derartigen Seitenwurzeln sind denn auch zwei gegenüberliegende Gefäßgruppen länger und kräftiger entwickelt als die beiden anderen, ja, es kann sogar vorkommen, daß diese fast vollständig schwinden, wie es bei den kleinen Seitenwurzeln der erwähnten *Phaseolinae* oft zu beobachten ist.

Wir wenden uns nun der Frage zu, inwieweit die gefundenen anatomischen Unterschiede der Keimwurzeln auch von **systematischer** Bedeutung sind. Bei der kleinen Zahl der untersuchten Pflanzen kann nun allerdings auf ein abschließendes Resultat nicht Anspruch gemacht werden. Soviel läßt sich jedoch schon ersehen, daß, wenn auch die Wurzeln der einzelnen Arten und Gattungen, ja, sogar einzelner Tribus, charakteristisch gebaute Zentralzylinder besitzen, doch so viele Unregelmäßigkeiten und Ausnahmen vorkommen, daß von einem Parallelismus zwischen dem anatomischen Bau des Zentralzylinders der Keimwurzel und der systematischen Einteilung nicht die Rede sein kann; wie es übrigens von vornherein auch kaum anders zu erwarten war.

Zur Unterscheidung aber verschiedener Pflanzen kann der Bau des Zentralzylinders ihrer Keimwurzeln in vielen Fällen sehr wohl verwendet werden. Am leichtesten und in den meisten hier untersuchten Fällen durchführbar ist natürlich eine Unterscheidung zweier Arten, wegen der großen Zahl von Merkmalen, die hierzu benutzt werden können. Doch soll hierauf an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden; man vergleiche die Artbeschreibungen im speziellen Teil.

Für die Unterscheidung verschiedener Gattungen oder gar einzelner Tribus kommen nur wenige Merkmale in Frage, und zwar vor allem die verschiedene Strahlenzahl, aber auch das Vorkommen von Kristallen und das Vorhandensein von Bastfasern beim Beginn der Kambiumtätigkeit.

Festzustehen scheint, daß in mehreren Fällen die Zahl der Strahlen bei den einzelnen Arten einer Gattung konstant ist, was für die Diarchie stets zu gelten scheint *(Lupinus, Genista, Ononis, Spartium, Cytisus)*; die Tetrarchie ist scheinbar nur in wenigen Fällen für eine ganze Gattung durchgängig *(Cicer, Phaseolus, Dolichos, Vigna)*, die Triarchie wahrscheinlich noch seltener *(Melilotus, Scorpiurus, Ornithopus)*. Sehr oft wechselt aber auch die Strahlenzahl von Art zu Art, wobei es sich meistens um die Triarchie und die Tetrarchie handelt *(Medicago, Trigonella, Anthyllis, Lotus)*. Wenn auch, wie es bei *Lathyrus* und *Vicia* der Fall ist, oft eine bestimmte Strahlenzahl überwiegen mag, so kann diese natürlich doch nicht als Gattungsmerkmal benutzt werden.

Andererseits scheint wiederum eine bestimmte Zahl von Strahlen für eine ganze Tribus charakteristisch zu sein, und zwar die Diarchie für die Genisteen und die Tetrarchie für die Phaseoleen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Im Anschluß hieran möge auf eine interessante Tatsache hingewiesen werden: Bekanntlich (15) ist die zu den Trifolieen gehörige Gattung *Ononis* durch ihre verwachsenen Staubgefäße in die nächste Verwandtschaft der Genisteen zu bringen. Nun weisen die Keimwurzeln der *Ononis*-Arten alle im Gegensatz zu den übrigen Trifolieen einen diarchen Bau auf und lassen also offenbar die Verwandtschaft mit den stets diarchen Genisteen auch dadurch zum Ausdruck kommen.

Ferner hat das Auftreten der früher beschriebenen Calciumoxalat-Kristalle einen gewissen systematischen Wert. Sie fehlten immer in den diarchen Wurzeln und somit also bei den Genisteen; aber auch bei den Podalyrieen, Trifolieen und Galegeen (mit Ausnahme von *Psoralea)* kamen sie nicht vor.

Kristalle im Perikambium fanden sich bei den Vicieen, Loteen und Hedysareen, jedoch nicht in allen Gattungen, unter den Hedysareen sogar nur bei einer einzigen. Aber auch die einzelnen Arten einer Gattung verhalten sich oft verschieden.

Das Vorkommen von Kristallen in der an die Endodermis angrenzenden einzelligen Rindenschicht ist eine ausgesprochene Eigenschaft der *Phaseolinae (Phaseolus, Dolichos, Vigna),* doch fanden sie sich auffälligerweise unter den Hedysareen bei allen *Scorpiurus*-Arten und unter den Galegeen bei *Psoralea bituminosa,* sonst nirgends. Ein verschiedenes Verhalten einzelner Arten innerhalb einer Gattung zeigte sich nur bei *Dolichos,* wo zwei Arten keine Kristalle enthielten.

Daß übrigens diese eigenartige Verteilung der Kristalle konstant zu sein scheint, geht daraus hervor, daß Monate alte Wurzeln keine Kristalle enthielten, wenn diese in jungen Stadien nicht vorhanden gewesen waren, und umgekehrt.

Schließlich kann auch noch das Vorhandensein von Bastfasern und eventuell auch die Menge derselben beim Beginn des sekundären Dickenwachstums in einigen Fällen ein Unterscheidungsmerkmal zwischen einzelnen Gattungen abgeben. Die Bastfasern kommen in allen Tribus vor, am häufigsten und reichlichsten in den ziemlich großen Wurzeln der Vicieen und Phaseoleen, als festes Gattungsmerkmal scheinen sie jedoch nur höchst selten angesehen werden zu können *(Spartium, Pisum, Phaseolus)*.

Zu erwähnen ist noch, daß die seidig glänzenden Bastfasern der Lupinen, wenn sie auch nicht bei jeder Art auftreten, doch insofern für diese Gattung charakteristisch sind, als sie bei keiner anderen vorkommen.

Es erhebt sich nun die Frage, ob gewisse Merkmale im Zentralzylinder der Keimwurzeln **biologisch** zu deuten sind. Da, wie wir gesehen haben, ein merklicher direkter Einfluß des Mediums auf die für die Untersuchung benutzten Keimwurzeln nicht vorhanden ist, so kann es sich offenbar nur um solche biologische Merkmale handeln, die erblich sind. Derartige Anpassungsmerkmale, die mehr oder weniger auch systematischen Wert besitzen, kommen bekanntlich in mehreren Pflanzenfamilien vor, wie z. B. die Succulenz als Merkmal der Xerophilie bei den Crassulaceen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

und Cacteen, die Anpassung an den Aufenthalt im Wasser bei den Najadaceen und Nymphaeaceen.

Derjenige biologische Faktor nun, der nicht nur auf die morphologische, sondern auch auf die anatomische Struktur der Pflanze einen besonders weitgehenden Einfluß hat, ist das Wasser bez. der Wasserverbrauch; unterscheidet man doch in dieser Beziehung xerophile und hygrophile Pflanzen oder Xerophyten und Hygrophyten. Erstere sind im allgemeinen solche Pflanzen, die an trockenen Standorten vorkommen und deshalb mit Vorrichtungen zur Herabsetzung der Transpiration versehen sind; hygrophil nennt man umgekehrt diejenigen, die an besonders feuchten Stellen wachsen, wo auch die Luftfeuchtigkeit meist groß ist, und die eine transpirationsfördernde Organisation besitzen.

Von den Merkmalen nun, die diesen beiden Pflanzengruppen eigen sind und mit den erwähnten verschiedenen Lebensbedingungen in Zusammenhang stehen, kommen inbezug auf die innere Struktur vor allem in Betracht als Zeichen der Xerophilie eine Zunahme der Gefäße und der Bastfasern, nach Warming (24, p. 208) zugleich auch eine Verkleinerung der Gefäße, als Merkmal einer hygrophilen Pflanze umgekehrt ein Zurücktreten dieser Elemente gegenüber den parenchymatischen Geweben.

Es fragt sich nun, ob derartige Unterschiede, wenn auch vielleicht nur andeutungsweise, sich schon im primären Stadium der Wurzel bemerkbar machen.

Unter den hier untersuchten Pflanzen sind nun zwar mehrere typische Xerophyten, dagegen keine direkten Wasserpflanzen, wohl aber solche, die zum Teil auf feuchtem Waldboden, zum Teil auch an offenen Standorten von bedeutender Feuchtigkeit vorkommen und durchaus als hygrophil zu bezeichnen sind.

Diese Beispiele genügen jedoch vollkommen, um das tatsächliche Vorhandensein der erwähnten Eigentümlichkeiten auch in der Keimwurzel festzustellen. Im folgenden mögen nun die Wurzeln einiger Xerophyten einerseits und Hygrophyten andererseits verglichen werden, wobei von Wichtigkeit ist, daß jede Gegenüberstellung wegen gleicher Größe, in den beiden ersten Fällen auch noch wegen der gleichen Strahlenzahl der verglichenen Zentralzylinder besonders gerechtfertigt erschien:

1) Die Wurzeln von *Spartium junceum* und *Spartium scoparium* enthielten beide etwa vierzig Gefäße mit einem durchschnittlichen Lumen von je 90 μ^2 und gut entwickelte Bastfasergruppen. Erstere machten den siebenten, letztere etwa den zwölften, die verholzten Elemente zusammen den vierten bis fünften Teil des Zentralzylinders aus. — Dem gegenüber fanden sich in der Wurzel der hygrophilen *Baptisia australis* nur zirka fünfzehn Gefäße, jedoch von einer durchschnittlichen Weite von 135 μ^2, die nur den vierzehnten bis fünfzehnten Teil des Zentralzylinders einnahmen. Bastfasern waren hier überhaupt nicht vorhanden, sodaß die ganze verholzte Partie des Zentralzylinders einen mehr als dreimal so kleinen Teil desselben bildete als bei den *Spartium*-Arten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

2) Ferner enthielt die Wurzel von *Lupinus angustifolius* zirka vierzig Gefäße, die im Durchschnitt ein Lumen von 260 μ^2 besaßen und zusammen etwa den achten Teil des Zentralzylinders ausmachten. — Dagegen zählte *Lupinus polyphyllus* nur sechzehn Gefäße, die jedoch im Mittel eine Weite von 340 μ^2 besaßen, zusammen aber nur den zehnten bis elften Teil des Zentralzylinders repräsentierten. Bastfasern kamen bei letzterer Pflanze gar nicht, bei ersterer nur in sehr geringer Zahl vor, sodaß sie hier kaum berücksichtigt werden können. Dieses starke Zurücktreten der Bastfasern ist ja, wie wir früher gesehen haben, für alle Lupinen charakteristisch.

3) Es besaß weiter die diarche Wurzel der xerophilen *Cytisus nigricans* fünfundzwanzig Gefäße von durchschnittlich je 105 μ^2 Weite und reichliche Bastfasern. Der Gefäßteil nahm den achten, die Bastfasern den zwölften, beide zusammen den fünften Teil des Zentralzylinders ein. — Vergleichen wir hiermit eine triarche Wurzel eines Hygrophyten, und zwar die von *Lathyrus vernus:* Hier war nur der sechzehnte Teil des Zentralzylinders von Gefäßen erfüllt, deren Zahl nur fünfzehn betrug. Die Weite derselben war etwa dieselbe wie bei *Cytisus nigricans*.

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei einer Reihe von anderen Pflanzen.

Was also die Menge der Gefäße und Bastfasern anbetrifft, so sieht man, daß eine Übereinstimmung mit den schon bekannten Tatsachen vorhanden ist. Die beobachtete größere Englumigkeit der Gefäße bei den Xerophyten steht zwar im Einklang mit der erwähnten Angabe Warming's, im Gegensatz jedoch zu den Befunden Freidenfelt's. Dieser Verfasser konnte nach seinen zahlreichen, allerdings nie an jüngeren Keimwurzeln, sondern an Wurzeln älterer Pflanzen vorgenommenen Untersuchungen eine mit zunehmender Xerophilie zunehmende Weite der Gefäße feststellen (7, p. 105). Worauf dieser Unterschied beruht, muß weiteren Untersuchungen überlassen bleiben, zumal eine ausreichende Erklärung für die verschiedene Weite der Gefäße wie für die Verholzung im allgemeinen noch nicht vorliegt.

In diese beiden extremen biologischen Gruppen gehörte jedoch nur ein kleiner Teil der untersuchten Pflanzen hinein. Es kamen sehr viele Wurzeln vor, die nicht von Xerophyten stammten und doch mit xerophilen Wurzeln große Ähnlichkeit besaßen, was aber nicht ohne weiteres als Widerspruch zu den bisherigen Angaben angesehen werden darf, da hier eben ganz besondere Wachstumsbedingungen herrschen. Es handelt sich vor allen Dingen um Pflanzen, die im Boden eine genügende Wassermenge zur Verfügung haben, deren Laub aber der freien Luftbewegung und der Sonnenbestrahlung ausgesetzt ist. Es sind hauptsächlich Wiesenpflanzen oder auch Kletterpflanzen, die in freiliegenden Gebüschen vorkommen und durch ihre Klettertätigkeit ihr Laub der Belichtung und Sonnenbestrahlung auszusetzen wissen, wie z. B. die meisten *Lathyrus*- und *Vicia*-Arten. Hesselmann (9, p. 485) hat nun nachgewiesen, daß allgemein die Pflanzen an sonnenoffenen Stand-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

orten außerordentlich viel stärker transpirieren als die Schattenpflanzen, daß also alle transpirationsfördernden Merkmale der letzteren doch nicht imstande sind, die Verdunstung so intensiv zu gestalten, wie es das offene Sonnenlicht trotz der entgegenwirkenden Eigenschaften der Sonnenpflanzen vermag. — Von dem Gesichtspunkte aus, daß eine große Zahl von Gefäßen eine Erleichterung der Wasserzufuhr bedeutet (18, p. 7), kann es daher nicht Wunder nehmen, daß die oben erwähnten Pflanzen gegenüber den Schattenpflanzen sich ähnlich verhalten wie die Xerophyten.

Was nun das Vorkommen von Bastfasern betrifft, so konnte ganz allgemein ein Parallelismus zwischen diesen und den Gefäßen festgestellt werden, indem einer großen Zahl von Gefäßen auch viele Bastfasern entsprachen und umgekehrt. Wie bereits angedeutet wurde, ist die eigentliche Bedeutung derselben, selbst bei den Xerophyten, nicht sicher bekannt. Zu erwähnen wäre vielleicht, daß, unter anderem auch von Freidenfelt (7, p. 107—8), die Ansicht vertreten wird, daß die sklerenchymatischen Gewebe, speziell in der Wurzel, auch als Wasserreservoir in Betracht kommen, was mit der Reichhaltigkeit der Bastfasern in den Wurzeln der Xerophyten in Einklang stehen würde.

Daß nun zwischen den geschilderten drei Pflanzengruppen inbezug auf die anatomische Struktur der Wurzel die verschiedensten Übergänge vorkommen, ist selbstverständlich. Aber auch an Unregelmäßigkeiten und selbst Ausnahmen fehlt es nicht, was ebenfalls durchaus nicht auffallen darf, da jedenfalls noch viele andere Momente den anatomischen Bau der Wurzel mitbedingen, wie z. B. die verschiedene Massen- und Längenentwicklung sowohl des oberirdischen wie des unterirdischen Teils der Pflanze (7, p. 105), und spezifische Eigentümlichkeiten der einzelnen Gattungen und Arten. So war es besonders auffällig, daß *Carmichaelia australis* und *Lathyrus maritimus* hygrophil gebaute Wurzeln besaßen, obwohl doch beide Pflanzen zu den Xerophyten zu rechnen sind.

Ferner zeigten die besonders kleinen Wurzeln wie in anderen Beziehungen so auch hier die größte Gleichförmigkeit; sie scheinen auf biologische Einflüsse kaum zu reagieren.

Auf Vollständigkeit kann natürlich die hier gegebene biologische Einteilung und Charakteristik der Keimwurzeln wegen der Unzulänglichkeit des Untersuchungsmaterials keinen Anspruch machen.

II. Spezieller Teil.

Es folgt hier eine kurze Beschreibung der Zentralzylinder der untersuchten Papilionaceenwurzeln in systematischer Reihenfolge. Dabei handelt es sich stets nur um Querschnitte und, wenn nichts anderes gesagt ist, auch nur um die Keimwurzel selbst. Die angeführten größeren und kleineren Pflanzengruppen gemeinsamen Merkmale gelten immer für jede einzelne der zugehörigen Arten. Auf mehrere im allgemeinen Teil erwähnte Einzelheiten kann hier nicht eingegangen werden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die auf Seite 27 beschriebene durchschnittliche Gestalt der Gefäßgruppen dient hier als Vergleichsbasis; sie werden nur dann erwähnt werden, wenn sie merklich anders gestaltet sind. Werden sie als „spitz“ oder „zugespitzt“ angegeben, so soll damit gesagt sein, daß die Zuspitzung besonders groß ist; vorhanden ist sie, von wenigen besonders erwähnten Ausnahmen abgesehen, immer. Ist von einer „länglichen“ Form der Bastfasergruppen die Rede, so ist die tangentiale Streckung derselben in solchen Fällen besonders groß. Der Durchmesser des Zentralzylinders, bei diarchen Wurzeln der Längs- und Querdurchmesser, ist jedesmal in μ angegeben; im letzteren Falle ist noch das Verhältnis der Breite zur Länge, jene gleich 1 gesetzt, hinzugefügt. Wie früher hervorgehoben wurde, handelt es sich hier natürlich nur um gut brauchbare Mittelwerte, was auch von der jedesmal angegebenen Zahl der Gefäße gilt. Unter „Kristallen“ sind stets die früher beschriebenen Calcium-oxalat-Kristalle zu verstehen, die zwei Orte ihres Vorkommens sind kurz als „im Perikambium“ und „in der Rinde“ bezeichnet. Wo sie nicht erwähnt werden, fehlen sie, was auch von den Bastfasern gilt. Von der Ungleichförmigkeit der Perikambiumzellen wird nur die Rede sein, wenn sie besonders deutlich ist. Ebenso werden die Zentralgefäße nur erwähnt, wenn sie sich auffallend früh oder spät bilden. Kristalle sind in den Seitenwurzeln immer vorhanden, wenn sie sich in der zugehörigen Keimwurzel finden, und zwar an den entsprechenden Stellen, sonst nie. Sie werden deshalb bei der Beschreibung der Seitenwurzeln nicht erwähnt.

Alle Pflanzenarten sind auf ihre Richtigkeit hin untersucht worden, entweder mit Hilfe einer Flora oder durch Vergleich mit Herbarmaterial. Nur bei den mit einem Stern (*) bezeichneten Arten war eine solche Kontrolle nicht möglich.

Im folgenden bedeutet: Kw Keimwurzel, Sw Seitenwurzeln (1. Ordn.), eine römische Ziffer die Strahlenzahl der betreffenden Wurzel, Zz Zentralzylinder, Ggr Gefäßgruppen, Gz Zahl der Gefäße in einer Gefäßgruppe, Bfgr Bastfasergruppen, Bf Bastfasern, P Perikambium, Pz Perikambiumzellen, eine hinter „P“ stehende arabische Ziffer die Zahl der Perikambium-Zellschichten vor den Gefäßgruppen, Zg Zentralgefäße.

A. **Podalyrieae.** Soweit untersucht II. Ohne Kristalle und Bf.

Thermopsis: Pz vor den Ggr bedeutend größer und gestreckt.
1) *Th. fabacea* DC.: 100 μ : 120 μ = 1 : 1,2. Gz. 6—7. P 1—2.
2) *Th. montana* Nutt.: Etwas kleiner als 1. Ggr einreihig. Gz 3—4. P 1.

3) *Baptisia australis* R. Br.: 190 μ : 310 μ = 1 : 1,6. Ggr schmal. Gz 8. P 2. Pz überall sehr gestreckt.

B. **Genisteae:** II. Keine Kristalle.

4) **Crotalaria incana* L.: 140 μ : 180 μ = 1 : 1,3. Gz. 7—8. Einzelne Bf. P 1.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Lupinus: Wenn Bf vorhanden, diese immer glänzend, abgerundet, wenig verdickt. Zellen des äußeren P-Ringes überall gleich. — Sw II. Wenn Bf, dieselben wie in d. Kw, aber meist größer.

5) *L. angustifolius* L.: 320 μ : 540 μ = 1 : 1,7. Ggr breit. Gz 20. Wenige Bf. P 3. — 6) *L. luteus* L.: 260 μ : 520 μ = 1 : 2. Ggr sehr breit, sonst wie 5. 7) *L. albus* L.: 335 μ : 640 μ = 1 : 1,9. Ggr lang, schmal. Gz 30. Sehr selten einzelne Bf. P 3. Zg spät. 8) **L. Cruckshanksii* Hook: 280 μ : 460 μ = 1 : 1,65. Übergangszone sehr weit in die Wurzel hinabreichend. Ggr schmal. Gz 25. Einzelne Bf. P meist 2, seltener 3. — 9) *L. polyphyllus* Lindl.: 280 μ : 540 μ = 1 : 1,93. Ggr schmal, einreihig. Gz 8. Erst nach dem Beginn des sek. Wachstumes einzelne Bf. P 2, selten 3. — Die Zz der übrigen untersuchten *Lupinus*-Arten: 10) **L. elegaus* H. B., 11) *L. hirsutissimus* Benth., 12) **L. pulchellus* Sweet., 13) **L. subcarnosus* Hook., 14) **L. nanus* Dougl., 15) *L. arboreus* Sims., 16) **L. Barkeri* Lindl., 17) **L. Blaschkeanus* Fisch. & May., 18) **L. Cosentini* Guss., 19) **L. Douglasii* Agarth., 20) **L. Hartwegii* Lindl., 21) **L. parviflorus* Nutt., 22) **L. perennis* L., 23) **L. pubescens* Benth., 24) **L. venustus* Hort. sind kleiner als 5—9. Größe wenig wechselnd, meist ca. 210 μ : 300 μ = 1 : 1,43. Ggr bei 15—24 schmäler und länger als bei 10—14, fast immer ziemlich spitz. Gz 10—12. Bf ziemlich reichlich bei 12, sehr spärlich bei 11, 13, 17, 20 und 24. P immer 2.

Sw untersucht von 5, 7, 9. 21 und 23. Etwa 120 μ : 140 μ = 1 : 1,17. Ggr breitlich. Gz 6—7. Meistens einige Bf. P 1—2.

Spartium: Ggr. breit. Gz 18—20. Zg früh. Bfgr groß. P 2. — 25) *Sp. junceum* L.: 210 μ : 220 μ = 1 : 1,05. — 26) *Sp. scoparium* L.: Zz etwas gestreckter, Ggr wenig schmäler, Bfgr kleiner als bei 25.

Genista: 150 μ : 180 μ = 1 : 1,2. Ggr schmal. Gz 8. Keine Bf. P 1. — 27) *G. sibirica* L. und 28) *G. tinctoria* L.

29) *Adenocarpus foliolosus* D. C.: 145 μ : 180 μ = 1 : 1,24. Ggr breit. Gz 11. Wenige Bf. P 1.

30) *Ulex europaeus* L.: 190 μ : 200 μ = 1 : 1,05. Gz 9—10. Bfgr klein. P 1.

31) *Cytisus capitatus* Scop.: 160 μ : 180 μ = 1 : 1,13. Ggr zieml. breit. Gz 10. Wenige Bf. P 1—2. — 32) *C. nigricans* L.: 170 μ : 210 μ = 1 : 1,24. Ggr breit. Gz 12. Bf mehr als bei 31. P. 1.

C. **Trifolieae.** Keine Kristalle.

Ononis: II. Zz wenig gestreckt. Bf. Sw. II. — 33) *O. alopecuroides* L.: 150 μ : 190 μ = 1 : 1,27. Ggr breit. Gz 10—11. Bfgr klein. P. 1—2. — Sw 90 μ : 112 μ = 1 : 1,24. Ggr breit. Gz. 6—8. Bf. reichlich. P 1. — 34) **O. Columnae* All.: Gz 10—12. P. 1. Sonst wie 33. — 35) *O. geminiflora* Lag.: 195 μ : 240 μ = 1 : 1,23. Gz 9—10. Zg früh, sonst wie 33. — 36) *O. hircina* Jacq.: P 2, selten 3. Sonst wie 35,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Trigonella: Je nach der Art III oder IV. Ggr stark zugespitzt. — 37) *T. brachycarpa* Moris: III. 190 μ. Ggr breit. Gz 8—9. Keine Bf. P 2—3. Ausbuchtung des Zz vor dem Phloem. — 38) *T. coerulea* L.: P. 2. Sonst wie 37. — 39) *T. Foenum graecum* L.: IV, selten III. 240 μ. Ggr breit. Gz 12—14. Keine Bf. P 2, selten 3. — 40) *T. cretica* L.: III. 220 μ. Ggr schmäler als bei 39. Gz 7. Bfgr klein. P 3, selten 2.

Medicago: Je nach Art III oder IV. Keine Bf. P 1, selten 2. Gz ca. 5. Ggr schmal, meist einreihig. — 41) *M. Helix* Willd. und 42) *M. maculata* Willd. IV. 150 μ. — 43) *M. sativa* L. und 44) *M. scutellata* Mill.: III. 160 μ.

Melilotus: III. 110 μ. Einzelne Bf. Gz 6—7. P 1. — 45) *M. alba* Desr. — 46) *M. indica* All. — 47) *M. officinalis* Desr.

Trifolium: IV. Schmale, meist einreihige Ggr. — 48) *T. ochroleucum* L.: 140 μ. Gz 5—6. Keine Bf. P. 1. — 49) *T. pannonicum* L.: Gz 3—4. Sonst wie 48. — 50) *T. pratense* L.: 100 μ. Sonst wie 49. — 51) *T. subterraneum* L.: 185 μ. Gz 5—7. Einzelne Bf. P 1—2.

D. **Loteae.**

52) *Anthyllis tetraphylla* L.: IV. 210 μ. Ggr schmal, meist einreihig. Gz 7—8. Einzelne Bf. Kristalle im P. P 1, selten 2. — 53) *A. vulneraria* L.: III. 95 μ. Ggr kurz. Gz 4—5. P 1.

54) *Securigera Coronilla* D. C.: III. 220 μ. Ggr breitlich. Gz 9—10. Kristalle im P. P 2.

55) *Dorycnium suffruticosum* Vill.: III. 115 μ. Gz 7. Kristalle im P. P 2.

Lotus: Je nach Art III in IV. Keine Bf. P. 1. — 56) *L. corniculatus* L. und 57) *L. uliginosus* Schk.: III. 95 μ. Ggr kurz. Gz. 3—4. — 58) *L. ornithopodioides* L.: IV. 115 μ. Ggr schmal. Gz 6—7. Kristalle im P.

59) *Tetragenolobus purpurescens* Mnch.: IV. 360 μ. Ggr zugespitzt. Gz 9. Einzelne Bf. Kristalle im P. P 1. — Sw: IV. 150 μ. Ggr meist schmal. Gz 5—6. Kristalle im P. P 1.

E. **Galegeae.** Mit Ausnahme von *Psoralea* ohne Kristalle.

60) *Psoralea bituminosa* L.: IV. 265 μ. Ggr kurz, zieml. breit. Gz 12—13. Zg früh. Wenige Bf. P 2—3. Kristalle in der Rinde.

61) *Dalea alopecuroides* Willd.: IV. 160 μ. Gz 5—6. P 1.

62) *Galega officinalis* L.: P 1—2, sonst wie 61.

63) *Carmichaelia australis* R. Br.: III. 170 μ. Ggr schmal, sehr klein im Verhältnis zum Zz. Gz 6—7. P 1—2.

64) *Swainsona galegiformis* R. Br.: P 2. Sonst ähnlich wie 63.

65) *Colutea orientalis* Lam.: IV. 230 μ. Gz 8. Einzelne Bf. P 1. Zg zieml. früh. Zz vor dem Phloem ausgebuchtet.

66) **Halimodendron argenteum* D. C.: III. 170 μ. Ggr meist schmal. Gz 7. P 1, selten 2.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

67) *Caragana arborescens* Lam.: IV. 250 μ. Ggr ziemlich breit. Gz. 8. P 2. Pz vor den Ggr bedeutend gestreckt.

Astragalus: III. Ggr schmal. Keine Bf. — 68) *A. alopecuroides* L.: 160 μ. Gz 6. P 2, selten 1. — 69) *A. Cicer* L., — 70) *A. hamosus* L. und 71) *A. galegiformis* L.: 135 μ. Ggr meist einreihig. Gz 4—5. P 1, selten 2.

72) *Biserrula Pelicinus* L.: III. 145 μ. Gz 4—5. P 1—2.

F. **Hedysareae:** Ggr zugespitzt, mit Ausnahme von *Arachis*.

Scorpiurus: III, sehr selten IV. 240 μ. Ggr lang. Gz 7—10. Bfgr zieml. groß. P 1, selten 2. Pz deutlich größer und gestreckt vor den Ggr. Kristalle in der Rinde! Zz etwas ausgebuchtet vor den Ggr. — 73) *S. muricata* L. — 74) *S. subvillosa* L. — 75) *S. vermiculata* L.

Ornithopus: III. 130 μ. Ggr zieml. schmal. Gz 5—6. Einzelne Bf. P 1. Pz zieml. gestreckt vor den Ggr. — 76) **O. compressus* L. — 77) *O. perpusillus* L. — 78) *O. sativus* Brot.

Coronilla: III. Gz 8. P 1—2. Pz zieml. gestreckt vor d. Ggr. — 79) *C. montana* Scop.: 160 μ. — 80) *C. vaginalis* Lmk.: 105 μ.

81) *Arthrolobium scorpioides* D. C.: III, selten IV. 165 μ. Ggr länglich. Gz 8. Kristalle im P. P 1.

Hippocrepis: III. 115 μ. Ggr schmal. Gz 5. Einzelne Bf. P. 1. — 82) *H. multisiliquosa* L. — 83) *H. unsiliquosa* L.

Hedysarum: III, selten IV. 135 μ. Ggr schmal. Gz. 6—7. P. 1—2. — 84) *H. esculentum* Ledeb. — 85) *H. coronarium* L.

Onobrychis: III. — 86) *O. caput-galli* Lmk: 250 μ. Ggr länglich. Gz 11. Wenige Bf. P. 1—2. — 87) *O. crista-galli* Lmk.: 295 μ. Ggr länglich. Gz 16. Bf reichlicher als bei 86. P 2. — 88) *O. viciaefolia* Scop.: 210 μ. Ggr kurz, breit. Gz 7—8. Einzelne Bf. P 2. Pz vor den Ggr sehr gestreckt und großzellig. Ausbuchtung des Zz vor d. Phloem.

89) *Arachis hypogaea* L.: IV. 440 μ. Ggr schmal, einreihig, sehr klein im Verhältnis zum Zz. Gz 6—7. P 3—4. Gerbstoffschläuche zerstreut im Zz.

90) *Desmodium canadense* D. C.: IV. 130 μ. Ggr zieml. breit. Gz 7. P 1—2.

G. **Vicieae.**

Cicer: IV. Ggr nach außen nicht verschmälert. P 2. — 91) *C. arietinum* L.: 300 μ. Gz 13—14. Kleine Bfgr. — Sw: IV. 140 μ. Gz 7. P 1. — 92) **C. pinnatifidum* Jaub & Spach: 200 μ. Ggr zieml. schmal. Gz 10. Bfgr sehr groß.

Vicia: Mit Ausnahme von 93 und 94. III. — 93) *V. Faba* L.: IV, selten V. 450 μ. Ggr länglich. Gz 12—14. Bfgr groß, gestreckt. P 4, auch 3. — 94) *V. pisiformis* L.: IV, selten III. 200 μ. Gz 8. Bfgr zieml. groß. P 1. Kristalle im P. — 95) *V. Ervilia* Willd.: 290 μ. Ggr einreihig, spitz. Gz 5. P 2. Kristalle

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

im P. — 96) *V. narbonensis* L.: 325 μ. Gz 18, Bfgr gestreckt. P 2. Kristalle im P. — 97) *V. calcarata* Desf., 98) *V. lutea* L., 99) **V. peregrina* L., 100) *V. pseudacacea* Bertol. und 101) *V. sativa* L.: 220 μ bis 280 μ. Ggr breit bei 97, sonst normal. Gz 10—12, nur bei 101 18. Bf ziemlich reichlich, hauptsächlich bei 100 und 101. P 2. Kristalle im P. — 102) *V. villosa* Roth.: 160 μ. Gz 8—9. Bfgr ziemlich groß. P 2. Kristalle im P. — 103) *V. silvatica* L.: Bf einzeln. P 1—2. Sonst wie 102. — 104) *V. unjuga* A. Br.: 150 μ. Ggr schmal. Gz 4. P 1. — 105) *V. hirsuta* Koch.: 100 μ. Kristalle im P. Sonst wie 104.

Sw von *Vicia* (außer 94, 95 und 105): Meist III—IV, überwiegend IV bei 93, 95 und 100; bei 102, 103 und 104 zuweilen auch II; bei 93 mitunter auch V—VI; nie konstant III. Meistens ca. 125 μ, nur bei 93 210 μ, bei 96 190 μ. Ggr ähnlich wie bei den zugehörigen Kw. Gz 4—6, bei 97 8. Bf nur bei 100, 102 und 103. P 1, nur bei 93 und 96 1—2.

Lens: III. Gz 12—14. Bfgr groß. P 2. Kristalle im P. Sw III—IV. 120 μ. Gz 4—5. P 1. — 106) *L. esculenta* Mnch.: 290 μ. — 107) **L. nigricans* Godr.: 250 μ.

Lathyrus: Mit Ausnahme von 108, 109 und 110 III. 108) *L. Ochrus* D. C.: IV. 310 μ. Ggr lang. Gz 11. Bfgr groß. P 2—3. Kristalle im P. — 109) *L. sativus* L.: III—IV. Sonst wie 108, nur Bfgr kleiner. — 110) *L. Clymenum* L.: III, selten IV. Bfgr gestreckt. P 3—4. Sonst wie *Pisum* 121—125. — 111) *L, silvestris* L.: 260 μ. Ggr klein. Gz 4. Bf einzeln. P 2. Kristalle im P. — 112) *L. latifolius* L., 113) *L. rotundifolius* Willd. und 114) *L. platyphyllus* Retz.: 200 μ. Ggr klein. Gz 5. Wenige Bf. P 2. Kristalle im P. — 115) *L. odoratus* L.: wie 114—116, nur Ggr breit, Bf reichlich. — 116) *L. Nissolia* L. und 117) *L, Aphaca* L.: 140 μ. Gz 6. Einzelne Bf. P 1—2. Kristalle im P. — 118) *L. pisiformis* L.: Wie 116 und 117, nur reichlicher Bf und ohne Kristalle. 119) *L. vernus* Bernh.: Ggr. klein. Gz 4—5. P 1—2. Stärkekörner zerstreut. — 120) *L. maritimus* Bigelow: Kristalle im P, sonst wie 119. — 121) *L. heterophyllus* L.: Kleine Bfgr, sonst wie 120.

Sw von *Lathyrus* (außer 109, 112, 116, 119, 121): III—IV bei 115 und 117, II—III bei 111, 114, 120, IV—V bei 109. ca. 125 μ. Gz 3—6, bei 110 8. Bf nur, wenn in der Kw, aber nur wenige.

Pisum: III. 460—540 μ. Ggr breit, sehr oft eine Gruppe schwächer als die beiden anderen. Gz 20—25. Bfgr groß, länglich. P 3, selten 2 oder 4. Kristalle im P. — Sw: III—IV. ca. 160 μ. Gz 5—6. Wenige Bf. P 1. 122) **P. arvense* L. — 123) **P. elatius* M. B. — 124) *P. sativum* L. — 125) **P. thebaicum* Willd.

H. **Phaseoleae**: IV.

a) **Glycininae** und **Cajaninae**: Keine Bf. P 2—3.

126) *Soja hispida* Mnch.: 300 μ. Ggr breit. Gz 14. Zz etwas ausgebuchtet vor den Ggr.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Sw: Meist IV, auch III, V. VI. 160 μ. Gz 8. P 1.

127) **Amphicarpaea monoica* Ell.: 235 μ. Gg schmal. Gz 10. Kristalle in d. Rinde. — Sw: IV. 115 μ. Gz 5

128) *Rhynchosia precatoria* D. C.: 210 μ. Ggr schmal. Gz 6.

b) **Phaseolinae**: Mit Ausnahme von 137 und 138 Kristalle in d. Rinde.

Phaseolus: Ziemlich große Bfgr. — 129) **Ph. derasus* Schrnk., 130) **Ph. lunatus* L., 131) **Ph. Max* L. und 132) *Ph. vulgaris.* L: 300 μ. Ggr ziemlich breit. Gz 10—12. P 3. Zz immer bedeutend ausgebuchtet vor dem Phloem, außerdem wenig vor den Ggr, also etwas viereckig mit den Ecken vor dem Phloem. — 133) *Ph. multiflorus* Willd.: 4—500 μ. „Zwischenstränge" in der ganzen Wurzel, meist 2—4, tangential gestreckt, verschieden groß. Wurzeleigene Ggr radial gestreckt, ziemlich schmal. Gz 15—20. Bfgr länglich, schmal, vor den Zwischensträngen oft halbiert. Mark groß. Keine Zg. P 3—4.

Dolichos: Bfgr nicht bei jeder Art. — 134) **D. Lablab* L. und 135) **D. gigantheus* Willd.: 400—460 μ. Gz. 10—12. Bfgr ziemlich groß, länglich. P 3—4, bei 134 4—5. Ausbuchtung des Zz vor den Ggr. Gerbstoffschläuche im Phloem. — 136) **D. ornatus* Wallr. und 137) **D. sesquipedalis* L.: ca. 300 μ. Gz 8—10. Einzelne Bf. P 2—3. — 138) **D. Catjang* L.: 500 μ. Ggr lang. Gz 10. P 3. Gerbstoffschläuche im Phloem.

139) **Vigna glabra* Savi: Wie 129—132.

Sw der *Phaseolinae* (außer 129 und 137): Dimorphismus! Am basalen Teil der Kw groß, meist IV, seltener V—VI. ca. 200 μ. Zz gestreckt. Ggr unregelmäßig. Gz. ca. 8. Wenige Bf. P 2—3. — Unter dieser Zone: Klein, meist IV, auch zuweilen II, weniger gestreckt. ca. 130 μ. Gz 4—5.

Literaturverzeichnis.

1. De Bary, Vergleichende Anatomie der Phanerogamen und Farne. 1877.
2. Belzung, Sur l'existence de l'oxalate de calcium à l'état dissous. (Journ. de Bot. VIII. 1894.)
3. Borodin, Sur la répartition des cristaux d'oxalate de chaux dans les feuilles des Légumineuses et des Rosacées. St. Petersbg. 1884. (Ref. Just's bot. Jahrb. 1884. I. p. 336.)
4. Caldarera, I cristalli di ossalato di calcio nell'embrione delle Papilionacee. (Atti dell'Accademia Gioenia di Scienze naturali in Catania. Serie quarta. Vol. XI. 1898.)
5. Constantin, Recherches sur l'influence qu'exerce le milieu sur la structure des racines. (Ann. sc. nat. VII. Bot. 1. 1885. p. 135 ff.)
6. Dodel, Der Übergang des Dikotyledonen-Stengels in die Pfahlwurzel. (Jahrb. f. wissenschaftl. Bot. 8. 1872.)
7. Freidenfelt: Der anatomische Bau der Wurzel in seinem Zusammenhange mit dem Wassergehalt des Bodens. (Bibliotheca botanica. 61. 1904.)
8. Haberlandt, Physiologische Pflanzenanatomie. 1896.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

9. Hesselmann, Zur Kenntnis des Pflanzenlebens schwedischer Laubwiesen (B. z. Bot. C. XVII. 1904. p. 455.)
10. Kattein, Der morphologische Wert des Zentralzylinders der Wurzel. (Bot. C. 72. 1897.)
11. Kohl, Anatomisch-physiologische Untersuchungen der Kalksalze und Kieselsäure in der Pflanze. 1889.
12. Lohrer, Vergleichende Anatomie der Wurzeln. (Marb. Hefte. II.)
13. Mer: De l'influence des milieux sur la structure des racines. (C. R. 88. 1879.)
14. Perseke, Über die Formveränderungen der Wurzel in Erde und Wasser. Diss. Leipzig 1877.
15. Reinke, Untersuchungen über die Assimilationsorgane der Leguminosen. (Jahrb. f. wissenschaftl. Bot. XXX. 1896. p. 529.)
16. —, Morphologische Abhandlungen. 1873. p. 11.
17. Russow, Betrachtungen über das Leitbündelgewebe. Dorpat 1875. p. 58.
18. Schimper, Pflanzengeographie. 1898.
19. Solereder, Systematische Anatomie der Dikotyledonen. 1899.
20. Tschirch, Über die Heterorhizie bei Dikotylen. (Flora. Bd. 94. 1905. Heft 1. p. 68 ff.)
21. Van Tieghem, Recherches sur la symétrie de structure des plantes vasculaires. (Ann. sc. nat. V. Bot. 13. 1870—71. p. 217 ff.)
22. —, Sur les fibres libériennes primaires de la racine des Malvacées. (Ann. sc. nat. VII. Bot. 7. 1888. p. 176.)
23. —, Recherches sur la disposition des radicelles et des bourgeons dans les racines des Phanérogames. (Ann. sc. nat. VII. Bot. 5. 1887. p. 130.)
24. Warming, Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie. 1896.
25. Wildt, Über die experimentelle Erzeugung von Festigungselementen in Wurzeln und deren Ausbildung in verschiedenen Nährböden. Diss. Bonn 1906.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Botanisches Centralblatt

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: BH_24_1

Autor(en)/Author(s): Petersen Erich

Artikel/Article: Zur vergleichenden Anatomie des Zentralzylinders der Papilionaceen-Keimwurzel. 20-44