

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung, Müncheberg, Mark.)

Die Züchtung von Lupinen mit nichtplatzenden Hülsen.

I. Anatomie und Morphologie der Lupinenhülsen.

Von **K. Zimmermann.**

Einleitung.

Die in Deutschland angebauten Lupinen, *Lupinus luteus* und *Lupinus angustifolius*, besitzen eine Reihe von Eigenschaften, die ihren Wert als Kulturpflanzen beträchtlich herabsetzen: Hohen Alkaloidgehalt, platzende Hülsen, Hartschaligkeit. Diese drei Haupteigenschaften werden seit 1927 im Kaiser Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung von v. SENGBUSCH züchterisch bearbeitet (v. SENGBUSCH 1930, 1934, 1935). Die theoretischen und praktischen Arbeiten zur Züchtung von Lupinen mit nichtplatzenden Hülsen wurden im Laufe der letzten Jahre beträchtlich erweitert. In dem aufgezeichneten Rahmen wurden auch die in der vorliegenden Veröffentlichung besprochenen Untersuchungen durchgeführt. Für die Untersuchungen stand das gesamte Müncheberger Lupinenmaterial zur Verfügung und zwar alkaloidfreie, frühreife, fettreiche und eiweißreiche Stämme sowie schwerer platzende Freilandauslesen von *Lupinus luteus* und *Lupinus angustifolius*.

Das Platzen der Lupinen verursacht einen ziemlich großen Schaden. Bei ungünstigem Wetter während der Ernte (trocken, heiß) kann der Ausfall an Körnern sehr erheblich sein, in manchen Jahren 30—50% betragen. Am leichtesten platzen die Hülsen der gelben Lupine, *Lupinus luteus*. Dann folgt *Lupinus angustifolius*, die blaue Lupine. Die weiße Lupine, *Lupinus albus*, und die südamerikanische Art *Lupinus mutabilis*, die beide vorläufig nur versuchsweise in Deutschland angebaut werden,

haben nichtplatzende Hülsen. Die fünfte, für die Kultur in Frage kommende Art, *Lupinus perennis*, hat ebenfalls leichtplatzende Hülsen.

Bei der Züchtung auf Nichtplatzern steht an erster Stelle die Forderung nach nichtplatzenden Formen von *Lupinus angustifolius* und *Lupinus luteus*, da diese beiden Arten für die leichten Böden des deutschen Ostens als Futterpflanze hervorragend geeignet sind.

Welche Wege stehen zur Erreichung dieses Zieles offen?

1. *Artkreuzungen.* Trotz zahlreicher Versuche sind Kreuzungen zwischen Lupinenarten, mit deren Hilfe man die Eigenschaft des Nichtplatzens von *Lupinus albus* oder *mutabilis* auf die anderen Arten hätte übertragen können, bisher nicht gelungen. Neue Versuche werden zur Zeit im hiesigen Institut durchgeführt.

2. *Wildformen.* Unter den bislang bekannten Wildformen von *Lupinus angustifolius* und *Lupinus luteus* sind keine nichtplatzende Formen gefunden worden. Durch eingehende Sammelreisen soll dieser Weg jedoch weiter verfolgt werden.

3. *Massenauslese.* Von v. SENGBUSCH sind alljährlich umfangreiche Versuche gemacht worden, um durch Auslese aus einem großen Material zu nichtplatzenden Formen zu gelangen. Über diese Versuche hat v. SENGBUSCH im „Züchter“ und in den Mitt. f. d. Landw. berichtet.

4. *Synthese komplexer Eigenschaften* aus ihren Teileigenschaften.

v. SENGBUSCH hat in einer Arbeit in For-

schungen und Fortschritte (1935) auf die Möglichkeit hingewiesen, die Eigenschaft der Lupinenhülsen „Platzen“ als eine sogenannte „komplexe Eigenschaft“ aufzufassen, d. h. daß nicht eine einzige bestimmte Eigenschaft der Hülsen das Platzen verursacht, sondern daß das Zusammenwirken einer Reihe von Teileigenschaften der Hülse dazu führt, daß diese platzt. Man muß also Formen suchen mit einer günstigen Ausprägung je einer der Teileigenschaften und diese durch Kreuzung in einer Pflanze vereinigen.

Ich habe eine Reihe von morphologischen und anatomischen Eigentümlichkeiten der Hülse, die das Platzen derselben beeinflussen können, auffindig gemacht und untersucht. Zu diesen ge-

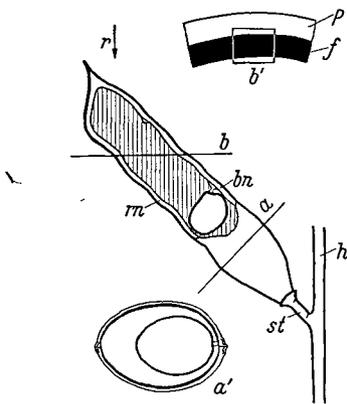


Abb. 1. Schematische Darstellung einer Lupinenhülse. *h* Haupttrieb, *st* Stielchen, *rn* Rückennaht, *bn* Bauchnaht, *a* Schnittrichtung senkrecht zur Längsachse der Hülse, *a'* Querschnitt durch die Hülse in der Schnittrichtung *a*, *b* Schnittrichtung senkrecht zur Richtung der Faserzellen, *b'* Querschnitt durch die Hülsenwand in der Schnittrichtung *b*, *p* Parenchym, *f* Faserschicht, *r* Richtung der Faserzellen. Das eingezeichnete Feld ist der in den folgenden Abschnitten dargestellte Ausschnitt.

hören die Breite der Hülse, die Festigkeit der Naht, die Dicke und der Feinbau der Faserschicht u. a. Im einzelnen werden diese Eigenschaften weiter unten besprochen.

Ob man diese Formen mit einer günstigen Ausprägung der Teileigenschaften in hiesigen Landsorten oder vielleicht in den Heimatgebieten der Lupinen findet, oder ob man sie durch Mutationsauslösung künstlich erzeugen kann, wird erst die Erfahrung lehren. Als wichtigstes ist die Frage zu prüfen, inwieweit die Teileigenschaften frei vererbbar oder ob sie stark korrelativ gebunden sind. Dann müssen Methoden erdacht werden, mit denen die geeigneten Typen gefunden werden können.

Im Gang der Arbeiten wurden zunächst eingehende anatomische Untersuchungen an Lupinen- und anderen Leguminosenhülsen durchgeführt, um das Zustandekommen der Span-

nungen in der trockenen Hülse zu erklären. Dann wurden die Variationsbreiten der einzelnen Eigenschaften untersucht und deren Verhältnisse zueinander festgestellt. Nach all diesen Untersuchungen soll die Frage der Vererbbarkeit der Teileigenschaften erörtert werden.

Anatomie und Morphologie der Lupinenhülsen.

Die Hülsen der Leguminosen sind im allgemeinen und die der Lupinen im besonderen sehr ähnlich gebaut. Sie bestehen meistens aus zwei Klappen, die aus einem einzigen Fruchtblatt hervorgegangen sind. An der Rückennaht, die der Infloreszenzachse abgewandt ist, ver-

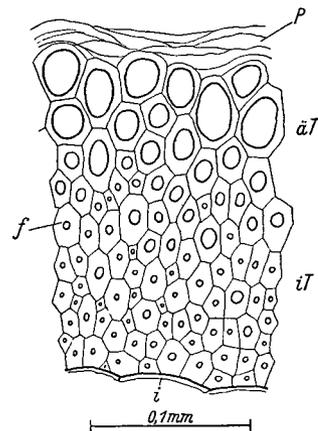


Abb. 2. *Lupinus angustifolius*, Querschnitt durch die Faserschicht, normale Form. *p* Parenchym, *f* Faserschicht, *äT* äußerer Teil der Faserschicht, *iT* innerer Teil der Faserschicht, *i* innere Epidermis.

läuft ein Gefäßbündel, der Mittelnerv des ehemaligen Fruchtblattes, an der Bauchnaht deren zwei, die Randnerven des Karpells. Die Hülsenwand besteht aus zwei Schichten. Außen liegt das Parenchym, aus großen polygonalen Zellen bestehend, innen eine Schicht aus kurzen Faserzellen, die im folgenden „Faserschicht“ genannt werden soll. Bei der Reife pflügen sich die beiden Hülsenklappen in den Nähten zu trennen. Aus der schematischen Darstellung einer Lupinenhülse in Abb. 1 geht die Erklärung für die verwendeten Ausdrücke ohne weiteres hervor.

Aus dem anatomischen Bau der Hülsenwand ergibt sich die Erklärung für das Zustandekommen der Spannungen, die zum Platzen der Hülsen führen. Es soll deshalb zunächst der Bau der Hülsen bei einer Reihe von Arten im einzelnen beschrieben werden.

1. *Lupinus angustifolius*.

Die Hülsenwand besteht von außen nach innen aus folgenden Gewebeschichten: ganz

außen befindet sich die äußere Epidermis, eine einfache Lage flacher, etwas gestreckter Zellen. Darauf folgt das Parenchym, das aus einer großen Anzahl von Schichten aus dünnwandigen, polygonalen Zellen besteht. An der grünen Hülse sind diese Zellen mit Wasser gefüllt, wodurch diese Schicht dick und fleischig erscheint.

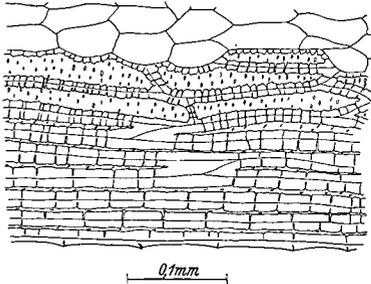


Abb. 3. *Lupinus angustifolius*. Längsschnitt durch die Faserschicht. Im oberen (äußeren) Teil breite, unregelmäßig gestaltete Zellen mit quergestellten Tüpfeln, im mittleren Teil stehen die Tüpfel schräge, im unteren (inneren) Teil haben die Tüpfel dieselbe Richtung wie die Längsachse der Zellen.

Bei der Reife trocknen sie ein, so daß das Parenchym etwa dieselbe Dicke erhält wie die Faserschicht. Diese besteht in der äußeren

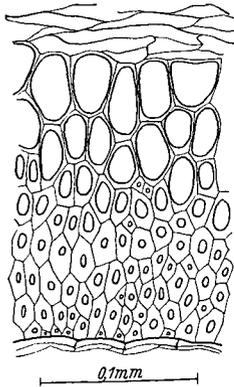


Abb. 4. *Lupinus angustifolius*, Querschnitt durch die Faserschicht. Die Pflanze stammt aus der Großauslese 1935. Die äußeren Zellen haben dünne Wände. Die einzelnen Teile entsprechen der Abb. 2, ebenso wie in den folgenden Abbildungen.

Hälfte aus relativ dünnwandigen Zellen mit großem Außendurchmesser (Abb. 2), in der inneren Hälfte aus dickwandigen kleinen Zellen. An Material, das nach dem SCHULTZESCHEN Verfahren mazeriert wurde, erkennt man den Bau der Faserzellen genauer. Die äußeren Zellen der Faserschicht sind breit, an den Enden mehr oder weniger abgestumpft und haben einen unregelmäßigen Umriß. Die Wand ist von zahlreichen Tüpfeln durchbrochen, die quer zur Längsrichtung der Zellen gestreckt sind.

Die Zellen aus dem inneren Teil der Faserschicht sind wesentlich schmaler und an den Enden zugespitzt. Die ebenfalls gestreckten Tüpfel verlaufen in der Richtung der Längsachse der Zellen. Im mikroskopischen Bilde kann man die beiden Arten von Zellen gut unterscheiden. An Längsschnitten ist zu sehen, daß der Übergang von der äußeren zur inneren Hälfte der Faserschicht sehr schroff erfolgt (Abb. 3). Nur in einer oder zwei Lagen etwas breiterer Zellen haben die Tüpfel eine schräge Richtung. Für die Erklärung des Öffnungsmechanismus der Hülsen spielt dieser unterschiedliche Bau der inneren

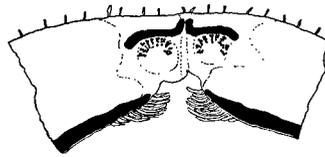


Abb. 5. *Lupinus angustifolius*, Querschnitt durch die Bauchnaht. Die schwarz angelegten Teile bestehen aus verdickten Zellen.

und äußeren Zellen der Faserschicht eine entscheidende Rolle.

Wegen der Bedeutung der Faserschicht für das Platzen der Hülsen wurden von einer großen Anzahl von Einzelpflanzen Querschnitte durch die Faserschicht angefertigt. Als Material wurde eine hiesige Landsorte von *Lupinus angustifolius* verwendet. Im Aufbau der Faserschicht zeigten sich große Schwankungen. Bei

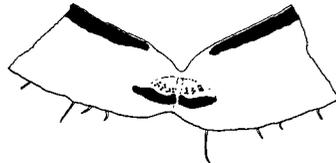


Abb. 6. *Lupinus angustifolius*, Querschnitt durch die Rückennaht.

einigen Pflanzen sind die äußeren Zellen ebenfalls sehr dickwandig, bei anderen sehr dünnwandig (Abb. 4). Die Dicke der Faserschicht variiert in ziemlich weiten Grenzen, wie auch der Anteil an äußeren und inneren Zellen schwankt. Besonders interessant waren die bei der Großauslese des Jahres 1935 als weniger leicht platzend gefundenen Pflanzen. Bei diesen ist der äußere Teil der Faserschicht aus so dünnwandigen Zellen aufgebaut, daß er nicht mehr als mechanisches Gewebe wirkt. Die Zellen knicken bei Beanspruchung ein. Dadurch ist die Dicke der Faserschicht auf die Hälfte reduziert. Auf die große Bedeutung dieser Erscheinung soll später eingegangen werden. Die

Dicke der Faserschicht beträgt bei normalem Material im Mittel aus 50 Messungen 0,129 mm. Die Schwankungen in der Dicke erstrecken sich, wie erwähnt, über einen sehr weiten Bereich. An einem viel größeren Material wurden Faserschichten von 0,050 bis 0,180 mm Dicke gefunden.

Die Faserschichten der beiden Hälften sind an den Rändern der Hülse vollkommen voneinander getrennt. Weder an den Nähten noch an den Enden sind sie miteinander verbunden.

Die Faserzellen bilden mit ihrer Längsachse mit der Längsachse der Hülse einen Winkel von etwa 45° (Abb. 1). Da die Hülsen von der Infloreszenzachse ebenfalls in einem Winkel von etwa 45° absteigen, laufen die Faserzellen parallel zu dieser.

Wie oben erwähnt, führen an der Bauchnaht zwei Gefäßbündel entlang (Abb. 5). Die Skler-

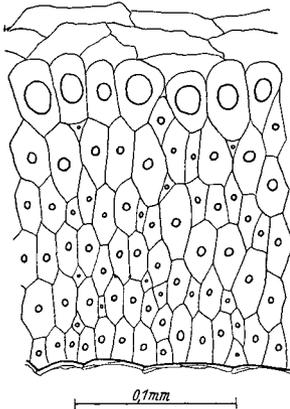


Abb. 7. *Lupinus luteus* Querschnitt durch die Faserschicht, normale Form.

enchymbelege der Gefäßbündel zeigen im Querschnitt S-Form, wobei der eine das Spiegelbild des anderen darstellt. Zwischen beiden Gefäßbündeln liegt eine Zone lockeren Gewebes, das beim Platzen der Hülsen zerreißt. Unter der Breite der Nähte wird die Fläche verstanden, mit der die beiden Hälften aneinanderhaften. An der Rückennaht (Abb. 6) verläuft nur ein Gefäßbündel. Der gebogene Sklerenchymbelag ist in der Mitte unterbrochen. Auch hier liegt zwischen den beiden Hälften lockeres Trennungsgewebe. An der Stielchenansatzstelle ist eine Zone parenchymatischen Gewebes, das eine leichte Trennung der Hülsenklappen vom Stielchen zuläßt. Meistens fallen die Hülsenklappen tatsächlich völlig ab.

Da die anderen Lupinenarten mit *Lupinus*

angustifolius weitgehend übereinstimmen, kann ihre Beschreibung kürzer gefaßt werden.

2. *Lupinus luteus*.

Die Hülsen dieser Art sind im Gegensatz zu denen von *Lupinus angustifolius* leicht gekrümmt, und zwar so, daß die Bauchnaht den konvexen Bogen bildet. Die Faserschicht ist wesentlich robuster gebaut als bei *Lupinus*

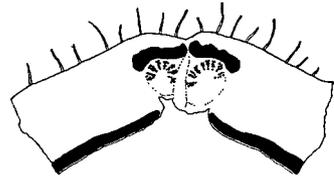


Abb. 8. *Lupinus luteus*, Querschnitt durch die Bauchnaht.

angustifolius (Abb. 7). Der Unterschied zwischen der Größe der äußeren und derjenigen der inneren Zellen ist nicht sehr groß. Auch die

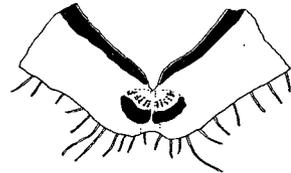


Abb. 9. *Lupinus luteus*, Querschnitt durch die Rückennaht.

äußeren Zellen sind sehr dickwandig. Formen mit ausgesprochen dünnwandigen Außenzellen habe ich bei *Lupinus luteus* nicht gefunden.

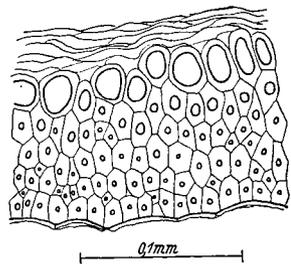


Abb. 10. *Lupinus albus*, Querschnitt durch die Faserschicht, normale Form.

Am Querschnitt sind die Zellen in radialer Richtung breiter als in tangentialer Richtung. Von den untersuchten Arten hat *Lupinus luteus* die weitaus dickste Faserschicht. Als Mittel aus 50 Messungen ergab sich 0,195 mm. Die größten gefundenen Werte lagen an 0,300 mm. Beide Arten, *Lupinus luteus* und *Lupinus angusti-*

folius, haben gemeinsam, daß die Faserschicht sehr regelmäßig und kräftig entwickelt ist.

Entsprechend dem derberen Bau der Hülsen sind die Sklerenchymbelege der Gefäßbündel an den Nähten dicker als bei *Lupinus angustifolius* (Abb. 8 u. 9).

3. *Lupinus albus*.

Die Hülsen dieser Art sind sehr groß und gerade. Sie platzen auch bei stärkster Austrocknung kaum. Im Freiland platzen sie überhaupt nicht. Die Faserschicht ist außerordentlich dünn. Das Mittel aus 50 Messungen hat nur 0,060 mm ergeben. Dabei ist zu bedenken, daß die Hülsen etwa die doppelte Breite wie *Lupinus luteus*-Hülsen haben. Um den Wert mit demjenigen von *Lupinus luteus* vergleichen zu können, müßte man ihn auf die Hälfte, 0,030 mm, vermindern. Am Querschnitt (Abb. 10) sieht

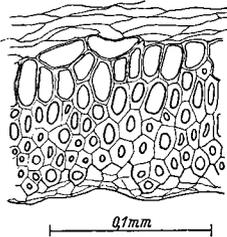


Abb. 11. *Lupinus mutabilis*, Querschnitt durch die Faserschicht, anormale Form. Die Faserschicht ist sehr dünn.

man, daß nur die äußerste Zellreihe aus dünnwandigen Zellen besteht. Nur diese zeigt an maceriertem Material unregelmäßige Umrisse und quergestellte Tüpfel.

Die Mittellamelle ist besonders zwischen den inneren kleinen Zellen dicker als bei den vorher beschriebenen Arten, wodurch die Faserschicht einen mehr lockeren Eindruck macht.

An der Bauchnaht findet man ebenfalls zwei Gefäßbündel mit einem ziemlich dünnen Sklerenchymbelag, an der Rückenahnt deren eines. Alle Teile der Hülse, die aus verdickten Zellen bestehen, sind verhältnismäßig schwach entwickelt.

Von *Lupinus albus* habe ich 10 ganz verschiedene Herkünfte untersucht. So verschieden sie waren in bezug auf Hülsenbreite und -länge und sonstigen Eigenschaften der Hülsen und der Pflanzen, alle hatten sie diese dünne Faserschicht und keine der Herkünfte wies platzende Formen auf.

4. *Lupinus mutabilis*.

Diese Art ist in jeder Hinsicht außerordentlich variabel. Bezüglich des Aufbaues der

Faserschicht kommt die größte Mannigfaltigkeit vor. Abb. 11 zeigt eine Form mit einer sehr dünnen Faserschicht, die eine gewisse Ähnlichkeit mit *Lupinus albus* aufweist. Auffallend ist bei allen Querschnitten durch die Faserschicht von *Lupinus mutabilis*, daß die

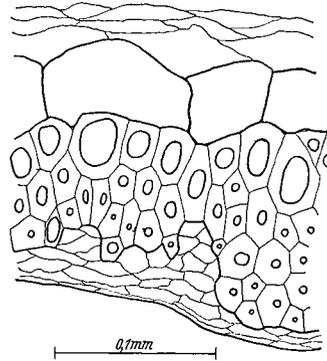


Abb. 12. *Lupinus mutabilis*, Querschnitt durch die Faserschicht. Anormale Form. Zwischen Faserschicht und Parenchym eine Lage Polygonalzellen mit etwas verdickten Wänden.

innere Begrenzung derselben stark ausgezackt ist. Die entstehenden Lücken sind von dünnwandigen Zellen ausgefüllt, durch die der

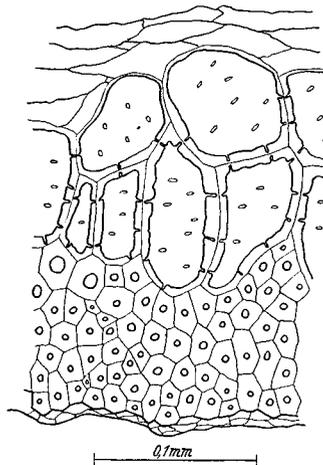


Abb. 13. *Lupinus mutabilis*, Querschnitt durch die Faserschicht. Anormale Form. Der äußere Teil der Faserschicht aus Polygonalzellen gebildet.

silbrige Glanz entsteht, den das Innere der Hülsen auszeichnet. Die in Abb. 12 dargestellte Form hat zwischen Faserschicht und Parenchym eine Lage etwas dickwandigerer Zellen, die vielleicht noch zur Faserschicht zu rechnen sind. Abb. 13 zeigt eine Form, bei welcher der äußere Teil der Faserschicht aus dickwandigen Polygonalzellen mit zahlreichen Tüpfeln be-

steht. Eine weitere Form ist in Abb. 14 dargestellt. An einigen Stellen des Querschnittes sind Gruppen von flachen, breiten Zellen ein-

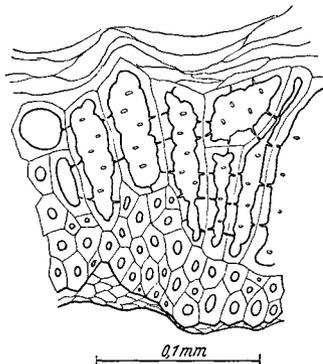


Abb. 14. *Lupinus mutabilis*, Querschnitt durch die Faserschicht. Anormale Form. Im äußeren Teil der Faserschicht große flache Zellen an einigen Stellen eingefügt.

gefügt. Im übrigen ist die Faserschicht normal gebaut.

Diese hier beschriebenen Formen kommen

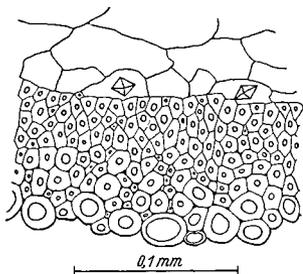


Abb. 15. *Glycine hispida*, Querschnitt durch die Faserschicht. Die Anordnung der Zellen ist umgekehrt wie bei den Lupinenarten.

nicht vereinzelt vor, sondern sind Typen, die in dem hier zur Verfügung stehenden Material mit einer gewissen Häufigkeit auftreten. Bei an-

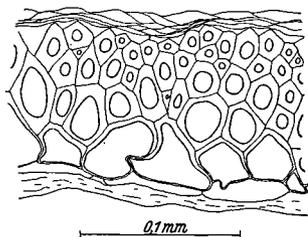


Abb. 16. *Phaseolus vulgaris* („Nordstern“ von DIPPER) Querschnitt durch die Faserschicht.

deren Lupinenarten habe ich solche Formen nicht beobachten können.

Es gibt bei *Lupinus mutabilis* im selben

Material platzende und nichtplatzende Typen. Diese unterscheiden sich deutlich in der Dicke der Faserschicht. Die platzenden haben eine solche von 0,135 mm, die nichtplatzenden von 0,077 mm als Mittel aus je 50 Messungen.

Die Nähte weisen keine weitere Besonderheit auf. Dadurch, daß der Hülsenquerschnitt flach ist, bildet besonders die Rückennaht einen spitzen Winkel, was eine andere Gestalt des Gefäßbündels bedingt.

Außer diesen Arten wurden noch *Lupinus elegans* und *Lupinus palaestinus* untersucht. Sie stimmen im großen und ganzen mit den beschriebenen Arten überein, weshalb auf eine nähere Beschreibung verzichtet werden kann.

Als Vergleichsmaterial wurden noch einige andere Leguminosen herangezogen: *Glycine*

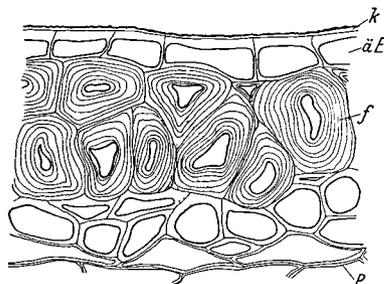


Abb. 17. *Phaseolus vulgaris*, Querschnitt durch den äußeren Teil der Hülsenwand. Die Schnittrichtung steht senkrecht auf der Schnitt- richtung *b* der Abb. 1. *k* Kutikula, *äE* äußere Epidermis, *f* Faserzellen, *p* Parenchym.

hispida, *Pisum sativum* und *Phaseolus vulgaris*, alle drei nichtplatzende Arten. Bei ihnen fällt auf, daß die Faserschicht umgekehrt wie bei *Lupinus* gebaut scheint (Abb. 15 u. 16). Die kleinen Zellen liegen außen und die großen Zellen innen. Für die Erklärung des Öffnungsmechanismus der Hülsen ist diese Tatsache von großer Bedeutung. Bei *Glycine* und *Phaseolus* sind die dem Hülseninnern zugekehrten Zellen der Faserschicht nur einseitig verdickt, so daß sie nach dieser Seite offen erscheinen. *Glycine* und *Pisum* haben in den Zellen, die unmittelbar an die Faserschicht angrenzen, Kristalle. Bei *Phaseolus* liegt unter der äußeren Epidermis noch eine Schicht von Faserzellen, die senkrecht zu denen der eigentlichen Faserschicht verlaufen (Abb. 17).

Der Öffnungsmechanismus der Hülsen.

Das Problem des Öffnungsmechanismus hat schon mehrere Forscher beschäftigt. Unter den neueren Arbeiten zeichnet sich diejenige von GLAGE aus. Sie hat eine Reihe von Versuchen an *Lathyrus niger* angestellt, die zur Klärung der

Frage wesentlich beigetragen haben. Durch das Studium der Schrumpfbewegungen von Streifen, die in verschiedenen Richtungen aus den Hülsen herausgeschnitten wurden, wurden zwei Komponenten festgestellt, eine, die in der Richtung der Längsachse der Hülse wirkt und eine senkrecht zur Abflachung der Hülsen spitze wirkende. Durch das Zusammenwirken der beiden Komponenten entstehen die Spiralbewegungen der Hülsenklappen. Durch polarisationsmikroskopische Untersuchungen hat GLAGE Unterschiede im Feinbau der äußeren und inneren Hartschicht („Faserschicht“) gefunden, die eine Erklärung der Bewegungen ergaben. Im zweiten Teil der Arbeit wurden entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen an *Lathyrus*-Hülsen durchgeführt. Das Micellargefüge der jungen Hülsen entspricht dem der reifen Hülsen. Schließlich wurden noch Quellungsversuche in verschiedenen Lösungsmitteln ausgeführt.

Was bedeuten nun die schon mitgeteilten Tatsachen für das Zustandekommen der Spannungen, die zum Platzen der Hülsen führen bzw. bei nichtplatzenden Formen das spirale Einrollen der Hülsenklappen verursachen? Diese Bewegungen sind hyroskopischer Natur, denn nur bei Wasserverlust treten sie auf. Es müssen in der Hülsenwand also zwei Schichten liegen, die sich bei Wasserverlust verschieden stark zusammenziehen. Wo diese Schichten liegen, wurde durch Versuche festgestellt.

Aus reifen Hülsen wurden Streifen von etwa 2—3 mm Breite in der Weise herausgeschnitten, daß die Schnittrichtung quer zur Richtung der Faserzellen verläuft (Abb. 1, Schnittrichtung *b*). Werden diese Streifen in Wasser vollständig gequollen, strecken sie sich gerade (Abb. 18). Beim Austrocknen rollen sie sich so ein, daß das Hülseninnere den konkaven Bogen bildet. Das Austrocknen und Anfeuchten der Streifen kann man öfter wiederholen, die Reaktion der Streifen bleibt immer dieselbe. Bei platzenden und nichtplatzenden Formen von Lupinen sowie bei den Arten *Pisum sativum* und *Phaseolus vulgaris*, bei denen die Faserschicht umgekehrt gebaut ist wie bei *Lupinus*, waren die Bewegungen der Streifen gleichsinnig; immer rollen sie sich beim Austrocknen mit der Faserschicht nach innen ein. GLAGE hat bei denselben Versuchen an *Lathyrus niger* den gleichen Erfolg erzielt.

Das Einrollen der Hülsen erfolgt also auf Grund des Baues der Hülsenwand, unabhängig von Form und Größe der Hülsen.

Von solchen Streifen wurde dann das Par-

enchym sorgfältig entfernt und wieder die Austrocknungs- und Quellversuche angestellt. Bei allen untersuchten Arten verhielten sich diese Streifen genau so wie die Streifen mit Parenchym schicht. Der Sitz der mechanischen Kräfte ist also zweifellos die Faserschicht. Das Parenchym wirkt höchstens verstärkend oder abschwächend auf diese Kräfte. Folgender Versuch veranschaulicht dieses. Fruchtstände von *Lupinus angustifolius* wurden in einem Raum solange hängen gelassen, bis etwa die Hälfte der Hülsen geplatzt war. Von den übrigen konnte man dann annehmen, daß sie ebenfalls in kurzer Zeit platzen würden. Die nicht geplatzen Fruchtstände wurden dann ins Freie gebracht, wo die relative Luftfeuchtigkeit etwa 3—4 mal so hoch war wie im Raum. In ganz kurzer Zeit waren

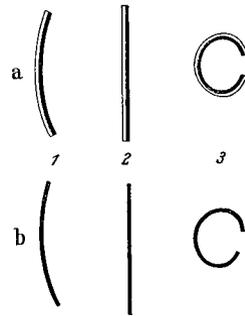


Abb. 18. Schema zu den Versuchen mit Streifen aus der Hülsenwand. *a* Streifen mit Parenchym, *b* Streifen ohne Parenchym. 1 unbehandelte Streifen, 2 in Wasser gequollene Streifen, 3 austrocknende Streifen.

die Hülsen sämtlich geplatzt, während die Kontrollen im trockenen Raum erheblich später platzten. Diese Erscheinung erklärt sich folgendermaßen: Die von außen auf die Hülsen einwirkende Feuchtigkeit bringt zunächst das Parenchym zum Quellen. Die damit verbundene Ausdehnung desselben wirkt verstärkend auf die Spannung in der Hülse und bringt diese zum Platzen. Vielleicht hat auch die Abkühlung der Hülsen (die Versuche wurden im Winter gemacht) eine, wenn auch untergeordnete Rolle gespielt.

Die mechanischen Kräfte müssen also durch den besonderen Bau der Faserschicht zustande kommen. Ursprünglich wurde angenommen, daß der innere und äußere Teil der Faserschicht die beiden Schichten darstellen, die auf Quellung und Austrocknung verschieden reagieren, weil sie anatomisch verschieden sind. Dieser Erklärungsversuch war aber nicht stichhaltig, als sich bei *Pisum*, *Phaseolus* und *Glycine* bei umgekehrter Anordnung der Zellen (innen

große, außen kleine) die gleichen Erscheinungen zeigten.

Die Untersuchungen von GLAGE (1934) wiesen neue Wege zur Erklärung. Nach ihren Feststellungen beruht die verschiedene Quellfähigkeit des inneren und äußeren Teiles der Faserschicht auf einer gekreuzten Anordnung der Elementarbausteine der Zellwand, der Micelle. Sie untersuchte zu diesem Zweck Hülsen von *Lathyrus niger*.

Die GLAGESchen Untersuchungen habe ich auf Lupinen und andere Leguminosen ausgedehnt und durch andere Versuche erweitert. Ihre Ergebnisse konnten voll bestätigt werden.

Zunächst wurden Länge und Breite der Faserzellen an Material gemessen, das mit Hilfe des SCHULTZESchen Mazerationsverfahrens aufgeschlossen wurde. Die Messungen wurden alle an ein und demselben Präparat vorgenommen. Zuerst wurden die gequollenen Zellen gemessen, dann wurden sie getrocknet, in Öl eingeschlossen und wieder gemessen. Die Ergebnisse zeigt die Tabelle.

Tabelle 1. Länge und Breite der Faserzellen von *Lupinus angustifolius*. Mittelwerte aus je 100 Messungen.

		gequollen mm	trocken mm	Schrumpfung %
Breite	innen	0,020	0,016	20
	außen	0,035	0,033	5,8
Länge	innen	0,589	0,589	0
	außen	0,397	0,358	9,8

Die Faserzellen aus dem inneren Teil der Faserschicht verschmälern sich beim Austrocknen erheblich (20%), im äußeren Teil verlieren sie viel weniger an Breite. Die Länge der Zellen bleibt beim Austrocknen bei den inneren Zellen erhalten, während die äußeren Zellen sich um 10% verkürzen. Untersuchungen an anderen Lupinen ergaben ähnliche Werte.

Eine Erklärung findet diese Erscheinung durch die Anordnung der Micelle. Auf die Richtung der Micelle kann aus der Richtung der gestreckten Tüpfel geschlossen werden, da diese in der Richtung der Micelle gestreckt sind. An den mazerierten Zellen kann man die Tüpfel gut erkennen.

Die Quellung der Cellulose erfolgt nach der allgemeinen Ansicht in der Weise, daß sich um das Micell ein Flüssigkeitsmantel bildet, der die fadenförmigen Micelle auseinander drängt. Die Zelle muß sich also quer zur Richtung der Micelle vergrößern, wenn sie Wasser aufnimmt, sich verkleinern, wenn sie austrocknet.

In der Faserschicht von *Lupinus angustifolius* und derjenigen der anderen Lupinenarten ändert sich der Verlauf der Micelle von innen nach außen. Im inneren Teil haben die Micelle dieselbe Richtung wie die Längsachse der Zellen. Beim Austrocknen verschmälern sich diese, wie die Tabelle auch zeigt. Im mittleren Teil verlaufen die Micelle in einem Winkel von etwa 45° zur Hauptachse der Zelle, d. h. sie beschreiben spiralförmige Windungen um diese. Im äußeren Teil endlich verlaufen die Micelle senkrecht zur größten Länge der Zellen. Beim Austrocknen müssen sich diese also bei gleichbleibender Breite verkürzen (siehe die Tabelle).

Aus diesem Feinbau ergibt sich auch die Erklärung für das Zustandekommen der hygroskopischen Spannungen in der Hülse. Die inneren Zellen schrumpfen infolge des parallelen Verlaufs der Micelle in der Breite stärker als die Zellen aus dem äußeren Teil der Faserschicht, in denen die Micelle quer verlaufen. Durch die dadurch bedingte stärkere Verkürzung der Innenseite der Hülse entsteht die Krümmung der Hülsenklappen. Die spiralförmige Drehung der Klappen ist durch den schrägen Verlauf der Faserzellen bedingt. Die Faserzellen von *Robinia pseudacacia* liegen senkrecht zur Länge der Hülse. Bei ihnen entsteht deswegen auch keine Spiraldrehung der Hülsenhälften. Sie krümmen sich in der Mitte auseinander.

Der Verlauf der Micelle entspricht bei *Pisum*, *Phaseolus* u. a. genau demjenigen von *Lupinus*, nur mit dem Unterschied, daß hier bei den großen, dünnwandigen Zellen (innen) die Micelle längs und bei den kleinen dickwandigen Zellen (außen) die Micelle quer zur größten Länge der Zellen verlaufen. Deswegen führen die Hülsenklappen dieser Arten auch die gleichen Bewegungen aus wie diejenigen von *Lupinus*.

Bei *Phaseolus* findet man, wie erwähnt, im äußeren Teil der Hülsenwand nochmals einige Lagen dickwandiger, faserähnlicher Zellen, die in einem Winkel von 90° zur Richtung der Faserschicht liegen (Abb. 17). Die Bedeutung dieser Schicht kann darin liegen, daß sie ein Widerlager zur Faserschicht bildet, das evtl. auftretende Spannungen aufhebt. Um das Platzen der Hülsen zu verhindern, ist sie nicht unbedingt erforderlich, denn andere nichtplatzende Arten haben diese Schicht nicht.

Die Vorstellung, daß der wechselnde Verlauf der Micelle in den Faserzellen die Ursache für das Zustandekommen der hygroskopischen Spannungen in den Hülsen ist, findet eine weitere Stütze durch polarisationsmikroskopische Untersuchungen. Diese wurden an den

verschiedenen Arten an mazerierten Zellen der Faserschicht durchgeführt. Der Polarisationsapparat wurde an ein normales Mikroskop angeschlossen. Bei gekreuzten Nicols erscheinen alle Zellen gleichmäßig leuchtend weiß auf dunklem Grund. Die äußeren und inneren Zellen der Faserschicht sind außer durch den beschriebenen Unterschied im anatomischen Bau nicht zu unterscheiden. Wird allerdings zwischen die gekreuzten Nicols ein Gipsblättchen Rot I eingeschaltet, dessen Achse zu der Achse des Polarisators einen Winkel von 45° bildet, dann erscheint das Gesichtsfeld tiefrot und die Zellen je nach ihrer Lage und Art in den Additions- bzw. Subtraktionsfarben grün oder gelb. Die Zellen aus dem *inneren* Teil der Faserschicht erscheinen intensiv grün, wenn ihre Längsachse in der Richtung der Achse des Gipsblättchens liegt. Intensiv gelb leuchten sie auf, wenn ihre Achse senkrecht auf der Achse des Gipsblättchens steht. Die Zellen aus dem *äußeren* Teil der Faserschicht erscheinen gelb, wenn ihre Längsachse in der Richtung der Achse des Gipsblättchens liegt, grün leuchten sie auf, wenn ihre Achse senkrecht auf der Achse des Gipsblättchens steht. Mit anderen Worten, die inneren Zellen sind in der Richtung ihrer Längsachse doppelbrechend, die äußeren Zellen quer zu dieser Richtung. Diese Stäbchen-Doppelbrechung kommt durch die Micelle zustande. Die Micelle der Zellen aus dem äußeren Teil der Faserschicht stehen also senkrecht zu denen aus dem inneren Teil. Das hat für die Quellung und Austrocknung der Zellen die oben diskutierten Folgen (Tabelle I). Diese Befunde sind mit den von GLAGE mitgeteilten Ergebnissen in voller Übereinstimmung.

Diese Erscheinungen sind allen untersuchten Leguminosenhülsen gemeinsam. Gleichgültig, ob die großen, dünnwandigen Zellen innen (*Phaseolus*) oder außen (*Lupinus*) in der Faserschicht liegen, immer verlaufen in den inneren Zellen die Micelle längs, in den äußeren Zellen quer zur Längsrichtung der Zellen.

Die Untersuchungen wurden vervollständigt durch Betrachtung von Längsschnitten im polarisierten Licht unter Zwischenschaltung eines Gipsblättchens. Die Farben sind infolge der größeren Dicke der Schnitte etwas anders als bei macerierten Zellen. Ist der Schnitt so orientiert, daß die Innenkante des Schnittes senkrecht auf der Achse des Gipsblättchens steht, dann erscheinen die äußeren Zellen der Faserschicht blaugrün, die inneren orange. Fallen innere Kante des Schnittes und Achse des Gipsblättchens zusammen, dann ist der

äußere Teil der Faserschicht orange und der innere blaugrün. Die Grenze der beiden Farben ist ziemlich scharf. Der Übergang von einer zur anderen vollzieht sich über eine Zellbreite. Die Breite des äußeren Teiles der Faserschicht ist bei den untersuchten Arten verschieden. Bei einer solchen Orientierung des Schnittes, daß der äußere Teil blau aufleuchtet, ergeben sich folgende Unterschiede:

Lupinus angustifolius: etwa die äußere Hälfte blau, *Lupinus luteus*: das äußere Drittel blau, *Lupinus albus*: 1—2 der äußeren Zellagen blau, *Lupinus mutabilis*: unregelmäßige Begrenzung des äußeren Teils, *Pisum sativum*: 2—3 der äußeren Zellreihen blau, *Phaseolus vulgaris*: 1—2 der äußeren Zellreihen blau.

Bei den platzenden Arten *Lupinus angustifolius* und *Lupinus luteus* treten die Unterschiede am schärfsten hervor.

Es dürfte nach diesen Untersuchungen kein Zweifel mehr darüber bestehen, daß die Spannungen in der trockenen Hülse durch die im inneren und äußeren Teil senkrecht zueinander stehenden Micelle entstehen.

Wie im vorhergehenden dargelegt wurde, ist der Sitz der mechanischen Kräfte der Faserschicht. Diese ist also der spannungserzeugende Faktor in der Hülse. Die Größe der mechanischen Kräfte ist abhängig von der Dicke der Faserschicht (siehe das Beispiel der platzenden und nichtplatzenden *Lupinus mutabilis*), von der Struktur der Faserschicht, von der Breite der Hülse (in einer schmalen Hülse sind die Kräfte bei gleicher Faserschichtdicke relativ größer als in einer breiten) und der Länge der Hülse.

Als hemmende Faktoren, die das vorzeitige Platzen bei platzenden Formen verhindern und bei nichtplatzenden das Platzen überhaupt unterbinden, sind zu nennen: Die Festigkeit der Naht, die von der Breite abhängt, mit der die Nahtflächen aneinanderhaften; ferner die Festigkeit des Stielchenansatzes, denn am Stielchen fangen die Hülsen häufig an zu platzen. Auch die Breite und Länge können je nach ihrer Ausprägung als hemmende Faktoren auftreten.

Aus der Verschiebung des Gleichgewichts dieser Faktoren ergibt sich das Platzen oder Nichtplatzen der Hülsen. Sind die Hemmfaktoren stärker als die spannungserzeugenden Faktoren, dann platzen die Hülsen nicht. Im umgekehrten Falle platzen sie. Dazwischen gibt es alle Übergänge von leichter zu schwerer platzenden Formen.

Literatur.

- SENGBUSCH, R. v.: Über Lupinenzüchtung am Kaiser Wilhelm-Institut, Müncheberg i. d. Mark. Ztschr. f. Züchtung 15, H. 3 (1936).
- SENGBUSCH, R. v.: Die Züchtung von Lupinen mit nichtplatzenden Hülsen. Der Züchter 1934.
- SENGBUSCH, R. v.: Züchtung von Lupinen mit nichtplatzenden Hülsen? Mitt. Landw. 1935, 1113.
- SENGBUSCH, R. v., u. K. ZIMMERMANN: Morphologische Untersuchungen im Rahmen der Züchtungsforschung. — Die Züchtung von Lupinen mit nichtplatzenden Hülsen. Unveröffentlicht Nov. 1935.
- SENGBUSCH, R. v.: Ein Problem der Züchtungsforschung. Analyse und Synthese komplexer Eigenschaften. Forschgn. u. Fortschr. 1935, 427.
- GLAGE, URSULA: Funktion und Entwicklung des Öffnungsmechanismus der Hülsen von *Lathyrus niger*. Bot. Arch. 1934, 1.