

**Untersuchungen über den Mechanismus
der Schleuderbewegung der
Sojabohnen-Hülse**

Mit 11 Textabbildungen und 18 Tabellen

Von

M. MONSI

From **JAPANESE JOURNAL OF BOTANY**

Vol. XII: 437-474

TOKYO

1943

Untersuchungen über den Mechanismus der Schleuderbewegung der Sojabohnen-Hülse

Von Masami MONSI

Mit 11 Textabbildungen und 18 Tabellen

(Eingegangen am 12. Oktober 1942)

Daß die meisten reifen Papilionaceen-Hülsen krachen, wenn sie stark ausgetrocknet werden, und darauf das schraubenförmige Tordieren der zwei abgespaltenen Tochterklappen durch weitere Trocknung erfolgt, ist seit alters her eine der für den Menschen vertrautesten Erscheinungen. Daher haben eine Anzahl von Autoren, besonders KRAUS (1866), HILDEBRAND (1873), STEINBRINCK (1878, 1883, 1891, 1906, 1913), ZIMMERMANN (1881) u.a. schon sehr früh über den Mechanismus untersucht, und wir können schöne zusammengefaßte Erörterungen in den Werken von BENECKE-JOST (1923), HABERLANDT (1924) und v. GUTTENBERG (1926) oder BÜNNING (1939) lesen. Aber die Untersuchungen pflegten fast stets nur anatomisch oder in sog. „physiologisch-anatomisch“, ohne gründliche physikalisch-physiologische Betrachtungen ausgeführt zu werden. Nach den oben erwähnten Untersuchungen ist es jedoch heutzutage ganz klar, daß die Hauptursache des Aufspringens die durch die Schrumpfung des harten Innengewebes hervorgerufene Spannung der Hülse ist, und daß die schiefe Richtung der Gewebeelemente zur Hülsenachse die Schraubenform der Hülse bestimmt. Aber über den Wassergehalt beim Aufspringen, das Schrumpfungsvermögen der wirksamen Gewebe, und auch über die Festigkeit oder Elastizität derselben können wir noch jetzt fast nichts Genaues sagen.

In der vorliegenden Arbeit untersuchte ich mit der Hülse der Sojabohne, *Glycine Max* MERRILL, zuerst über den anatomischen Bau und die submikroskopische Struktur, dann über die hygroskopischen Eigenschaften, das Schrumpfungsvermögen und auch die Elastizität, um diese Anhaltspunkte etwas klar zu machen.

I. Mikroskopische und submikroskopische Struktur der Sojabohnen-Hülse

1. Mikroskopische Untersuchungen

Die bedienten Sojabohnen-Hülsen waren etwa 3–4 cm lang und 1 cm breit und enthielten gewöhnlich 2 oder 3 Bohnen. Die äußere Fläche ist

mit dichten, 1 mm oder längeren, einzellularen Haaren bedeckt. Im grünen jungen Zustand können wir auch Spaltöffnungen darauf sehen.

Die anatomische Struktur der Papilionaceen-Hülse ist seit früher verschiedentlich untersucht worden (hierüber vgl. HABERLANDT 1924 u. v. GUTTENBERG 1926), und sie ist durch eine innere Hartschicht oder das sog. „Bewegungsgewebe“ charakterisiert, dessen faserartige Zellen, mit weißer verholzter Dickenwand, sich schief zur Hülsenachse reihen. Dieses Gewebe kommt an fast allen Arten vor, aber seine Entwicklung ist manchmal an einigen Arten, z.B. *Vicia Faba*, zu schwach, um die Hülse zum Aufspringen zu bringen. Noch ein anderes mechanisches Gewebe, das sog. „Widerstandsgewebe“, finden wir im Außenteil der Hülse epidermal oder subepidermal, jedoch ist dessen feiner Bau von Art zu Art von einander verschieden. Darüber wolle ich hier wie unten tabellarisch zusammenfassen.

TABELLE 1. Zusammenfassung der anatomischen Beschaffenheiten der Papilionaceen-Hülsen.

Differenzierung der Hülsengewebe	Arten	Autoren
A. Ohne Bewegungsgewebe	<i>Arachis hypogaea</i>	MONSI
B. I. Einfaches System (Ohne Widerstandsgewebe)	<i>Lupinus luteus</i>	SCHOENICHEN (1924)
II. Doppeltes System	{ <i>Lathyrus latifolius</i>	HABERLANDT (1924)
1. Einschichtiges Widerstandsgewebe	{ <i>L. (Orobus) vernus</i>	ZIMMERMANN (1881)
	{ <i>Lotus corniculatus</i>	TAKAHASI (1936)
a. Epidermal	{ <i>Pisum sativum</i>	KRAUS (1866) MONSI
	{ <i>Vicia Orobus</i>	KRAUS (1866)
	{ <i>V. sativa</i>	MONSI
b. Subepidermal	{ <i>Glycine Max</i>	MONSI
	{ <i>Phaseolus vulgaris</i>	KRAUS (1866)
2. Mehrschichtiges Widerstandsgewebe	<i>Caragana arborescens</i>	ZIMMERMANN (1881) BRAUNER (1932)
III. Tripliertes System	<i>Wistaria floribunda</i>	TERADA, HIRATA u. UTIGASAKI (1933) MONSI

Das Widerstandsgewebe (W) der Sojabohnen-Hülse entsteht aus einer Schicht von prosenchymatischen Zellen, die unmittelbar unter den kleinen isotropen Epidermiszellen (E_a) liegen. Die Zellen reihen sich schief zur Hülsenachse in einem Winkel von $+41^\circ$. Mikrochemisch reagiert die Zellmembran wie schon von ZIMMERMANN (1881) beschrieben als Zellulose. Sie ist polarisationsoptisch positiv; es bedeutet, daß die meisten Zellulose-Mizellen in der Zellwand im wesentlichen parallel zur Längsachse oder axial sich anordnen. Die Membran zeigt im Querschnitt

auch schwache Anisotropie: die Subtraktionsfarbe kommt in der Richtung der Z'-Achse des Gipsplättchens vor (vgl. FREY-WYSSLING 1935, Abb. 20, I, b. oder faserähnliche Struktur).

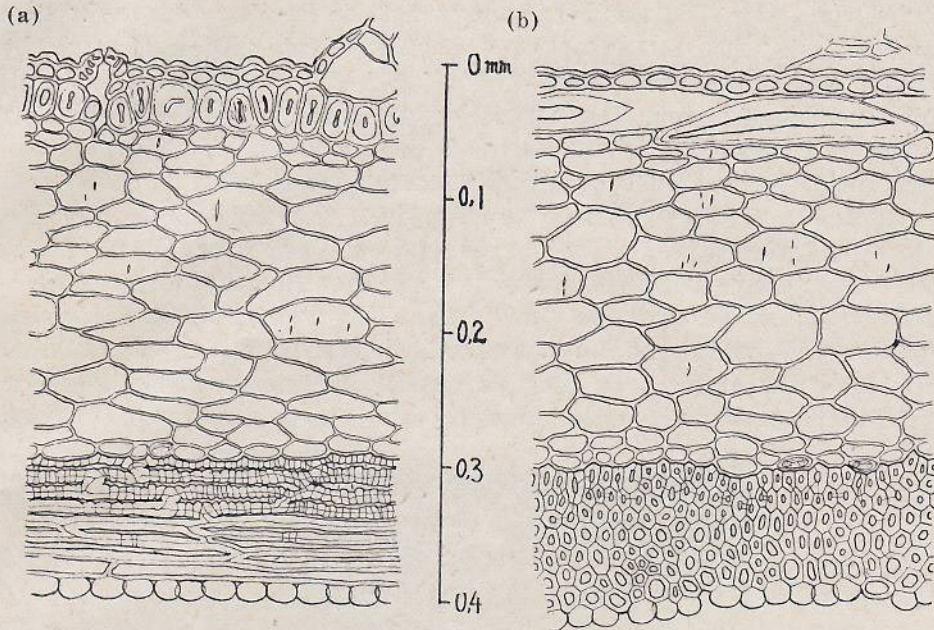


Abb. 1. Querschnitt der Hülse (etwas jung) von *Glycine Max.* (a) B//, (b) W//.

Dicht unter dem W liegt ein Parenchym(P), das aus etwa 10 Schichten gelb-braunen Zellen entsteht. Die Zellform ist keine völlige Kugel, sondern ein Ellipsoid, dessen Längsachse sich senkrecht zur Hülsenachse richtet. Die Zellwand ist optisch nicht ganz statisch isotrop, sondern negativ, jedoch die Interferenzfarbe verhältnismäßig schwach. Danach ist es ohne weiteres ausgeschlossen, daß die Hauptrichtung der mizellaren Anordnung in der Zellwand als das Ganze quer zur Zellenlängsachse sein muß. Die spaltenförmigen Tüpfel, deren Richtung den Verlauf der Mizellarreihen andeutet (HABERLANDT, 1924, S. 514), sind quer zur Längsachse gerichtet.

TABELLE 2. Fasser- und Zellenrichtung in der Sojabohnen-Hülse.

Hülse	W zur Hülsenachse	P zur Hülsenachse	B zur Hülsenachse	Winkel zwischen W und B
1	+40°	-90°	-52°	92°
2	+36°	-92°	-58°	94°
3	+44°	-90°	-58°	102°
4	+43°	-89°	-55°	98°
5	+42°	-91°	-54°	96°
Im Mittel	+41°	-90°	-55°	96°

Die Hartschicht oder das Bewegungsgewebe (B) der *Glycine*-Hülse besteht aus 5–8 parallelfaserigen Zellschichten. Die Zellen laufen fast quer zum W (durchschnittlich 96°), oder schief zur Hülsenachse in einem Winkel von -55° . Die weiße Zellwand zeigt die Reaktion der verholzten Membran, wie schon ZIMMERMANN (1881) berichtete. Diese Hartschicht wird polarisationsoptisch leicht in zwei Schichten unterschieden (vgl. Abb. 2). Die äußeren, das Parenchym berührenden 1–3 Zellschichten sind optisch negativ, die inneren 3–5 dagegen positiv. Diese Unterscheidung ist schon früher von STEINBRINCK (ausführlich in 1913) und ZIMMERMANN (1881) gemacht worden, d.h. die äußeren weisen die „Flach- oder Querstruktur“ mit annähernd quer gelagerten Tüpfeln auf, aber die inneren die „Steilstruktur“ (nach HABERLANDT) oder „Längsstruktur“ (nach GUTTENBERG) mit längs oder steil-schräg verlaufenden Tüpfeln. Die optische Anisotropie der Zellwand ist in der Querschnittsansicht an der ersteren stärker als an der letzteren, welche in dieser Ansicht bisweilen ganz optisch isotrop ist. An beiden kommt wie an

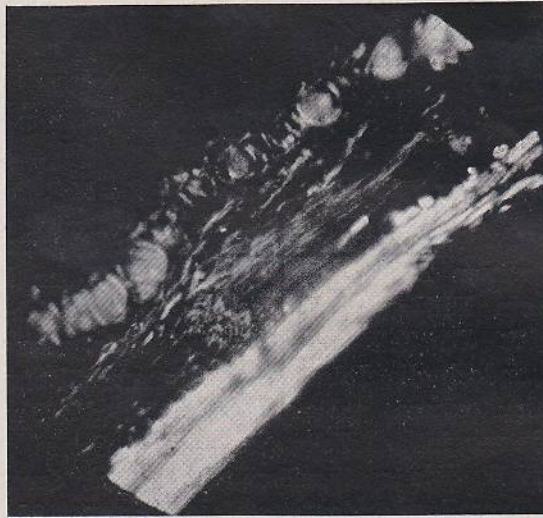


Abb. 2. B//-Querschnitt der *Glycine*-Hülse, zwischen gekreuzten Nikol. Der Unterschied von B_Q (ziemlich hell) und B_L (am hellsten) ist deutlich.

den Widerstandszellen auch in der Richtung der Z'-Achse des Gipsplättchens die Subtraktionsfarbe vor. Diese optischen Eigenschaften deuten es an, daß sich die Zellulose-Milzellen in der Querstruktur-Schicht (B_Q) tangential [vgl. FREY-WYSSLING 1935, Abb. 20. II. b (oder c) oder Röhrenstruktur] anordnen, aber bei der Längsstruktur-Schicht (B_L) axial (a.a.O. I.a. oder b, oder Faserstruktur oder faserähnliche Struktur). Die innere Epidermis (E_i) besteht aus einer Schicht von dünnwandigen, kugeligen Zellen, und es scheint, daß sie bei der Quellungsbewegung keine

Rolle zuspielden vermag. Das Klappengewebe (K), besonders das wassergetränkte, kann in zwei Schichten, d.h. die Außenschicht ($A=E_n+W+P$) und die Innenschicht ($I=B+E_i$) nicht so schwer abge sondert werden.

An der Bauchnaht (N_B) und Rückennaht (N_R) laufen je zwei Gefäßbündel parallel, wie an *Lupinus* von HILDEBRAND (1878) bezeichnet. Am Phloem kommt je ein mechanisches Gewebe oder Bastfaserbündel vor. Zwischen die nebeneinander laufenden mechanischen Gewebe tritt ein parenchymatisches Trennungsgewebe hinein. An der Bauchnaht entwickelt sich sowohl jenes, als auch dieses, besser als an der Rückennaht. Die Wand der betreffenden Bastfaser ist optisch positiv, daher müßten sich die Zellulose-Mizellen im großen und ganzen axial anordnen (a.a.O. I. b).

Die Entwicklung von B_L und W kommt später als die von P und B_O , und besonders die Membranverdickung von W in der letzten Zeit der Bohnenreife vor. Im Hülsenparenchym von *Vicia sativa* befinden sich zahllose Stärkekörner, dabei bleibt die Zellwand der Epidermiszellen (=Widerstandsgewebe) noch dünn. Nach völliger Reife verschwinden die Stärkekörner völlig, trotzdem die Membran von W sich sehr dick entwickelt hat. Dasgleiche konnte ich auch bei *Glycine* und *Wistaria* beobachten, aber im *Glycine*-Fall sind keine Stärkekörner vorhanden. SCHNEIDER (1935) berichtete, daß das Trockengewicht der *Lathyrus silvester*-Hülse bei der Reife keine Gewichtsabnahme erleidet. Dies scheint die oben beschriebene Beobachtung sehr gut zu bestätigen. Die Richtungen von W und B sind schon in einem sehr frühen Entwicklungsstadium bestimmt. Ich konnte mit der sehr jungen, etwa 1,5 cm langen Hülse von *Glycine* die Kreuzung der Anlagezellen von W und B beobachten, die betreffs der Beschaffenheit der Zellwand noch in Parenchymzellen ganz unterschiedlos sind.

2. Versuche mit Röntgenstrahlen

Zur gründlichen Aufklärung der molekularen Strukturen werden heutzutage öfters Röntgenogramme angewandt. An Pflanzengeweben, besonders Fasern, können wir die mizellare Struktur der Zellwand nach dem eigentlichen Zellulosedigramm sehr leicht anerkennen. Das Faserstruktur-Diagramm wurde zuerst von NISHIKAWA und ONO im Jahre 1913 mit Hanffaser und Bambushalm aufgenommen. Die Benutzung von Röntgenstrahlen zur Untersuchung der mizellaren Struktur der Pailionaceen-Hülsen haben TERADA, HIRATA und UTIGASAKI (1933) bei *Wistaria* zuerst versucht.

Vergleichshalber nahm ich zuerst das Diagramm der Hanffaser auf, welches ganz identisch mit dem der Ramiefaser (vgl. FREY-WYSSLING 1935 Abb. 2, c) ist, oder es ist dasselbe für die Zellulosefaser eigentümliche

Faser- oder 4-Punkt-Diagramm. Die Basiszelle der Hanffaser-Zellulose wird aus dem Bild nach der BRAGGSchen Formel als ein Kubus von

$$a = 8,2 \text{ \AA} ,$$

$$b = 10,3 \text{ \AA} ,$$

$$c = 7,8 \text{ \AA} ,$$

$$\beta = 84^\circ ,$$

berechnet, und die Größe übereinstimmt sehr gut mit der von MEYER und MARK (zitiert von FREY-WYSSLING 1935) gewonnenen, d.h. $a=8,3\text{\AA}$, $b=10,3\text{\AA}$, $c=7,9\text{\AA}$ und $\beta=84^\circ$.

Das 4-Punkt-Diagramm wird in den Fällen aufgenommen, wo alle Zellulose-Mizellen sich streng zu einer bestimmten Richtung, meistens parallel zur Zellenlängsachse (Faserstruktur) anordnen. Die Punkte stellen sich in einer zur Mizellarreihe senkrechten Linie auf. Wenn die Richtung der Mizellen ganz regellos ist, so wird ein Ringdiagramm aufgenommen. Bei der mäßigen mizellaren Zerstreung haben wir weit dispergierte 4-Punkte oder 4-Flecke, deren Breite das Zerstreuen der Mizellen bedeutet. In einigen Fällen kommt die 4-Punkt-Reihe in der gleichen Richtung mit der Zellenachse vor. Es bedeutet, daß die Mizellen hauptsächlich zur Zellwand quer sich reihen, mit anderen Worten die Wand die „Querstruktur“ hat. Bisweilen ist die mizellare Anordnung schief in der Zellwand, oder die Zellwand zeigt Schraubenstruktur (z.B. bei Baumwollen, Koniferentracheiden und Palmfasern; vgl. FREY-WYSSLING 1935). So richten sich auch die 4-Punkte zur Zellenachse schief, und dabei pflegen sich symmetrisch noch eine oder mehrere 4-Punkt-Reihen darauf zu verdoppeln. Ein schönes Diagramm können wir mit dem Bastfaserbündel des Blattstiels von *Trachycarpus excelsus* („Syuro“-Faser), eine Art von Palmfasern aufnehmen, das in Abb. 3 (2) gezeigt wird.

Es dürfte nicht ganz zwecklos sein, die Versuchsergebnisse von TERADA, HIRATA und UTIGASAKI mit der *Wistaria*-Hülse im folgenden einmal kurz zu beschreiben, um sie mit dem Röntgendiagramm von *Glycine* zu vergleichen. Das Widerstandsgewebe von *Wistaria* besteht aus zwei mit einander fast senkrecht gekreuzten Schichten. Die braune hypodermale Schicht (W_1) entspricht dem W von *Glycine*, jedoch ist jene mehrschichtig. Die Zellwand zeigt die Reaktion der Zellulose und ist optisch positiv. Das Röntgendiagramm des W_1 ist ein ziemlich scharfes 4-Punkt-Diagramm, oder es bedeutet, daß die Zellen die Faserstruktur haben. Aber die weiße verholzte innere Schicht (W_2) besteht aus den mit quer gelagerten Tüpfeln charakterisierten, verhältnismäßig kurzen Zellen. Sie scheint ihren Ursprung in den Bastfasern zu nehmen, oder sie

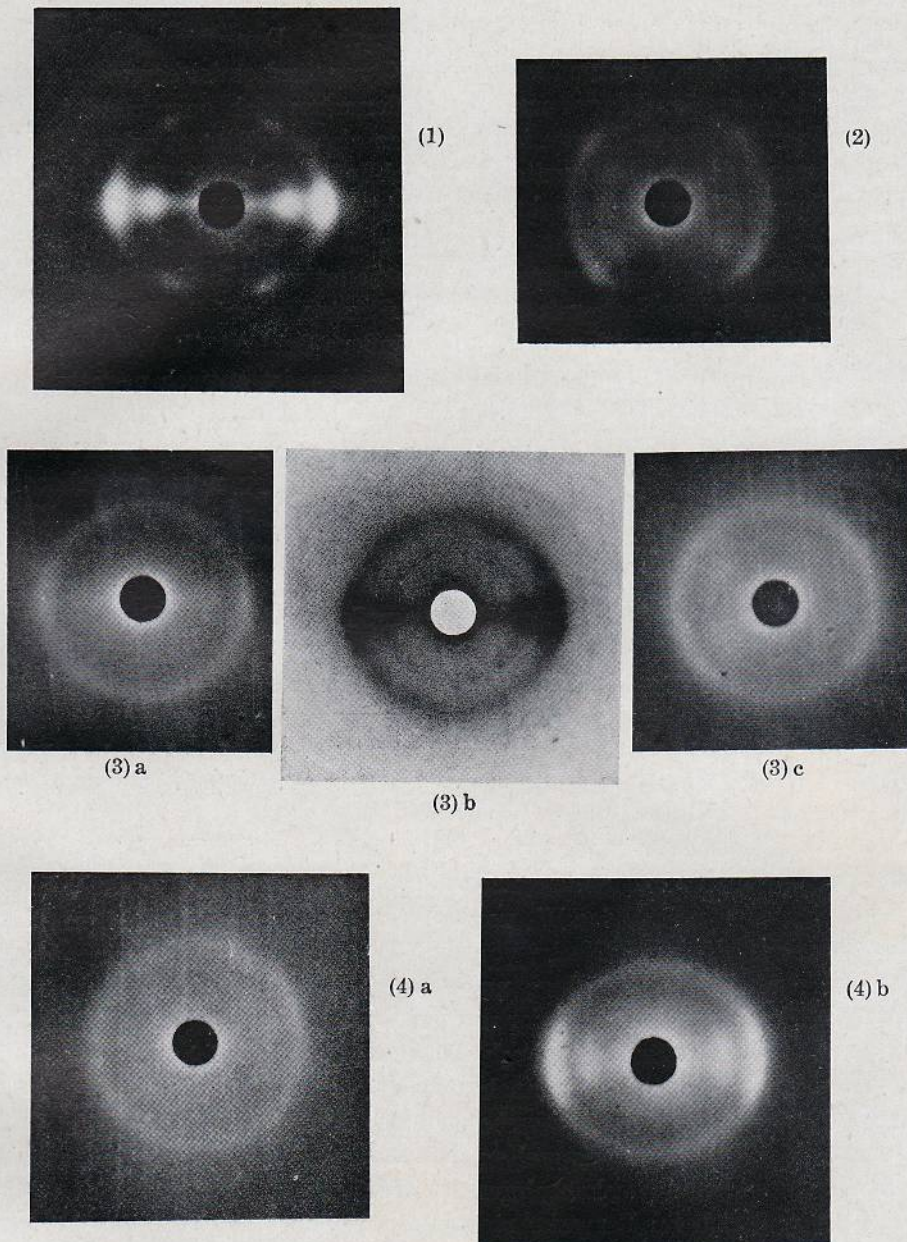


Abb. 3. Röntgendiagramme. (1) Hanffaser. (2) *Trachycarpus*-Faser. (3) *Glycine*-Hülse, a. Außenschicht, b. Bewegungsgewebe, c. Bastfaser der Bauchnaht. (4) *Wistaria*-Hülse, a. B_Q, b. B_L.

entspricht vielmehr dem mechanischen Gewebe der Nähte im Fall von Sojabohnen. Die Wand ist optisch negativ. Das Röntgendiagramm kommt mit W_2 nicht so scharf wie beim W_1 vor, und es ist bemerkenswert, daß die Richtung des Diagramms zur Zellenachse sich quer richtet. Mit wiederholtem Versuche konnte ich ein ganz gleiches Bild annehmen. Aus diesen Versuchen ist ohne weiteres zu schließen, daß die Hauptrichtung der Mizellen in W_2 zur Zellenachse senkrecht ist. Innerhalb des W_2 kommt eine dicke Parenchymschicht vor, deren Zellen wie an *Glycine* zur Hülsenachse quer sich reihen, und optisch negativ sind. Das Bewegungsgewebe ist ganz identisch mit dem von *Glycine*, aber die Dicke beträgt bisweilen bis zu 0,8 mm oder mehr. Die äußere Schicht (B_Q), an der quer gerichtete Tüpfel sehr deutlich gefunden werden, ist optisch negativ, aber die innere, Längsstruktur habende (B_L) optisch positiv. An dem Röntgendiagramm des ganzen Bewegungsgewebes können wir sehr starke 4-Flecke und einen Ring sehen, dessen Durchmesser mit dem Abstände der äußeren Flecke identisch ist.

An *Glycine* versuchte ich mit der abgesonderten Außen- und Innenschicht. Aber eine Schicht allein ist zu dünn, um das Röntgendiagramm deutlich aufzunehmen, so setzte ich in vertikaler Richtung drei bis fünf Gewebestückchen aufeinander, die parallel zu den Widerstands- bzw. Bewegungszellen abgeschnitten sind. Der Abstand zwischen dem Versuchsmaterial und der Röntgen-Filmfläche war 3,35 cm; freilich wurde er mit der Dicke des Materials korrigiert. Die charakteristischen Röntgenstrahlen von Cu. $K\alpha$ ($\lambda=1,539\text{\AA}$) wurden im vorliegenden Versuche gebraucht.

Das Röntgendiagramm der Außenschicht von *Glycine* ist ein Ring mit zwei horizontal reihenden Schwarzflecken [s. Abb. 3 (3)a]. Vergleicht man es mit dem des W_1 von *Wistaria*, so ist es mit Sicherheit zu behaupten, daß die zwei Flecke von dem W selbst hervorkommen, jedoch sehr hell sind, weil die Zellige nur eine Schicht ist. D.h. die Mizellen reihen sich im W, wie polarisationsoptisch bestellt, parallel zur Zellenachse oder axial. Der Ring dürfte durch die Reflektion der nicht so regelmäßig angeordneten Mizellen der Parenchymzellen verursacht sein.

Durch das Bewegungsgewebe wurde ein Röntgendiagramm aufgenommen, welches mit doppelten Ringen und mit einer horizontalen Reihe von dunklen 4-Flecken charakterisiert ist [s. Abb. 3 (3)b]. Dies deutet an, daß sich im B zwei Arten von Mizellarreihen befinden können, von denen die eine ziemlich streng axial, die andere vielmehr tangential ist. Der Innenring, der aus zahlreichen kleinen Strichen zusammengesetzt ist, scheint aber nicht von Zellulose-Molekulan verursacht zu sein, sondern er hat seinen Ursprung in den Kalziumoxisalat-Kristalliten, die an der Außenseite des Bewegungsgewebes festkleben.

Das Bewegungsgewebe können wir, wie schon beschrieben, polarisa-

tionsoptisch sehr deutlich in zwei Schichten, B_Q und B_L , unterscheiden. Um das durch den Versuch mit Röntgenstrahlen zu bestätigen, benutzte ich das isolierte B_Q und B_L von *Wistaria*, weil das Bewegungsgewebe von *Glycine* selbst so dünn ist, daß es in B_Q und B_L sehr schwer abge sondert wird. Das B_Q gibt ein Ring-Diagramm, das an seiner horizontalen Richtung unbedeutend dunkler als an der vertikalen ist [S. Abb. 3 (4) a]. Durch B_L kommt eine horizontale Reihe von 4-Flecken allein vor, die mit derselben im Diagramm von TERADA, HIRATA und UTIGASAKI ganz identisch ist. Beide Diagramme zeigen uns, daß sich die Mizellen im B_Q regellos, aber im B_L ausschließlich axial anordnen.

Am Prosenchym der Bauch- und Rückennaht nehmen wir ein Ring-Diagramm auf. Aber die 4-Punkt-Reihe dürfte sich nicht gerade horizontal richten, sondern das Bild dürfte im Vergleich zum Schrauben-Diagramm von *Trachycarpus* [Abb. 3(2)] und von *Chamaecyparis pisifera*-Holz aus symmetrisch voneinander gekreuzten doppelten 4-Punkt-Diagramme entstanden sein. Der mizellare Steigungswinkel dieser drei Bastfaserbündel und der Tracheiden von *Chamaecyparis* ist einander fast gleich wie aus Tab. 3 ersichtlich. Noch in derselben Tabelle finden wir die molekularen Flächenabstände, die für jedes Röntgendiagramm in Abb. 3 nach der BRAGGSchen Formel berechnet werden. Die Abstände sind ganz übereinstimmend.

TABELLE 3. Die molekularen Flächenabstände der Zellulosemizellen.

Arten	Gewebe	(002) Å	(10 $\bar{1}$) Å	(101) Å	(110) Å	(021) Å	Steigungs- winkel
<i>Cannabis</i>	Bastfaser	3,9	5,4	6,0	6,4	4,3	—
			(5,6)				
<i>Glycine</i>	W	3,9					—
	B	3,9		5,6			—
	N _B	3,9		5,6			39°
	N _R	3,9		5,6			37°
<i>Wistaria</i>	B _Q	3,9					—
	B _L	3,9		5,6			—
<i>Trachycarpus</i>	Bastfaser	3,9		5,6			40°
<i>Chamaecyparis</i>	Holz	3,9		5,6			32°

II. Aufspringen der Hülse und darauf folgende Torsion der Klappen

1. Tagesschwankungen des Wassergehaltes der Hülse und Klappen

Um den Tagesverlauf des Wassergehaltes klar zu machen, bestimmte ich mit Hilfe einer Torsionswaage die Gewichtsveränderung der Hülsen

und der schon aufgesprungenen, Bohnen ausgeschleuderten Klappen, wobei ich freilich die Feuchtigkeit der umgebenden Luft berücksichtigte. Am Ende des Versuches wurden die Materialien in etwa 20 Stunden bei 110°C getrocknet, um sie völlig wasserfrei zu machen. Der Wassergehalt (\mathfrak{B}) wird stets in der Arbeit in Prozentzahl pro Trockengewicht (\mathfrak{Z}) bezeichnet.

TABELLE 4. Tagesverlauf des Wassergehaltes der Hülsen und Klappen von *Glycine*.
(Im Sonnenlicht, im Gewächshause—am 13.–16. Okt. 1941)

Uhr	Wetter	t °C	S-D mm Hg	\mathfrak{B}_H								\mathfrak{B}_H^7	\mathfrak{B}_K^5	
				1	2	3	4	5	6	7	8			
13.	13	trüb	21,9	5,1	15,5	15,2	14,5	14,5	14,0	14,2	—	14,7	14,6	24,4
	17	"	20,0	3,3	15,3	15,2	14,6	14,7	14,1	14,3	—	14,7	14,7	24,6
14.	9	trüb	21,3	5,2	15,9	16,3	15,4	15,8	14,4	15,0	—	15,6	15,5	22,7
	11	"	21,7	7,2	15,1	15,4	14,7	14,7	13,2	14,0	—	14,7	14,5	20,2
	13	"	20,3	6,4	15,0	15,0	14,7	14,4	13,3	13,7	—	14,5	14,4	21,0
	15	"	21,7	8,3	14,7	14,8	14,3	13,8	13,0	13,6	—	14,1	14,0	20,0
	17	"	18,6	5,3	14,9	14,9	14,5	14,1	13,5	13,7	—	14,3	14,3	21,4
	21	"	15,5	1,9	15,8	16,0	15,3	15,3	14,6	14,8	—	15,4	15,3	25,9
15.	9	klar	22,3	8,5	15,2	15,4	14,7	14,4	13,2	13,7	—	14,5	14,4	17,0
	11	"	25,4	14,3	12,7	12,2	12,1	11,4	10,3	11,2	11,0	10,9	11,5	13,1
	13	"	24,1	13,0	11,2	10,0	10,6	9,8	8,3	9,8	8,9	9,9	9,9	13,2
	15	"	21,0	9,9	11,4	10,1	10,6	10,0	9,0	10,0	9,8	10,1	10,2	15,4
	17	bewölkt	19,4	7,1	11,7	11,0	11,0	10,5	9,7	10,4	11,0	10,6	10,7	17,7
	19	"	18,6	6,0	12,3	11,7	11,5	10,9	10,4	10,9	12,0	11,6	11,3	19,6
	21	"	17,7	4,4	12,7	12,0	11,7	11,1	10,7	11,2	12,5	11,8	11,6	20,9
		nachts geregnet												
16.	8	sehr klar	19,3	7,0	13,2	12,5	12,4	11,8	10,9	11,7	12,6	12,3	12,1	18,4
	10	"	23,1	12,7	11,4	9,5	10,7	9,7	8,1	9,9	9,2	10,4	10,0	13,7
	11	"	25,1	13,7	10,6	8,8	10,0	9,4	7,7	9,0	8,5	9,1	9,2	12,6
	12	"	25,4	14,7	10,0	8,2	8,9	8,7	7,0	8,0	7,2	8,4	8,5	12,0
	13	"	24,7	14,4	9,9	8,1	8,4	8,1	6,8	7,6	6,8	7,8	8,1	11,9
	15	"	23,7	12,6	10,2	8,6	8,8	8,4	7,5	8,3	8,0	8,5	8,6	13,6
	17	"	19,0	7,7	10,3	9,2	9,6	8,6	8,1	8,9	9,1	9,1	9,1	15,6
	19	"	17,0	5,1	11,0	10,1	9,8	9,1	8,9	9,5	10,3	10,0	9,8	18,4
	21	"	14,5	2,4	11,5	10,3	10,9	9,6	9,4	10,5	11,0	10,9	10,4	22,0
				\mathfrak{Z} mg	391,4	498,1	472,5	355,9	318,2	366,7	—	413,7	402,4	94,7
					1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)		
					13 ⁴⁵	11 ⁵⁰	11 ⁰⁰	12 ⁰⁰	11 ²⁰	9 ³⁵	10 ⁵⁰	11 ²⁵		
					Ausgeschleuderte									
					Bohnenzahl									
					2/2	2/2	2/2	1/2	1/2	2/2	1/3	2/3		
					\mathfrak{B} Aufspringen									
					9,9	11,0	10,0	8,7	10,0	10,4	11,8	9,0		

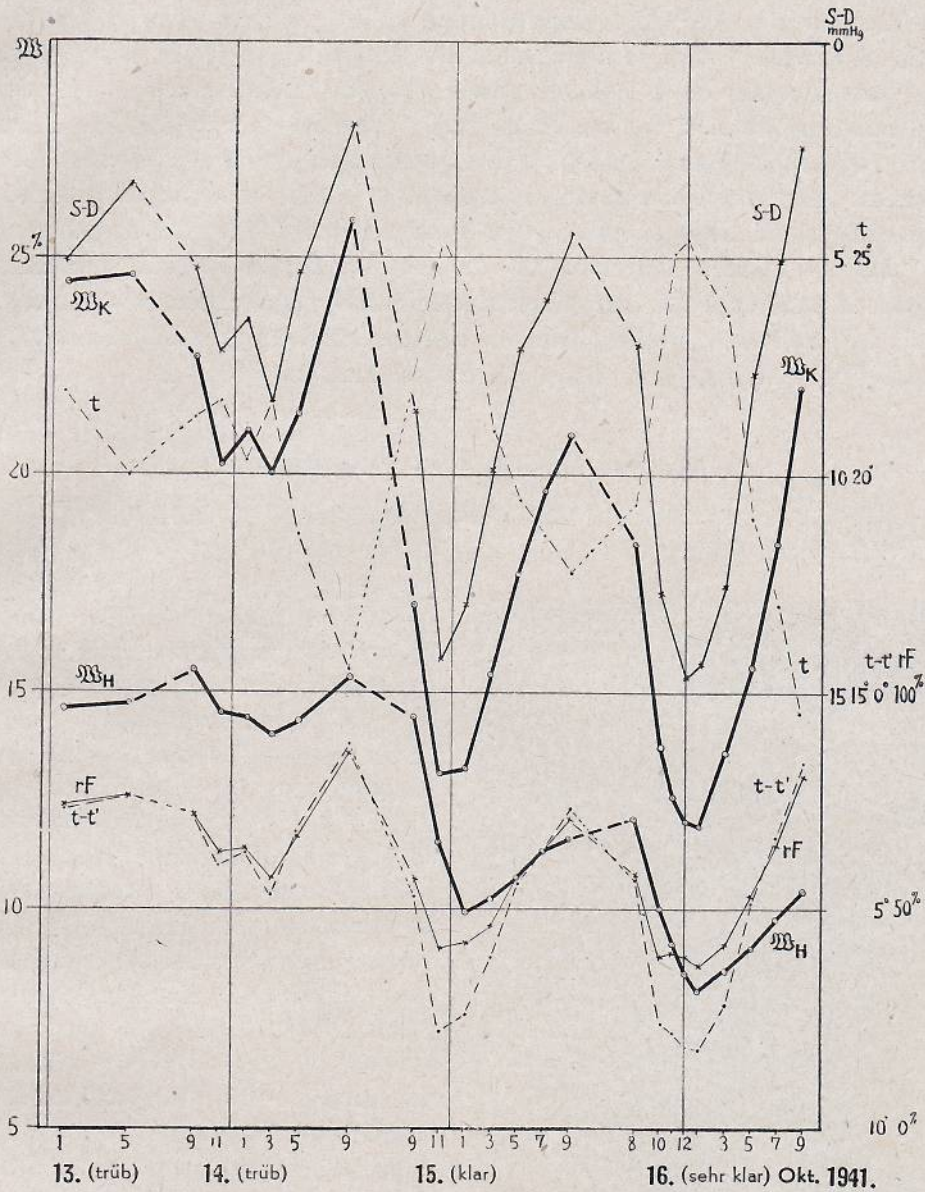


Abb. 4. Tagesverlauf des Wassergehaltes der *Glycine*-Hülsen und Klappen. W_K = Wassergehalt der Klappen, W_H = Wassergehalt der Hülsen, t = Lufttemperatur, S-D = Sättigungsdefizit (mmHg), rF = relative Luftfeuchtigkeit, t-t' = Psychrometer-Differenz.

Über das Problem versuchte ich am 13.—16. Okt. mit acht unverletzten Hülsen und fünf Paar Klappen im direkten Sonnenlicht im Gewächshause. Die Versuchsergebnisse können wir aus Tab. 4 und aus Abb. 4 ersehen. Der Wassergehalt der Klappen (\mathfrak{W}_K) ist stets höher als derselbe der noch Bohnen einschließenden Hülse (\mathfrak{W}_H); d.h. der Schwankungsbereich von \mathfrak{W}_K ist 25–12%, aber der von \mathfrak{W}_H 15–8%. Aber der Tagesverlauf der beiden Werte, besonders der von \mathfrak{W}_K , ist fast parallel zur Luftfeuchtigkeitsveränderung. Früh am Morgen erhalten die Hülsen und Klappen Wasser im Maximum: nach dem Sonnenaufgang werden sie schnell trockner, da die Luftfeuchtigkeit rasch abnimmt. Gegen Mittag oder 13 Uhr pflegt der minimale Wassergehalt vorzukommen. Gemäß der wiederkehrenden Luftfeuchtigkeitszunahme am Nachmittag nehmen \mathfrak{W}_H und \mathfrak{W}_K noch einmal zu.

2. Wassergehalt beim Aufspringen

Die Hülsen krachen im allgemeinen von 11–12 Uhr vormittags, doch bisweilen noch früher (9³⁵) oder noch später (13⁴⁵) (vgl. Tab. 4). D.h. das Aufspringen geschieht bei der schnellen Abnahme von \mathfrak{W}_H . Dabei kommt stets zuerst ein Spalt in der Bauchnaht vor; bald dehnt er sich bis zur Rückennaht aus. Dann öffnen sich rasch die gespaltenen Klappen an der Bauchnaht (s. Abb. 5). Infolgedessen werden die an der Bauchnaht haftenden Bohnen nach außen, streng nach der rechten und linken Seite der Hülse, mit einer starken Kraft ausgeschleudert. Hierüber untersuchten TERADA, HIRATA und UTIGASAKI an den *Wistaria*-Hülsen statistisch. Die Tragweite der Sojabohnen beträgt etwa 1 m, öfters auch mehr. Aber bisweilen bleiben die oberen Bohnen nach dem Krachen noch an der Plazenta haftend, so werden durchschnittlich etwa zwei drittel der Bohnen (13/18 nach Tab. 4) ausgeworfen.

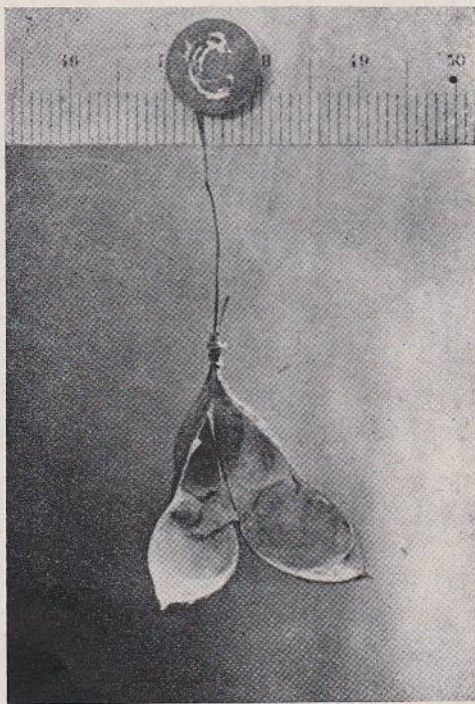


Abb. 5. *Glycine*-Hülse. Bald (nach 20 Sekunden) nach dem Aufspringen. Die zwei Bohnen wurden ausgeschleudert.

Der Hülsenwassergehalt beim

Über das Problem versuchte ich am 13.—16. Okt. mit acht unverletzten Hülsen und fünf Paar Klappen im direkten Sonnenlicht im Gewächshause. Die Versuchsergebnisse können wir aus Tab. 4 und aus Abb. 4 ersehen. Der Wassergehalt der Klappen (\mathfrak{W}_K) ist stets höher als derselbe der noch Bohnen einschließenden Hülse (\mathfrak{W}_H); d.h. der Schwankungsbereich von \mathfrak{W}_K ist 25–12%, aber der von \mathfrak{W}_H 15–8%. Aber der Tagesverlauf der beiden Werte, besonders der von \mathfrak{W}_K , ist fast parallel zur Luftfeuchtigkeitsveränderung. Früh am Morgen erhalten die Hülsen und Klappen Wasser im Maximum: nach dem Sonnenaufgang werden sie schnell trockner, da die Luftfeuchtigkeit rasch abnimmt. Gegen Mittag oder 13 Uhr pflügt der minimale Wassergehalt vorzukommen. Gemäß der wiederkehrenden Luftfeuchtigkeitszunahme am Nachmittag nehmen \mathfrak{W}_H und \mathfrak{W}_K noch einmal zu.

2. Wassergehalt beim Aufspringen

Die Hülsen krachen im allgemeinen von 11–12 Uhr vormittags, doch bisweilen noch früher (9³⁵) oder noch später (13⁴⁵) (vgl. Tab. 4). D.h. das Aufspringen geschieht bei der schnellen Abnahme von \mathfrak{W}_H . Dabei kommt stets zuerst ein Spalt in der Bauchnaht vor; bald dehnt er sich bis zur Rückennaht aus. Dann öffnen sich rasch die gespaltenen Klappen an der Bauchnaht (s. Abb. 5). Infolgedessen werden die an der Bauchnaht haftenden Bohnen nach außen, streng nach der rechten und linken Seite der Hülse, mit einer starken Kraft ausgeschleudert. Hierüber untersuchten TERADA, HIRATA und UTIGASAKI an den *Wistaria*-Hülsen statistisch. Die Tragweite der Sojabohnen beträgt etwa 1 m, öfters auch mehr. Aber bisweilen bleiben die oberen Bohnen nach dem Krachen noch an der Plazenta haftend, so werden durchschnittlich etwa zwei drittel der Bohnen (13/18 nach Tab. 4) ausgeworfen.

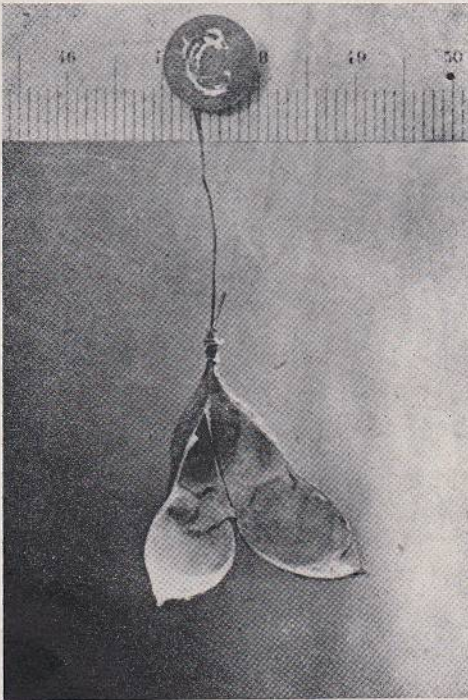


Abb. 5. *Glycine*-Hülse. Bald (nach 20 Sekunden) nach dem Aufspringen. Die zwei Bohnen wurden ausgeschleudert.

Der Hülsenwassergehalt beim

Aufspringen betrug sowohl an den in direktem Sonnenlichte getrockneten, als auch an den im CaCl_2 -Exsikkator getrockneten ca. 10%, wie es unten ersichtlich ist.

		\mathfrak{W}_H beim Aufspringen						
Am	3.-16. Okt.	9,9	8,9	9,8				
	15.-16. "	9,9	11,0	10,0	8,7	10,0	10,4	11,8
	23. "	10,4	10,5	10,2	11,7			
	15.-16. "**	10,4	11,6	10,5	8,9	10,9	11,1	
Durchschnittlich		10,3%						

* in CaCl_2 -Exsikkator.

Dabei haben die Klappen und Bohnen beinahe dem gleichen Wassergehalt, jedoch pfllegt \mathfrak{W}_K etwas höher als $\mathfrak{W}_{\text{Bohnen}}$ zu sein.

TABELLE 5. \mathfrak{W} der Hülse und Klappen beim Aufspringen von *Glycine*.
(23. Okt. 1941)

		$\mathfrak{T}mg$	\mathfrak{W}		
			beim Aufspringen	minimal 29,0°, 21,2°	4 Tage in CaCl_2 -Exsikkator
A	{ Hülse	—	—	—	—
	{ Klappen	119,8	11,6	10,6	6,8
B	{ Hülse	353,8	10,4	9,7	6,1
	{ Klappen	82,6	12,6	11,4	6,9
C	{ Hülse	370,0	10,5	10,3	6,1
	{ Klappen	83,3	12,6	11,0	6,8
D	{ Hülse	425,8	10,2	9,7	5,9
	{ Klappen	124,5	9,8	9,3	5,5
E	{ Hülse	301,8	11,7	11,7	7,0
	{ Klappen	90,5	10,4	11,2	7,0

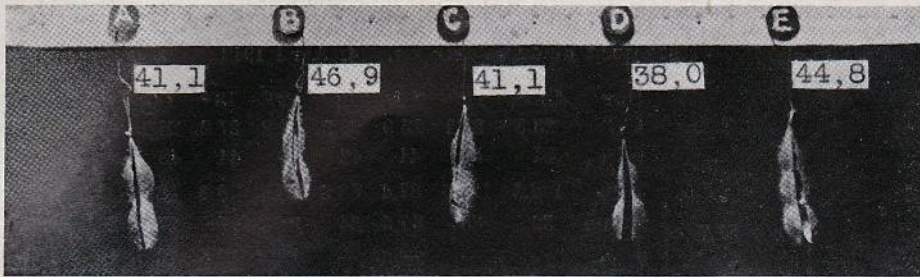
3. Hygroskopische Torsion und Wassergehalt der Klappen

Die Torsion der gesprengten Tochterklappen folgt öfters auf das Aufspringen der Hülse, aber sie geht so langsam und so schwach vor sich, daß in einem Fall die Klappen nach dem Aufspringen etwa 1 Stunde lang in einer und derselben Form trocken bleiben. Aber die nach dem Aufspringen noch einmal befeuchteten (wassergetränkten, oder in Feuchtkammer wassergesättigten) Klappen zeigen beim Austrocknen sehr starke Torsion. Die Klappen können mit 25% ig. \mathfrak{W} oder mehr schon in der gleichen Klappenöffnung sich öffnen, die bald nach dem Krachen die trocknen Klappen (\mathfrak{W} ca. 10%) hielt (vgl. Tab. 6 u. Abb. 6). Sinkt das \mathfrak{W} bis zu 10% oder minder, so rollen sich die Klappen zwar stäbchenförmig ein, und deren Enden öffnen sich nicht selten so weit, daß beide Tochterklappen in einer geraden Linie nebeneinander zu liegen kommen.

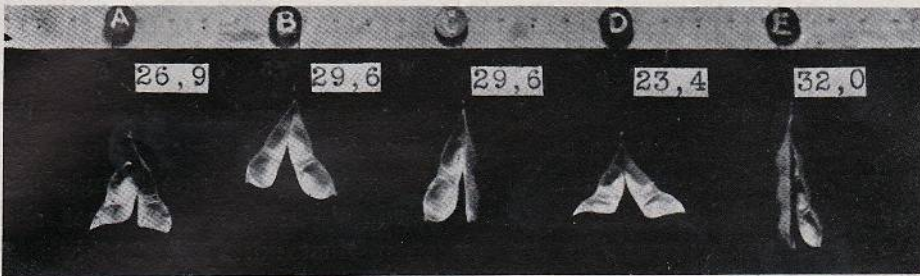
TABELLE 6. Krümmung der wassergesättigten *Glycine*-Klappen beim Austrocknen.
 W=Wassergehalt, L=Länge der Klappe, O=Öffnungsweite der Tochterklappen,
 p=Höhe des Schraubenganges, 2 φ =Durchmesser der Schraubentrommel.

(18-19. Okt. 1941)

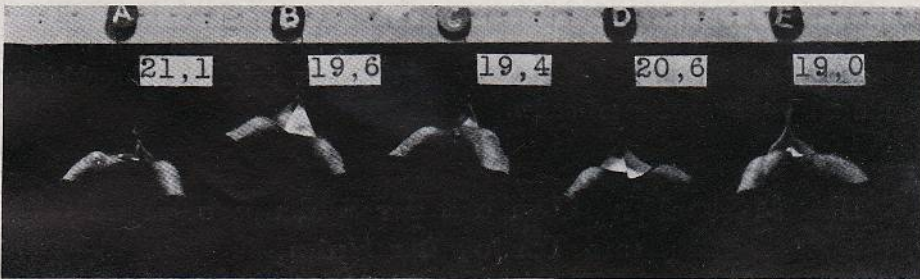
		(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
Uhr		18.11 ⁰⁰	12 ⁰⁰	12 ¹⁵	12 ³⁰	12 ⁴⁵	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	19.8 ³⁰	12 ³⁰	
t		20,5 ^o	21,5 ^o	21,5 ^o	21,5 ^o	21,6 ^o	21,5 ^o	21,3 ^o	19,5 ^o	20,5 ^o	
Σ mg		t'	18,0 ^o	18,2 ^o	18,1 ^o	18,2 ^o	18,3 ^o	18,0 ^o	15,5 ^o	14,8 ^o	
		1 Tage in Feucht- kammer	11 ⁴⁵ aus F-K.						15 ⁰⁰ in Exsik.	8 ³⁰ aus Exsik.	
A	90,6	W %	49,5	41,1	31,6	26,9	21,5	21,4	21,1	10,5	15,2
		L mm	35 35	[„ [„	[„ [„	[31 [32	[29 [29	[„ [„	[26 [28	[24 [25	[25 [„
		O „	-8	+2	11	23	36	38	41	45	46
		p „	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[23 [23	[21 [22	[18 [21	[8 [10	[11 [12
		2 φ „	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[8 [9	[„ [„	[7 [„	[4 [5	[5 [„
B	80,8	W %	55,2	46,9	39,4	29,6	22,5	19,9	19,6	10,0	14,7
		L mm	33 33	[„ [„	[„ [„	[32 [„	[28 [31	[27 [29	[26 [27	[24 [26	[26 [„
		O „	-2	+1	12	30	38	„	„	34	32
		p „	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[19 [-	[18 [24	[8 [12	[11 [16
		2 φ „	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[8 [„	[„ [9	[4 [6	[„ [7
C	118,3	W %	47,7	41,1	35,6	29,6	23,0	20,5	19,4	9,2	14,3
		L mm	39 39	[„ [„	[„ [„	[37 [38	[33 [37	[30 [34	[30 [32	[27 [27	[23 [28
		O „	-4	-2	+6	17	29	35	41	32	41
		p „	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[26 [-	[23 [28	[7 [8	[11 [9
		2 φ „	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[9 [-	[8 [9	[4 [5	[5 [6
D	75,2	W %	48,9	38,0	29,1	23,4	21,3	21,1	20,6	10,4	16,8
		L mm	32 32	[„ [„	[„ [„	[29 [29	[27 [25	[27 [25	[25 [24	[23 [22	[„ [23
		O „	-4	+7	25	36	39	40	„	44	„
		p „	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[24 [23	[7 [9	[11 [11
		2 φ „	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[9 [9	[4 [6	[5 [7
E	108,5	W %	52,9	44,8	38,5	32,0	25,4	21,6	19,0	8,2	12,8
		L mm	40 40	[„ [„	[„ [„	[„ [„	[37 [36	[35 [34	[34 [32	[27 [27	[29 [„
		O „	+4	„	6	11	18	32	42	47	46
		p „	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[30 [25	[8 [6	[12 [11
		2 φ „	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[- [-	[8 [8	[5 [5	[„ [6



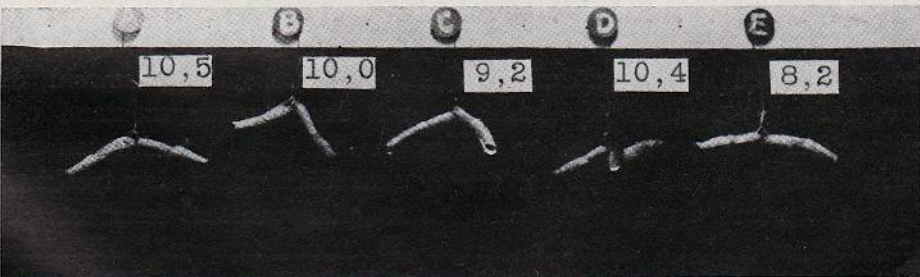
(1)



(3)



(6)



(7)

Abb. 6. Tordieren der *Glycine*-Klappen mit Austrocknung. Die Nummern entsprechen den in Tab. 6. Die Zahl bedeutet den Wassergehalt der Klappen.

TABELLE 7. Die Krümmung der Klappen von *Glycine*: Die rechte Klappe (r) wurde zwischen 9³⁰-10³⁰ Uhr in Wasser getränkt. Die linke (l) blieb die Versuchszeit hindurch trocken. (4. April 1942).

		Uhr	4,10 ³⁵	11 ⁰⁰	11 ³⁰	12 ⁰⁰	12 ³⁰	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	15 ¹⁵	6,15 ¹⁵	
		t°C	23,5°	24,1°	25,9°	26,3°	26,2°	27,2°	26,7°	110°	110°	
		rF%	51	50	44	42	46	44	48	—	—	
Klappen-III	r	51,7	Σ %	166,3	128,5	87,4	53,3	20,1	8,3	8,0	2,5	0
		L mm	36	36	35,5	34	31	27	27	26,5	26,5	
		p „	—	—	—	—	22	12,5	12	10	10	
		2ρ „	—	—	—	—	8	6	5	4	4	
		Σ %	12,7	—	12,3	11,1	9,7	8,4	7,9	1,6	0	
	l	53,1	L mm	34	33	31	30	29	29	27	26	
		p „	32	30	22	19	18	18	11	11		
		2ρ „	9	9	8	7,5	7	7	5	5		

Der Krümmungsunterschied der trocken bleibenden und der wieder befeuchteten Klappen kann noch deutlicher mit einer Untersuchung vorkommen, wobei die eine (rechts) der Tochterklappen eine Stunde lang in Wasser getaucht wurde, und dann wurde sie in Luft getrocknet, aber die andere (links) verblieb im trocknen Zustand. Mit 20%ig. Σ tordierte die erstere Klappe, die schon beim 50%ig. Σ zu krümmen begann, stärker als die trocken bleibende, deren Σ schon am Versuchsanfang bis 12,7% abgesunken war (Tab. 7). Die drei anderen versuchten Hülsen zeigten uns auch ganz denselben Krümmungsunterschied. Über die Ursache der Lücke des Krümmungsgrades der beiden Tochterklappen möchte ich noch später erörtern.

III. Mechanische Ursachen der Schleuderbewegung und Tortion der Hülse

1. Hygroskopische Eigenschaften und Evaporationsvermögen der Hülsengewebe

Die eine der größten Rolle für die Schleuderbewegung spielt die hygroskopischen Eigenschaften der Klappengewebe, weil sowohl die Schrumpfung, als auch die Elastizität, mit dem Quellungszustand weit sich verändern können, darüber ich in den nächsten Abschnitten ausführlich erörtern soll. Die Hygroskopizität beträgt an der trockenen Hülse zu einem sehr großen Wert, ist es ohne weiteres klar mit den Versuchsergebnissen von den täglichen Σ-Schwankungen. Die Hülse, die in der Luft von relativer Feuchtigkeit (rF) 40% ausgetrocknet wurde, erhielt noch 10%ig. Σ; anders gesagt kann die Hülse (Σ=10%) im Gleichgewicht mit der Luft von rF 40% stehen. Die Dampfdruckerniedrigung der verdünnten Lösung ist

$$\frac{p-p'}{p} = \frac{n}{N+n},$$

wo p den Dampfdruck des reinen Lösungsmittels, p' den der Lösung, N die Molzahl des Lösungsmittels und n dieselbe der Lösungssubstanz bedeutet. Daher kann die Formel wie unten umgeschrieben werden,

$$n = N \times \frac{p-p'}{p'} = N \times \left(\frac{100}{rF} - 1 \right),$$

weil rF ohne weiteres $\frac{p'}{p} \times 100$ ist. Wenn diese Gleichung für ziemlich konzentrierte Lösung gültig wäre, müßte die Lösung, etwa 83 Mol erreichen, um die Lösung in die Luft von 40%ig. rF keine Wasserdampf zu evaporieren. Daher möchte die Hygroskopizität der bis zu 10%ig. \mathfrak{B} getrockneten Hülse der 83 Mol-Lösung entsprechen. Doch ist für die Torsion der Klappen noch bedeutungsvoll, daß die Hygroskopizität der Außenschicht und Innenschicht oder des Bewegungsgewebes voneinander weit abweichend ist. Die Evaporationsmenge (\mathfrak{E}) der wassergesättigten Hülse und des isolierten A und B ist in den ersten 3 Minuten einander

TABELLE 8. Die Evaporationsmenge der unverletzten Hülsen und der isolierten Außen- und Innenschichten. 1'(A) und 5'(I) = Filtrierpapier Toyo Nr. 595.

	\mathfrak{I} mg	q cm ² × 2	t °C	$t-t'$ °C	\mathfrak{B} Anfang %	\mathfrak{E} mg/Min. Zeit in Min.					\mathfrak{B} Ende %
						0	3	6	10	15	
Hülsen	1	240,5	2,70	20,6	3,7	47,1	0,23	0,13	0,11	0,10	46,1
	2	325,9	2,80	20,6	3,6	44,9	0,23	0,17	0,13	0,14	43,9
	3	352,9	3,10	20,6	3,6	48,8	0,27	0,33	0,33	0,24	47,5
	4	304,9	3,80	20,6	3,6	48,8	0,40	0,40	0,35	0,26	47,0
	5	340,8	4,15	20,8	3,7	50,1	0,47	0,40	0,25	0,22	48,8
Außen- schicht	1	42,9	3,60	19,3	3,8	86,2	0,83	0,63	0,50	0,64	64,0
	1'	—	3,60	19,4	3,9	(239,5)	1,07	1,07	1,20	1,06	(176,7)
	2	36,4	3,60	19,2	3,9	77,1	0,67	0,60	0,50	0,46	55,0
	3	39,2	3,50	19,1	3,9	71,4	0,70	0,57	0,53	0,44	50,9
	4	39,7	3,40	19,0	3,8	63,4	0,67	0,53	0,52	0,48	43,0
Innen- schicht	5	43,7	4,80	19,1	3,9	58,0	0,77	0,73	0,68	0,58	34,9
	1	27,3	3,50	19,1	4,0	50,9	1,00	0,67	0,45	0,24	21,7
	2	24,8	3,15	19,5	4,0	48,3	0,97	0,60	0,52	0,16	17,8
	3	25,2	3,50	19,2	3,8	36,1	0,70	0,40	0,20	0,10	17,9
	4	25,9	3,35	19,1	3,8	43,2	0,83	0,53	0,25	0,18	20,1
5'	39,2	4,80	19,2	3,9	34,0	1,10	0,63	0,30	0,18	15,3	
	5'	—	4,80	19,4	3,9	(241,0)	1,40	1,37	1,38	1,40	(178,0)

sehr verschieden (vgl. Tab. 8). Das \mathfrak{E} durch E_a von fünf unverletzten Hülsen betrug für \mathfrak{E} von gleichförmig abgeschnittenen, mit destilliertem Wasser getränkten Filtrierpapierstückchen (Toyo Nr. 595)

27,4 27,1 35,9 35,2 36,4, d.h. durchschnittlich 32,4%
aber \bar{C} von isolierter Außenschicht

76,3 59,5 64,7 65,8 51,6, d.h. durchschnittlich 63,5%,
und \bar{C}_I 92,2 97,7 65,6 84,3 75,9, d.h. durchschnittlich 83,1%.

So ist das Verhältnis von $r \bar{C}_H : r \bar{C}_A : r \bar{C}_I$ 39,0:75,4:100. \mathfrak{B}_I nimmt in 15 Minuten bei 20°C und rF 60% von 42,3% bis zu 15,8% ab (s. Tab. 9). \mathfrak{B}_A nimmt aber nicht so rasch ab und ist stets größer als \mathfrak{B}_I : z.B. bald nach 22 Stunden langem Bleiben in der Feuchtkammer betrug \mathfrak{B}_A 83%, dagegen \mathfrak{B}_I 42%. Etwa 15 Minuten nach dem Herausnehmen aus der Feuchtkammer entsteht ein Gleichgewicht zwischen der Innenschicht und der umgebenden Luft, im Gegenteil dauert die Abnahme des \mathfrak{B}_A noch nach 2 Stunden unter denselben Bedingungen an. Evaporierte es 3

TABELLE 9. Wassergehaltsveränderung der Sojabohnen-Hülse. (30. Okt. 1941).

		29. 14 ³⁰ → Feuchtkammer							14 ⁰⁰ → Feucht- kammer			1 Woche in CaCl ₂ - Exsikkator	
		11 ⁰⁰	15	30	45	12 ⁰⁰	13 ⁰⁰	14 ⁰⁰	14 ³⁰	15 ³⁰	17 ⁰⁰		
	\bar{x}	20,5 ^o 4,1 ^o	20,5 ^o 4,1 ^o	20,3 ^o 4,1 ^o	20,2 ^o 3,9 ^o	20,0 ^o 4,0 ^o	19,3 ^o 4,0 ^o	19,7 ^o 3,8 ^o	19,7 ^o	19,6 ^o	19,7 ^o		
	mg												
1	{A	42,9	75,8	53,7	37,7	28,3	22,2	19,6	19,8	24,9	30,8	35,9	9,8
	{I	27,3	44,1	15,8	17,1	17,9	17,6	15,2	16,1	21,6	24,9	25,7	10,7
2	{A	36,4	82,9	53,2	33,3	25,9	22,3	22,0	22,1	28,0	33,4	39,0	11,4
	{I	24,8	37,9	13,8	16,1	15,8	16,6	15,8	14,5	19,8	23,9	24,7	4,4
3	{A	39,2	93,9	63,7	45,1	32,9	28,0	26,2	26,1	30,8	36,2	40,6	13,3
	{I	25,2	40,9	19,9	15,5	16,2	16,2	16,2	15,9	20,2	23,8	25,3	4,3
4	{A	39,7	101,7	68,3	46,1	31,5	23,7	18,9	18,8	22,7	28,5	33,8	7,9
	{I	25,9	54,7	17,2	17,0	16,1	17,0	15,8	15,8	20,0	23,9	26,2	4,8
5	{A	43,7	61,9	31,1	21,4	20,6	21,1	22,0	22,1	27,6	32,7	34,9	10,3
	{I	39,2	33,8	12,3	12,9	12,0	12,4	11,3	12,2	16,1	19,1	20,8	2,9
	$\bar{\mathfrak{B}}_A$	83,2	54,0	36,7	27,8	23,5	21,7	21,8	26,8	32,3	36,8	10,5	
	$\bar{\mathfrak{B}}_I$	42,3	15,8	15,7	15,6	15,9	14,9	14,9	19,5	23,1	24,5	5,4	
	$\bar{\mathfrak{B}}_I/\bar{\mathfrak{B}}_A$ %	50,8	29,3	42,9	56,0	68,0	68,4	68,4	73,0	71,5	66,6	51,4	

Stunden lang in derselben Luft, nahmen \mathfrak{B}_A und \mathfrak{B}_I bis zu 22% bzw. 15%, und nach einer Woche in einem Chlorkalzium-Exsikkator bis zu 10,5% bzw. 5,4% ab. Der hygroskopische Wassergehalt des Filtrierpapiers war unter denselben Bedingungen 2,3–2,7%. Aus dem Obenbesprochenen geht hervor, daß die Hygroskopizität der Innenschicht nur bis zu 50 oder 60% der der Außenschicht erreichen kann (vgl. Tab. 9).

Die schwere Wasserdurchlässigkeit von E_n wird auch beim Benetzen der Oberfläche bestätigt. Wurde die eine der beiden Tochterklappen am E_n befeuchtet, die andere am E_i , so dehnte sich diese sehr schnell wie die an beiden Seiten befeuchtete aus, trotzdem jene nach 100 Minuten Benetzung noch ziemlich gekrümmt blieb (Tab. 10).

TABELLE 10. Dehnung der Klappen durch Befeuchtung.

Klappe	Befeuchtung		Gleichgewicht mit 21,5°, 62%	Relative Länge der Klappe						Min.
	Außen- seite	Innen- seite		5	10	20	40	60	100	
B	r	F	76	78	78	78	84	86	86	
	l	F	73	81	84	92	97	97	100	
D	r	F	74	82	87	92	97	97	100	
	l	F	74	82	85	90	95	97	100	
E	r	F	74	79	79	82	84	89	89	
	l	F	74	82	87	95	97	100	100	

TABELLE 11. Evaporation der unverletzten Hülsen und der Tochterklappen derselben.

Hülse	Bemerkungen	Min.	Unverletzte Hülse			Nach Spalten und Entnehmen der Bohnen		
			Gewicht mg	⊘ mg Min. 2q·10 S-D	⊘ _H	Gewicht mg	⊘ mg Min. 2q·10 S-D	⊘ _K
I	q = 2,70 cm ²	0	364,9		51,8	111,0		40,0
	⊘ _H = 240,5 mg	3	364,2	0,065	51,3	109,0	0,203	37,2
	⊘ _K = 79,3 mg	6	363,8	0,037	51,1	107,1	0,195	35,0
	⊘ _{Bohnen} = 161,2 mg	10	363,2	0,042	51,0	104,9	0,164	32,2
		15	362,8	0,023	50,9	102,3	0,150	29,0
	t = 19,9°C	20	362,3	0,029	50,7	100,0	0,133	26,1
	S-D = 6,4 mm Hg	30	361,0	0,038	50,0	96,9	0,091	22,1
		45				94,3	0,050	18,9
			-3,9			-16,7		
III	q = 3,10 cm ²	0	564,6		59,9	127,1		24,3
	⊘ _H = 352,9 mg	3	562,2	0,086	59,2	123,5	0,125	20,9
	⊘ _K = 102,1 mg	6	560,0	0,079	58,8	120,8	0,094	18,1
	⊘ _{Bohnen} = 250,8 mg	10	557,6	0,065	58,1	118,8	0,051	16,1
		15	554,3	0,069	58,1	118,8	0,038	14,4
	t = 25,6°C	20	551,0	0,068	57,0	117,0	0,020	13,7
	S-D = 15,2 mm Hg	30	545,4	0,058	56,0	116,1	0,013	12,2
		45	537,5	0,054	54,6	114,9	0,003	12,0
	60	530,5	0,049	52,2	114,5			
			-34,1			-12,6		
IV	q = 3,80 cm ²	0	484,9		59,0	142,6		39,8
	⊘ _H = 304,9 mg	3	482,1	0,089	58,1	137,6	0,160	34,8
	⊘ _K = 102,0 mg	6	480,5	0,052	57,7	132,6	0,159	29,9
	⊘ _{Bohnen} = 202,9 mg	10	478,1	0,059	56,9	127,4	0,125	24,9
		15				122,8	0,090	20,3
	t = 24,3°C	20				119,8	0,059	17,3
	S-D = 13,5 mm Hg	30				116,9	0,029	14,5
		45				115,6	0,008	13,2
	60				114,9	0,005	12,7	
			-6,8			-27,7		

An der unverletzten Hülse mag das Gewebe sich in der Reihe von E_a , W, P, B, E_i austrocknen, aber gemäß der schweren Wasserdurchlässigkeit des E_a und W, und gemäß der stärkeren Hygroskopizität derselben kann es auch möglich sein, daß in dem Fall des Austrocknens von der Außenseite nicht selten \mathfrak{B}_i kleiner als \mathfrak{B}_A wird, weil das B, die langsame Hygroskopizitätssteigerung von A überwindend, Wasser nicht erhalten kann. Für diese Annahme konnte ich eine Stütze haben. Als die Hülse in zwei Tochterklappen künstlich gespalten wurde, kam die Evaporationszunahme an der Hülse, die schon große Mengen Wassers verdampft hatte (Tab. 11. Hülse III), nur schwach, aber an der, die noch wenig Wasser verloren hatte, ziemlich stark vor (Tab. 11. I u. IV). Dies deutet an, daß beim Austrocknen auch das Bewegungsgewebe der unverletzten Hülse ohne Verzögerung trocknen kann. Dabei dürften auch die innen eingeschlossenen Bohnen eine Rolle spielen, weil der Wassergehalt der Bohnen sehr weit schwanken kann.

Auf Grund dieser Versuche muß es ohne weiteres klar sein, daß beim Austrocknen die unverletzte Hülse zuerst von der Außenschicht, und fast gleichzeitig von der Innenschicht Wasser verliert. Bald vor dem Krachen sinkt \mathfrak{B}_B schon in einem genügenden Wert für die Krümmungsbewegung. Aber die schon abgesonderten Klappen evaporieren von I stärker als von A, weswegen das Bewegungsgewebe vom Anfang der Austrocknung an funktionieren kann.

2. Gewebe-Schrumpfung durch Austrocknen

Die anisotrope Kontraktion des Pflanzengewebes ist heutzutage nach den Untersuchungen von SACHS (1873), EICHHOLZ (1885), SCHWENDENER (1887), ZIMMERMANN (1881), neuderdings von FREY-WYSSLING (1937) allbekannt, und es liegt eine der Ursachen freilich in der Anisotropie der Membranstruktur, daher ist es natürlich, daß die Kontraktionsanisotropie des Gewebes durch die optischen Eigenschaften desselben ziemlich genau angenommen wird (SCHWENDENER 1887). Aber die ZIMMERMANNsche Ansicht (1883/84), daß die Membranquellung mit der optischen Anisotropie ganz identisch ist, wurde von v. HÖHNEL (1884) verneint.

Aber betreffs der Papilionaceen-Hülse selbst können wir nur eine Untersuchung von ZIMMERMANN (1881) zitieren. Nach seiner Abhandlung schrumpften die verholzten Zellen (=Bewegungsgewebe) von *Orobus (Lathyrus) vernus* tangential etwa 15%, und dabei wurde das an demselben anhaftende Widerstandsgewebe durch die Krümmung des Bewegungsgewebes 3% ausgedehnt, jedoch verkürzt sich das isolierte 2% beim Austrocknen.

Die Gewebekontraktion der *Glycine*-Hülse bestimmte ich mikroskopisch am quadratischen Stückchen von Klappengewebe, dessen Seite etwa 1,5 mm war. Das im Versuche benutzte Gewebestückchen wurde an

der isolierten Außenschicht stets längs den Widerstandsfasern, an der Innenschicht längs den Bewegungsfasern, und am nicht abgesonderten Klappenstückchen längs den letzteren Fasern. Zuerst wurden die Stückchen in Wasser getränkt, und die vier Seiten des Quadrates bemessen. Danach trockneten sie in der Luft. Δ bedeutet in der Arbeit die Kontraktion in Prozentzahl pro Länge im wassergetränkten Fall, und // longitudinal, \perp tangential zu den betreffenden Zellen. In diesem Versuche war die Lufttemperatur 18°C , und die relative Feuchtigkeit etwa 60%.

TABELLE 12. Die Schrumpfung der wassergetränkten Gewebestückchen von Sojabohnenhülse beim Trocknen in Luft von $18,5^{\circ}\text{C}$, rF 60%.

	ΔK		ΔA		ΔP		ΔI	
	B//	B \perp	W//	W \perp	//	\perp	B//	B \perp
1	{ 1,3%	3,9%	8,0%	8,7%	10,8%	14,5%	0,5%	10,5%
	{ 2,1	3,7	5,6	11,3	13,3	17,0	1,1	11,5
2	{ 4,3	8,9	10,8	17,4	10,6	12,5	0,6	11,5
	{ 2,2	7,2	7,6	14,3	10,7	19,7	0,4	11,4
3	{ 0,4	6,6	8,9	23,4	8,1	13,1	0,7	13,3
	{ 3,1	6,3	10,8	20,6	10,9	12,3	0,5	13,0
4	{ 6,9	8,0	10,7	23,5	4,8	3,9	1,0	10,9
	{ 6,8	8,9	10,7	22,0	6,7	12,3	1,4	11,8
5	{ 4,1	5,8	10,4	15,7	8,7	7,7	0,1	13,0
	{ 2,0	10,3	9,6	14,1	10,0	12,4	1,6	12,8
6	{ 7,6	9,0	7,5	11,9	—	—	0,5	12,1
	{ 4,7	7,4	4,6	14,5	—	—	0,0	11,8
7	{ 7,3	9,7	8,9	16,0	—	—	0,5	11,6
	{ 2,0	5,7	7,9	18,5	—	—	1,0	11,8
8	{ 6,6	9,0	10,2	23,4	—	—	0,0	11,9
	{ 5,0	10,8	9,3	27,6	—	—	0,0	11,9
$\bar{\Delta}$	4,2	7,6	8,9	17,7	9,5	12,5	0,6	11,9

Das Klappenstückchen schrumpfte longitudinal zur Bewegungsfaser ($\Delta K_{B//}$) 4,2%, tangential ($\Delta K_{B\perp}$) 7,6%, aber das Bewegungsgewebe allein longitudinal ($\Delta I_{B//}$) nur 0,6%, und tangential ($\Delta I_{B\perp}$) 11,9%. An der Außenschicht war $\Delta A_{W//}$ 8,9%, $\Delta A_{W\perp}$ 17,7%. Die W//- und B \perp -Richtungen sind fast gleich mit einander, so schrumpfte die Innenseite in der tangentialen Richtung zur Bewegungsfaser etwa 3% stärker als die Außenseite. Im Gegenteil schrumpft I in der longitudinalen Richtung der Bewegungsfaser nur wenig, aber A sehr stark, so kam die Überschrumpfung von 17,1% in der Außenseite vor. Das Parenchym selbst zeigt auch Kontraktionsanisotropie, welche, wie schon beschrieben, von der Richtung der Zellreihen und der Mizellarstruktur der Zellwand erwartet wird. D.h. $\Delta P_{//}=9,5\%$, $\Delta P_{\perp}=12,5\%$. Das Bastfaserbündel der Bauchnaht schrumpfte durchschnittlich longitudinal nur 1,0%, aber

tangential 10,6%, und das der Rückennaht $\Delta N_{R//}$ 1,3% und $\Delta N_{R\perp}$ 8,1%. Diese verhältnismäßig stärkere longitudinale Schrumpfung möchte die Schraubenstruktur dieser Bastfaser andeuten.

B_Q und B_L , die sich beide mikroskopisch und submikroskopisch sehr deutlich voneinander unterscheiden, zeigen auch die Kontraktionsverschiedenheit. Hierüber ergab sich auch mit dem Bewegungsgewebe von *Wistaria*, um die Absonderung von B_Q und B_L genau und leicht zu machen. Das Resultat wird in Tab. 13 zusammengefaßt. Die Außenschicht des Bewegungsgewebes, B_Q , an der sich die Zellulosemizellen quer

TABELLE 13. Die Schrumpfung der wassergetränkten Stückchen von B_Q und B_L der *Wistaria*-Hülse im Gleichgewicht mit der Luft von 18°C u. rF 60%.

	ΔB_Q		ΔB_L	
	//	\perp	//	\perp
1	{ 3,3%	5,6%	0,5%	7,6%
	{ 2,4	6,3	1,4	7,4
2	{ 1,3	7,3	0,9	7,9
	{ 1,9	6,2	0,6	7,6
3	{ 3,1	6,1	0,9	10,8
	{ 2,0	6,8	1,6	11,0
4	{ 2,2	5,0	1,0	9,1
	{ 1,7	5,8	1,5	7,4
5	{ 3,7	5,8	1,0	11,7
	{ 3,6	5,7	0,6	12,0
\bar{A}	2,5	6,1	1,0	9,3

zur Zellenachse reihen, schrumpfte in der longitudinalen Richtung etwas stärker, aber in der tangentialen 3,2% minder als die Innenschicht, B_L , deren Mizellaranordnung streng axial ist.

Unter ein und denselben Bedingungen trocknet, wie schon erörtert und in Tab. 14 als relative Werte noch einmal gezeigt ist, die Innenschicht

TABELLE 14. r_{SS} , das nach den Versuchsdaten in Tabelle 8 und 9 ausgerechnet wird.

	Min.	$\overline{r_{SSA}}$	$\overline{r_{SSI}}$
t = 20°C	0	100	100
	(3)	(91,4)	(74,0)
	(6)	(84,0)	(58,6)
	(10)	(75,2)	(45,5)
	15	64,9	37,4
rF = 60%	30	44,1	37,2
	45	33,5	36,9
	60	28,2	(37,7)
	∞	26,1	35,1
CaCl ₂ -Exsikkator	—	12,7	12,8
110°C	—	0	0

schneller als die Außenschicht aus. Infolgedessen ist es ohne weiteres aner kennbar, daß die Zunahme von ΔA und ΔI gemäß der Austrocknungszeit von einander sehr verschiedenweise erfolgen muß. In der Luft von Temp. 20°C und rF 60% legte ich je 5 Gewebestückchen, die 20 Stunden lang in einer kleinen Feuchtkammer eingeschlossen waren, um die Stückchen wassergesättigt zu machen. Die Mittelwerte können wir in der Tabelle 15 ablesen. Natürlich nahm ΔI schneller als ΔA zu, weil I schneller als A austrocknet. Aber es ist bedeutungsvoller, daß ΔI im trockneren Zustand noch weiter zunehmen kann. Sowohl die Überschrumpfung der Innenschicht in der tangentialen Richtung zu den Bewegungszellen, als auch die der Außenschicht in der longitudinalen zu den Bewegungszellen, steigt im großen und ganzen mit dem Trockenwerden auf.

TABELLE 15. Die Schrumpfung der wassergesättigten Gewebestückchen von *Glycine* beim Austrocknen.

Min.	B ⊥					B //					
	A		I			A		I			
	I _A	ΔA _{W//}	I _{I ⊥}	ΔI _B	ΔI _(B ⊥)	I _A	ΔA _{W ⊥}	I _I	ΔI _{B//}	ΔI _(B//)	
0	100	0	100	0	0	100	0	100	0	0	
2	99,69	0,31	98,48	1,52	1,21	98,73	1,27	99,96	0,04	- 1,23	
4	99,12	0,88	96,43	3,57	2,69	97,12	2,88	99,93	0,07	2,81	
7	98,63	1,37	94,42	5,58	4,21	95,42	4,58	99,83	0,17	4,41	
10	97,79	2,21	92,14	7,86	5,65	93,74	6,26	99,69	0,31	5,95	
13	—	—	91,19	8,81	—	—	—	99,66	0,34	—	
t=20°C	15	97,18	2,82	—	—	92,22	7,78	—	—	—	
	16	—	—	90,63	9,37	—	—	99,61	0,39	—	
rF=60%	20	96,15	3,85	90,19	9,81	5,96	90,71	9,29	99,61	0,39	8,90
	25	95,80	4,20	89,85	10,15	5,95	89,96	10,04	99,56	0,44	9,60
	30	95,58	4,42	89,84	10,16	5,74	89,70	10,30	99,56	0,44	9,86
	40	95,37	4,63	—	—	—	89,21	10,79	—	—	—
	50	95,02	4,98	—	—	—	88,89	11,11	—	—	—
	60	94,89	5,11	—	—	—	88,72	11,28	—	—	—
	—	94,89	5,11	89,82	10,18	5,07	88,72	11,28	99,56	0,44	-10,84
1 Tag in											
CaCl ₂ -Exsk.	94,18	5,82	85,52	14,48	8,66	86,28	13,72	99,48	0,52	-13,20	
20.Stdn. 110°C	93,03	6,97	83,08	16,92	9,95	83,37	16,63	99,14	0,86	-15,77	

3. Elastische Eigenschaften der Hülsengewebe

Über die Elastizität und Festigkeit der Pflanzengewebe gibt es heute eine Anzahl von Untersuchungen (vgl. KISSER, 1925), aber an den Papilionaceen-Hülsen haben wir nur eine Abhandlung von HIRATA (1933), wo er über die Festigkeit(n) der *Wistaria*-Hülse berichtete. Nach der Abhandlung ist die Festigkeit der Hülse bei Luftfeuchtigkeit von 30-40% $4,9 \cdot 10^{11}$ dyn/cm², in wassergesättigter Luft $2,7 \cdot 10^{11}$

dyn/cm², aber die der wassergetränkten Klappe nur $0,025 \cdot 10^{11}$ dyn/cm². An der Außenschicht (die Klappe mit abgeschältem Bewegungsgewebe) war n in der Luft von 30% ig. rF $3,7 \cdot 10^{11}$ dyn/cm², bei 100% $0,68 \cdot 10^{11}$ dyn/cm². Bemerkenswert ist es, daß die Festigkeit des Bewegungsgewebes im trocknen Zustand nur bis zu einem Fünftel der der Außenschicht erreichen konnte. n_B ist unabhängig von der Feuchtigkeit, während n_A durch die Zunahme des rF von 30% zu 100% bis zum mit n_B gleichen Werte sinkt.

An der *Glycine*-Hülse war die Bestimmung der Festigkeit nicht so leicht wie an *Wistaria*, weil die Hülse verhältnismäßig klein ist, und außerdem die Gewebe, besonders das Bewegungsgewebe, sehr leicht zerissen werden, und sie sich im Austrocknungszustande zu stark krümmen, um nach der Drehung die Festigkeit zu messen. Daher konnte ich nur den Elastizitätsmodul mit einem kleinen Gewebestückchen bestimmen. Daß die Elastizität der Hülsengewebe nach der Richtung verschieden sei, sollte sehr leicht ersichtlich sein, da die Hülsengewebe, wie schon erwähnt, ganz anisotrop gebaut sind. Zuerst maß ich die Elastizität in der $B_{//}$ -Richtung oder W_{\perp} -Richtung. Aus K, B und A wurde je ein Gewebestäbchen, dessen Breite ca. 0,2 cm und die Länge etwa 1,5 cm war, $B_{//}$ bzw. W_{\perp} abgeschnitten. Das Stäbchen wurde an den beiden Enden von unten gestützt und in der Mitte ein Gewicht abgehängt. Dabei wird der Elastizitätsmodul (E) nach der Formel

$$E = \frac{1}{4} \cdot \frac{l^3 k}{d^3 b h}$$

berechnet, wo l der Abstand zwischen den beiden Stützpunkten, d und b die Dicke und Breite des Stäbchens, h der Biegungspfeil, k die dem Stäbchen wirkende Kraft ist. Ein Ergebnis der Versuche stelle ich hier in der Tab. 16 zusammen. Vergleichs halber schreibe ich auch E der Hülsengewebe von *Wistaria* hinzu.

Sowohl an *Glycine* als auch an *Wistaria* ist $E_{B_{//}}$ stets größer als $E_{AW_{\perp}}$, besonders an der ersteren Art etwa 6 mal stärker. E von Klappenstückchen fällt zwischen die beiden Werte.

Die Bestimmung von $E_{B_{\perp}}$ oder $E_{AW_{//}}$ habe ich nach einer approximativen Methode ausgeführt, weil das in dieser Richtung abgeschnittene Gewebestückchen durch Austrocknen sich so stark krümmt, daß man dasselbe an beiden Enden nicht stützen kann. Auf einen genau horizontal gelegten mikroskopischen Objektträger (u) stellte ich nahe einem Ende ein Gewebestückchen von 0,4 cm Länge und 0,2 cm Breite. Dasselbe bedeckte ich mit einem anderen Objektträger (o), dessen ein Ende dünn gerieben war, um die Berührung mit der Stütze (s) dicht zu machen (vgl. Abb. 7). Mit einem Gewicht drückte ich von oben das Gewebe-

TABELLE 16. Der Elastizitätsmodul der Klappengewebe von *Glycine* und *Wistaria*.

		d $\times 10^{-2}$ cm	b $\times 10^{-1}$ cm	l cm	k $\times 980$ dyn	h $\times 10^{-2}$ cm	E $\times 10^{11}$ dyn/cm ²	t °C	rF %	
<i>Glycine</i>	K _{B//}	1	1,32 $\left[\begin{matrix} d_A = 0,72 \\ d_I = 0,60 \end{matrix} \right]$	1,59	1,15	5,0	7,20	0,707	19,0	56
		2	"	"	"	"	7,20	0,707	18,1	64
		3	"	"	"	"	16,54	0,308	19,4	71
	A _{W⊥}	1	0,70	2,21	"	1,0	8,09	0,607	18,6	57
		2	"	"	"	"	9,39	0,523	18,1	64
		3	"	"	"	"	15,57	0,316	19,5	75
	I _{B//}	1	0,71	2,21	"	2,0	2,19	4,30	18,6	57
		2	"	"	"	"	3,03	3,11	18,1	64
		3	"	"	"	"	5,22	1,80	19,5	72
<i>Wistaria</i>	K _{B//}	1	15,2 $\left[\begin{matrix} d_A = 8,7 \\ d_I = 6,5 \end{matrix} \right]$	1,76	1,15	200,0	0,835	0,145	18,8	55
		2	"	"	"	"	0,935	0,129	18,1	64
		3	"	"	"	"	1,043	0,115	19,5	73
	A _{W⊥}	1	6,63	1,90	"	100,0	5,58	0,120	18,7	56
		2	"	"	"	"	6,57	0,102	18,0	66
		3	"	"	"	"	8,19	0,0820	19,5	71
	I _{B//}	1	6,57	1,36	"	100,0	2,04	0,473	18,5	56
		2	"	"	"	"	2,04	0,473	18,0	66
		3	"	"	"	"	2,09	0,461	19,5	72

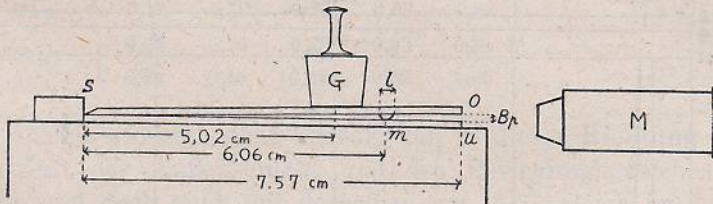


Abb. 7. Die Anordnung der approximativen Methode für die Bestimmung der Elastizität der *Glycine*-Klappengewebe. Erklärung im Texte.

stückchen zwischen beide Objektträger. Dann wird der Öffnungsabstand (B_p) der beiden Träger mit einem Horizontal-Mikroskop (M) genau gemessen, um die entsprechende Veränderung des Biegungspfeils zu bestimmen. Die Kraft, die auf das Gewebestückchen durch das Gewicht ausgeübt wird, muß freilich betreffs der Stellung des Gewichtes und der Neigung des oberen Objektträgers korrigiert werden. Aber in meinem Fall möchte der Fehler, der durch die Neigung verursacht wird, zu vernachlässigen sein, weil diese nicht über $1,4^\circ$ betrug, daher das vertikale Komponent der Kraft aus dem Bereiche zwischen 1 und 0,9996 nicht überschritten wurde. Der Abstand der Berührungspunkte des Stückchens (l) wurde nach dem Krümmungsgrad und der Stückchenlänge (L) als

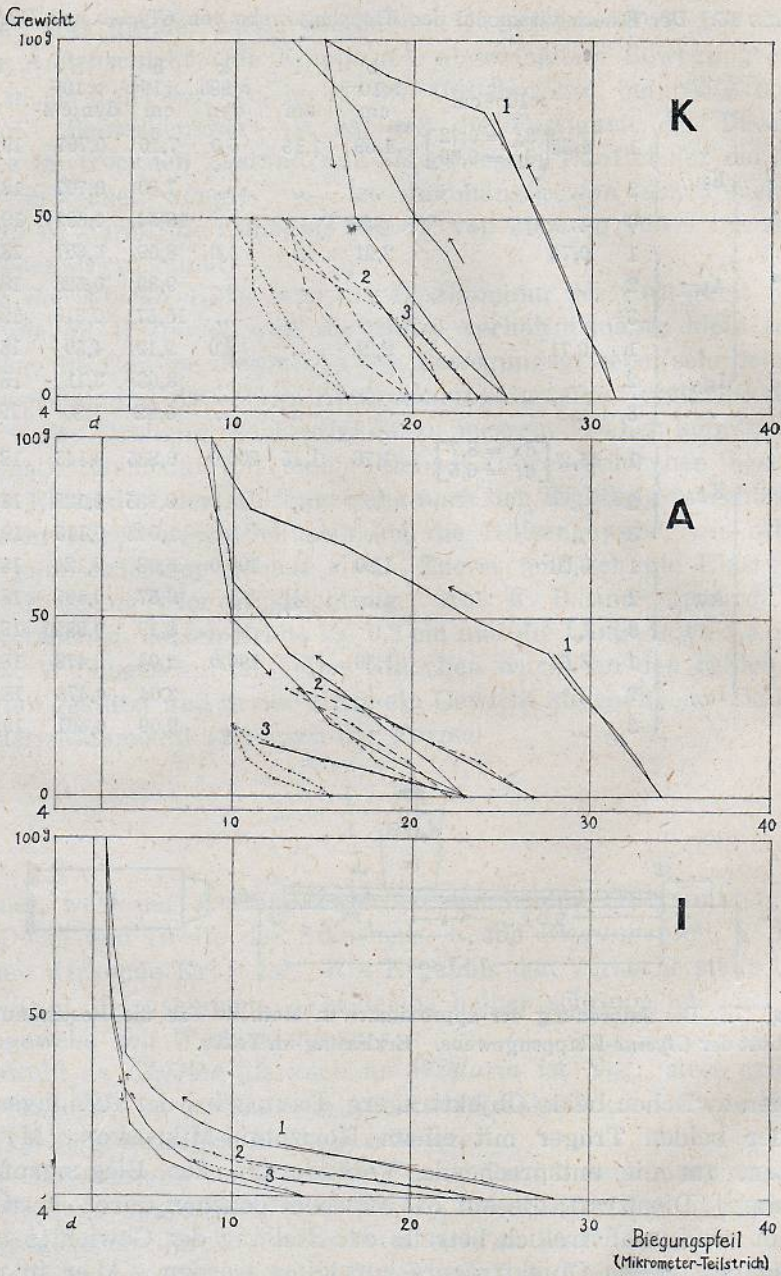


Abb. 8. Biegunspfeilveränderung mit Gewichtszunahme. K = Klappenstückchen, A = Außenschicht, I = Innenschicht.

TABELLE 17. Der Elastizitätsmodul der *Glycine*-Klappengewebe.

	d	b	L	l	k	h	E	t°C	rF%		
	$\times 10^{-2}$ cm	$\times 10^{-1}$ cm	$\times 10^{-1}$ cm	$\times 10^{-1}$ cm	$\times 980$ dyn	$\times 10^{-2}$ cm	$\times 10^{11}$ dyn/cm				
K _B ⊥	1	1,642	[$\frac{d_A}{d_I} = 0,850$ $0,792$]	2,16	4,07	3,20	66,30	2,88	0,191	17,0	60
	2	„		„	„	3,69	24,85	1,84	0,173	17,0	69
	3	„		„	„	3,59	16,57	1,50	0,131	17,0	83
A _W //	1	1,078	1,92	3,91	2,74	33,15	2,55	0,272	17,2	58	
	2	„	„	„	3,49	24,85	4,76	0,227	17,5	67	
	3	„	„	„	3,66	12,42	4,81	0,129	17,1	80	
I _B ⊥	1	0,861	2,13	3,89	3,47	12,42	6,39	0,147	17,4	58	
	2	„	„	„	3,60	8,29	5,51	0,127	17,4	69	
	3	„	„	„	3,60	4,14	4,09	0,085	17,3	80	

ein Bogen gerechnet. Das einmal durch Gewicht flach gewordene Stückchen konnte dieselbe Krümmung, die es am Beginn des Versuches gezeigt hatte, nicht erhalten, wenn das Gewicht auch völlig beseitigt wurde. D.h. Histeresis gibt es im ziemlich starken Grad (vgl. Abb. 8). Die ausführlichen Versuchsergebnisse für Abb. 8 können wir in Tab. 17 zusammenfassend einsehen. Noch andere wiederholte Prüfungen gaben uns die Werte wie unten.

E _{K_B⊥}	0,16	0,23	0,25	0,43	0,49	$\times 10^{11}$	dyn/cm ²
E _{A_W//}	0,17	0,36	0,36	0,59	0,62	„	
E _{I_B⊥}	0,21	0,26	0,28	0,30	0,33	„	
	0,34	0,45	0,49	0,52	1,05	„	

Aus dem Obenerwähnten geht hervor, daß in dieser Richtung (W//, B⊥) die Elastizität der Außenschicht und des Bewegungsgewebes einander fast gleich, und doch auch mit derselben von A_W⊥ gleich ist.

Da die Gewebe der Klappe an der Außenseite und Innenseite weit differenziert sind, so ist es auch außer Zweifel, ob E nach der Biegrichtung sich verändern kann. Darüber führte ich mit zwei Klappenstückchen von *Wistaria*, von denen eine zum Bewegungsgewebe longitudinal und die andere tangential abgeschnitten waren. Die umgebende Luft war 16°C und 67%.

	d	b	l	k	E	
					von der Außen- seite Kraft ausgeübt 10 ¹¹ dyn/cm ²	von der Innen- seite Kraft ausgeübt 10 ¹¹ dyn/cm ²
K _B //	1,52(d _r =0,65)	1,76	1,15	400	0,113	0,119
K _B ⊥	1,51(d _r =0,60)	1,67	„	„	0,101	0,101

D.h. es wurde keine Verschiedenheit durch Biegrichtung bestätigt.

E von *Glycine* nimmt mit der Feuchtigkeitszunahme ziemlich ab, wie es HIRATA an der Festigkeit der *Wistaria*-Hülse feststellte. Ein Beispiel können wir in der schon gezeigten Tabelle 9 finden. Dabei bestimmte ich mit ein und demselben Gewebestückchen (B_{\perp} , $A_{W//}$, $K_{B\perp}$) den Elastizitätsmodul in der Luft von Feuchtigkeit von 60, 70 bzw. 80%. Die Ergebnisse sind in Abb. 9 bezeichnet, um die Beziehung der Elastizität

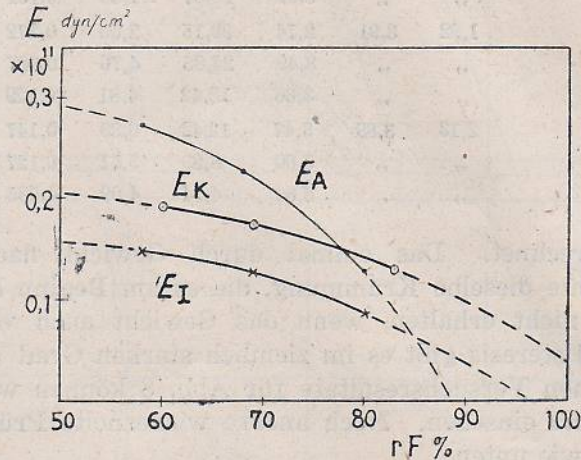


Abb. 9. Die Beziehung der Elastizität zur relativen Feuchtigkeit der umgebenden Luft (vgl. Tab. 17).

und der Feuchtigkeit noch leicht ersehen zu lassen. $E_{AW//}$ fällt mit der Feuchtigkeitszunahme sehr schnell ab, und das Gewebe verlor etwa 90%ig. rF die Elastizität ganz: das wassergetränkte Gewebe wird sehr zart und plastisch. Es bleibt noch nach dem Austrocknen in derselben Form, zu welcher es im nassen Zustand gezwungen wurde. Aber das Bewegungsgewebe zeigte nahe 100%ig. rF noch schwache Elastizität, und mit dem Austrocknen kehrt es beinahe zur normalen Form zurück.

4. Erklärung über die Schleuderbewegung und Torsion

Die mechanischen Ursachen des Aufspringens und Tordierens der Papilionaceen-Hülsen sind schon seit alters erörtert worden. Heutzutage sind die allbekanntesten Ursachen 1. Das Bewegungs- und Widerstandsgewebe kreuzen sich beinahe senkrecht, und beide stehen schief zur Hülsenachse. 2. Das Bewegungsgewebe schrumpft mit dem Austrocknen tangential sehr stark, aber longitudinal beinahe nicht, wodurch die Klappe schraubenförmig gekrümmt wird. 3. Das Widerstandsgewebe könne zur Tätigkeit des Bewegungsgewebes bei der Krümmungsbewegung mitwirken, um die Klappe flach zu machen. Aber es dürfte nicht ganz

zwecklos sein, daß ich nach den in der Arbeit schon geschriebenen Versuchsergebnissen, die etwas ausführlicher als die älteren sind, im folgenden darüber erörtere.

Der Wassergehalt der Hülse beim Aufspringen ist in den meisten Fällen, wie schon beschrieben, 10%. Das Verhältnis des Trockengewichtes des A zum I ist durchschnittlich 60:40. Die Hygroskopizität von I ist etwa 55% für die von A. Daher, wenn A und B sich ganz im Gleichgewicht halten, so wären \mathfrak{W}_A und \mathfrak{W}_I nicht identisch mit einander, oder die beiden sind nicht 10%, sondern

$$\mathfrak{W}_A = 10\% \times \frac{60 + 40}{60 + 40 \times \frac{55}{100}} = 12,2\% ,$$

$$\mathfrak{W}_I = \mathfrak{W}_A \times \frac{55}{100} = 6,7\% .$$

Um den Wassergehalt bis zu demselben Wert abzusinken, muß das Sättigungsdefizit der umgebenden Luft etwa 13 mmHg betragen, oder die relative Feuchtigkeit muß bis nahe zu 40% absinken.

Mit dieser \mathfrak{W} -Abnahme kommt die anisotrope Schrumpfung der Hülsengewebe vor. In der tangentialen Richtung zu den Widerstandsfasern kann sich das Widerstandsgewebe 15% oder mehr kontrahieren, aber in der gleichen Richtung oder B// zeigt das Bewegungsgewebe höchstens 1% ige Schrumpfung. Nach diesen Werten allein müßte die Klappe, die Außenseite zur konkaven Seite machend, sich krümmen; in der Tat zeigt bisweilen der obere, flache Teil der Klappe diese Krümmung. Aber am unteren großen Teil kann man beim Trockenwerden keine Klappe finden, deren Außenseite nach innen konkav gekrümmt ist. Dieser Widerspruch scheint aber mit folgenden Tatsachen erklärbar zu sein. Die Hülse schwillt an den Stellen, wo die Bohnen eingeschlossen werden, nach außen ziemlich stark auf, so müßte sich das Gewebe um die Anschwellung beim Austrocknen weit ausdehnen, weil die Klappe einmal flach werden muß, damit die Außenschicht in die konkave Seite der gekrümmten Klappe kommt. Aber in den Pflanzen kann sich das Gewebe mit dem Austrocknen nicht ausdehnen, sondern Weite und Länge nehmen stets ziemlich stark ab. Andererseits ist der Elastizitätsmodul von B// etwa 6 mal größer als E_{AW1} . Daher ist es fast unmöglich, die Schrumpfung des Widerstandsgewebe oder der Außenschicht kann genügend starke Kraft gegen die Elastizität und die angeborene Anschwellung überwindend ausüben, um die Außenseite des ganzen Teils von der Klappe nach innen konkav zu biegen.

In der B₁-Richtung schrumpft die Innenschicht 11,9% (wasserge-tränkt 18,5°C, 60%), und die Außenschicht in dieser Richtung (W//)

8,9%, daher kommt ein 3%iger Schrumpungs-Überschuß des Bewegungsgewebes vor. Die Elastizität von A und I ist in dieser Richtung im großen und ganzen gleich. Die oben erwähnte Überschrumpfung von A kann die Klappe verflachend beeinflussen, so kann die Außenschicht in der zur Bewegungsfaser tangentialen Krümmung der Hülse dem Bewegungsgewebe beistehen (vgl. ZIMMERMANN).

Den Krümmungsradius (r) können wir nach der folgenden Formel mit der Dicke (d) und Länge (l) des betreffenden Gewebestückchens, und mit der Schrumpfungsdifferenz der Außen- und Innenschicht ($l_A - l_I = \Delta l$) berechnen. Die Formel ist:

$$r_A = \frac{d \cdot l_A}{l_A - l_I} = \frac{d \cdot l_A}{\Delta l}$$

An der *Glycine*-Hülse war d im Mittel 0,159 mm. Wenn die Krümmung in der Richtung von B_{\perp} unabhängig von der von $B_{//}$ stattfindet, so wird der Radius nach den Resultaten in Tab. 15 wie unten ausgerechnet.

1. Beim Gleichgewicht mit der umgebenden Luft von 20°C, 60%,

$$l_A = 94,89, \quad l_I = 89,82 : \Delta l = 5,07$$

$$r_A = 2,98 \text{ mm.}$$

2. Nach 1 Tag im CaCl_2 -Exsikkator,

$$l_A = 84,18, \quad l_I = 85,52 : \Delta l = 8,66$$

$$r_A = 1,73 \text{ mm.}$$

3. Nach dem 22 Stunden langen Austrocknen bei 110°C,

$$l_A = 93,03, \quad l_I = 83,08 : \Delta l = 9,95$$

$$r_A = 1,49 \text{ mm.}$$

D.h. der Krümmungsradius wird mit der Zunahme des Austrocknungsgrades kleiner und kleiner, und den berechneten Wert können wir tatsächlich manchmal an der getrockneten unverletzten Klappe von *Glycine* sehen. Beim Austrocknen kommt freilich auch die Abnahme der Gewebedicke vor, aber dies verstärkt vielmehr die Krümmung der Klappe, weil nach der oben gezeigten Formel der Krümmungsradius proportional zur Dicke abnehmen muß.

Sowohl die abgesonderte Außenschicht, als auch die Innenschicht selbst, kann sich bei Austrocknung krümmen. Daß das Bewegungsgewebe allein wie die unverletzte Klappe oder noch stärker tordieren kann, ist schon früher bemerkt worden (ZIMMERMANN u.a.), da bisweilen die Wirkung des Widerstandsgewebes für Schleuderbewegung und Krümmung vernichtet wurde. Die Außenschicht krümmt sich aber auch an

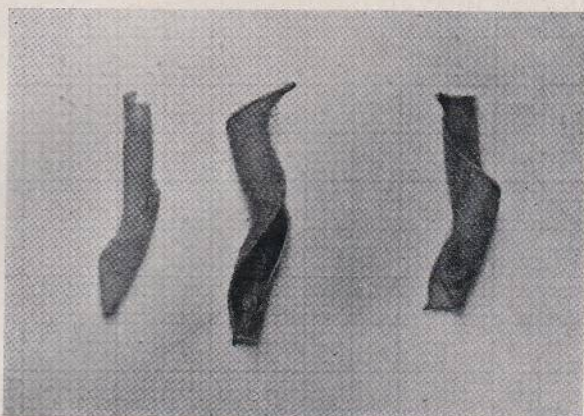


Abb. 10. Die Krümmung der unverletzten Tochterklappe (rechts) einer Hülse, und die der isolierten Außen- (in der Mitte) und Innenschicht (links) derselben Hülse.

Glycine und *Wistaria* stets in der gleichen Richtung der unverletzten Klappe oder des Bewegungsgewebes (vgl. Abb. 10 u. Tab. 18). Deswegen kann die Außenschicht in einigen Fällen bei der Krümmung der Hülse mitwirken, jedoch besteht die Krümmung nur in schwachem Grade. Diese Krümmung muß durch die Schrumpfungsdifferenz zwischen dem Außenteil (E_a+W) und Innenteil (P) in der Außenschicht verursacht werden. Wie in Tab. 12 gezeigt, kann sich das Parenchym in Richtung stärker als E_a und W schrumpfen.

TABELLE 18. Krümmung der Klappe und der isolierten Außen- und Innenschicht von *Glycine*.

	mm	K	A	I
2. Dez. (18,9°, 15,2°)	L	24,5	28,5	23,0
	p	12	24	11
	2ρ	5	6	4
3. Dez. (17,0°, 13,8°)	L	24,0	28,5	24,0
	p	13	23	10
	2ρ	5	7	4

Der Krümmungsradius des isolierten Bewegungsgewebes betrug an *Glycine* bis zu 2 mm oder er war noch kleiner. Zu dieser Krümmung muß die Überschrumpfung der Innenseite gegen die Außenseite vorhanden sein. Die Größe ist

$$\Delta l = \frac{d \cdot l}{r_A} = \frac{0,071 \text{ mm} \cdot 100}{2 \text{ mm}} = 3,55\% (\bar{d}_B = 0,071 \text{ mm})$$

Die gleiche Schrumpfungsdifferenz konnte ich schon an B_Q und B_L von *Wistaria* feststellen (s. Tab. 13). D.h. im Gleichgewichtszustand mit

Luft von 18°C und 60% ist $\Delta B_{L.L}$ etwa 3,2% größer als $\Delta B_{Q.L}$. Aber das Bewegungsgewebe von *Wistaria* kann sich mit dieser Schrumpfungsdifferenz nie so stark krümmen, weil dessen Dicke 0,65 mm beträgt. Der berechnete Krümmungsradius für B von *Wistaria* ist 1,91 cm, und den gleichen können wir öfters tatsächlich an dem Gewebe finden. Die anatomische und submikroskopische Struktur des Bewegungsgewebes der beiden Arten ist, wie schon beschrieben, identisch, so dürfte die große Möglichkeit bestehen, daß die Überschrumpfung von 3,5% in B_L von *Glycine* beim Austrocknen der Klappe hineintreten kann.

Der Wirkung der Bauch- und Rückennaht auf die Schleuderbewegung müssen wir zuletzt eine Betrachtung geben. Nach ZIMMERMANN spielte das mechanische Gewebe von N_B und N_R beim Krachen der Hülse und für das darauffolgende Tordieren der Klappen keine Rolle, oder es hatte vielmehr eine verhindernde Wirkung. Aber HILDEBRAND bemerkte schon recht, daß die parenchymatischen Trennungsgewebe zwischen je zwei Bastfaserbündeln an beiden Nähten für das Krachen sehr bedeutungsvoll sind. Ich muß hier auch weitere Mitwirkung dieser mechanischen Gewebe behaupten. Da $\Delta N_{B//}$ und $\Delta N_{R//}$ nur 1,0% bzw. 1,3%, aber $\Delta N_{B.L}$ 10,6% und $\Delta N_{R.L}$ 8,1% war, so können diese mechanischen Gewebe beim Austrocknen die dazwischen hineintretende, schwache Zellage mächtig nach beiden Seiten ziehen. Diese Kraft und die Spannung zwischen dem Bewegungs- und Widerstandsgewebe spalten die Hülse an dem Trennungsgewebe der Nähte in zwei Klappen. Dabei kommt die Öffnung stets zuerst an der Bauchnaht, d.h. an der Seite der Placenta, vor, dadurch werden die Bohnen, wie schon erwähnt, plötzlich nach beiden Seiten ausgeschleudert. An welchem mechanischen Bau kommt das erstere Abspalten der Bauchnaht vor? Das Trennungsgewebe von N_B ist schwächer als dasselbe von N_R , im Gegenteil das mechanische Gewebe an N_B stärker als N_R gebildet, und doch ist bemerkenswert, daß bei der Austrocknung jene etwa 2% mehr als diese schrumpfen kann. Daß aber die schon abgespaltenen feuchten Klappen mit dem Austrocknen sich stets zuerst von der Bauchnaht öffnen, ist nur mit diesen Beschaffenheiten ungelöst geblieben. Die Hülse der Papilionaceen entwickelt sich von einem monokapeligem Fruchtknoten. Daher teilt sich das mechanische Gewebe der Bauchnaht dicht unten dem Fruchtstiel in zwei Bündel, aber die zwei Bastfaserbündel der Rückennaht halten noch etwa 5 mm lang des oberen Teiles zusammen (vgl. Abb. 11). Infolgedessen teilt sich die Hülse an der Bauchnaht tiefer als an der Rückennaht.

Die genäßte Klappe krümmt sich mit höherem Wassergehalt stärker als die trocken gebliebene, wie schon früher beschrieben worden. An der unverletzten Hülse wird zuerst die Außen-Epidermis und nächstens das Widerstandsgewebe getrocknet, jedoch wird auch das Bewegungsgewebe mit dem Trockenwerden der äußeren Schichte zugleich schnell

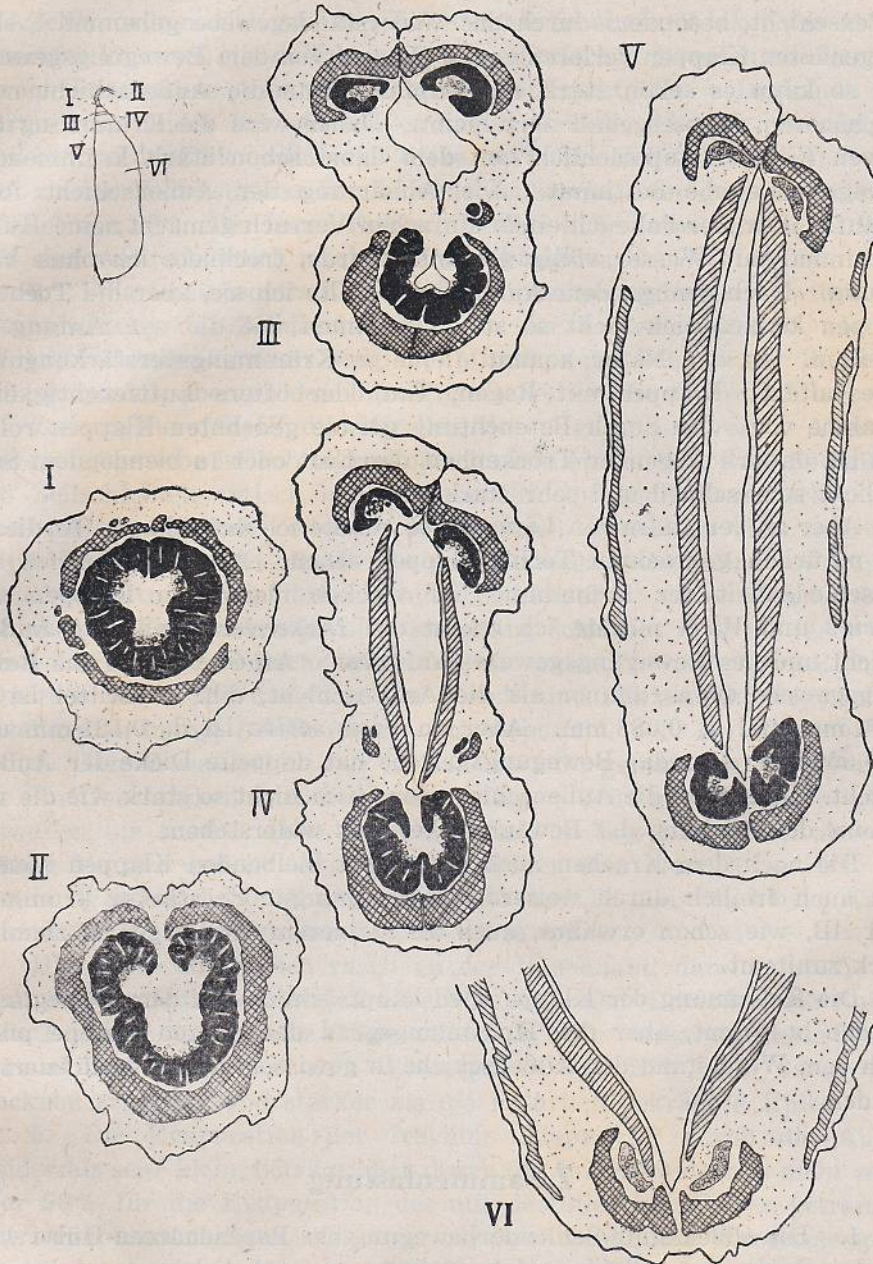


Abb. 11. Querschnittansichten einer *Glycine*-Hülse. Nach oben Bauchnaht, nach unten Rückennaht. Schwarz gestrichen = Holzteil; doppelt schraffiert = Bastfaserbündel; punktiert = Parenchym; schraffiert = Widerstands- und Bewegungsgewebe.

getrocknet. Die Abhärtung kommt zuerst am Widerstandsgewebe vor. Deswegen wird die Krümmung des Bewegungsgewebes selbst durch die

Außenschicht, besonders durch das Widerstandsgewebe gehemmt. Aber die genäßten Klappen verloren zuerst Wasser von dem Bewegungsgewebe, und so kann es schon stark schrumpfen, wenn die Außenschicht noch mit höherem Wassergehalt zart bleibt. Daher wird die Krümmung der ganzen Klappe hauptsächlich von dem dabei schon stark krümmenden Bewegungsgewebe bestimmt. Die Abhärtung der Außenschicht folgt darauf. Hierüber habe ich einen einfachen Versuch gemacht; eine Hülse, die einmal mit Wasser völlig getränkt wurde, trocknete ich ohne Verletzung. Nach genügendem Austrocknen teilte ich sie, aber die Tochterklappen können sich nicht so stark krümmen wie die von Anfang an geteilten. In der Natur kommt diejenige Krümmungsverstärkung der abgespaltenen Klappen mit Regen, Tau oder öfters Luftfeuchtigkeitszunahme vor. Die durch Befeuchtung gerade gedehnten Klappen rollen sich bei danach folgender Trockenheit der Luft oder in blendendem Sonnenlicht sehr schnell und sehr stark ein.

Aber an der Hülse von *Vicia sativa* konnte ich das schnelle Tordieren der natürlich gekrachten Tochterklappen sehen. Als die Ursachen der Verschiedenheit der Krümmung der trocken bleibenden Klappen von *Glycine* und *Vicia* möchte ich zuerst das Dickenverhältnis der Außenschicht und des Bewegungsgewebes anführen. An *Glycine* ist das Bewegungsgewebe etwas dünner als die Außenschicht, d.h. im Mittel ist d_B 0,071 mm und d_A 0,088 mm. Aber an *Vicia sativa* ist d_B 0,121 mm und d_A 0,060 mm, oder das Bewegungsgewebe hat doppelte Dicke der Außenschicht. So könnte die Außenschicht von *Vicia* nicht so stark wie die von *Glycine* der Wirkung des Bewegungsgewebes widerstehen.

Die nach dem Krachen noch getrocknet bleibenden Klappen können sich auch freilich durch weitere Austrocknung noch stärker krümmen, weil ΔB , wie schon erwähnt, auch an kleinerem Wassergehalt ziemlich stark zunimmt.

Die Krümmung der Klappe wird hauptsächlich von dem Bewegungsgewebe bestimmt, aber der Krümmungsgrad der ganzen Klappe pflegt nach dem Widerstand der Außenschicht in gewissem Grade modifiziert zu werden.

Zusammenfassung

1. Die allbekannte Schleuderbewegung der Papilionaceen-Hülse wird an der Sojabohne, *Glycine Max* MERRILL, ausführlich untersucht, mit besonderer Berücksichtigung der submikroskopischen Struktur, die Wassergehaltsveränderung und die sie begleitete Schrumpfung und die Elastizität des Klappengewebes.

2. Unter der einschichtigen Außen-Epidermis liegt eine dichte Schicht von prosenchymatischen Zellen, oder das „Widerstandsgewebe“.

Die Zellen ordnen sich mit der Hülsenachse in einem Winkel von 41° an. Darunter kommen einige Schichten von elliptischen Parenchymzellen vor, deren Längsachse zur Hülsenachse senkrecht ist. Innerhalb des Parenchyms finden wir ein weißes hartes Gewebe, d.h. das „Bewegungsgewebe“. Die Zellen, die eine dicke verholzte Zellwand haben, reihen sich zu den Widerstandszellen beinahe senkrecht, oder genauer in einem Winkel von 96° . Die Innen-Epidermiszellen haben eine sehr zarte Wand und sind wahrscheinlich mechanisch wirkungslos.

3. Polarisationsoptisch und auch röntgenographisch wurde die Haupttrichtung der Zellulose-Mizellen in der Zellwand bestellt. In den Widerstandszellen ordnen sich die Mizellen ziemlich streng längs der Zellenachse an, aber an den Parenchymzellen ist die Haupttrichtung quer zur Zellenachse, jedoch die Mizellen liegen ganz zerstreut. Aber das Bewegungsgewebe ist submikroskopisch nicht einheitlich, weil die äußeren 1–3 Zellschichten optisch negativ, aber die inneren 3–5 optisch positiv sind. An der dicken Zellwand der ersteren entwickeln sich zahlreiche Tüpfel sehr gut, aber die Zellen der letzteren haben eine an Tüpfeln arme, verhältnismäßig dünne Wand. Die Mizellen ordnen sich an dieser beinahe der Zellenachse parallel an (Längsschicht), aber an jener sehr unregelmäßig oder vielmehr im großen und ganzen in der queren Richtung (Querschicht). Die Bastfaser der Bauch- und Rückennaht zeigt schiefe Mizellenanordnung, jedoch ist sie optisch positiv.

4. Der Wassergehalt der Hülse schwankt gemäß dem Tagesverlauf der Luftfeuchtigkeit ziemlich weit. Gegen Mittag sinkt er minimal, bisweilen bis zu 8% (pro Trockengewicht 1 Tag in 110°C) ab. Am frühen Morgen und in der Nacht beträgt er aber etwa 20%. Mit dem 10%ig. Wassergehalt, daher zwischen 11 und 12 Uhr des klaren Tages, kommt das Aufspringen der *Glycine*-Hülse vor.

Die Hülse öffnet sich rasch an der Bauchnaht, dann folgt die Abspaltung der Hülse in zwei Tochterklappen. Dabei werden die Bohnen etwa 1 m oder noch weiter ausgeschleudert. Die wassergetränkte Klappe krümmt sich schon mit dem Wassergehalt von 25%, und durch Austrocknen schneller und stärker als die natürlich gekrachte Hülse.

5. Die Evaporation der feuchten Klappe ist durch die Außen-Epidermis sehr klein, beträgt aber durch die Innen-Epidermis nicht selten über 90% für die Evaporation des mit destilliertem Wasser getränkten Filtrierpapierstückchens. Die hygroskopisch gebundene Wassermenge im Bewegungsgewebe ist etwa eine Hälfte oder zwei Drittel der Außenschicht. Daher kann das Bewegungsgewebe unter ein und derselben Bedingung weit schneller als die Außenschicht oder das Widerstandsgewebe trocknen.

6. Die durch Austrocknen hervorgerufene Schrumpfung des Gewebes ist stets stärker in der tangentialen Richtung des betreffenden Gewebes als in der longitudinalen, aber die mizellare Struktur der

Zellmembran spielt auch eine große Rolle für die anisotrope Membrankontraktion. Ein Klappenstückchen schrumpft in der tangentialen Richtung zum Bewegungsgewebe über 7%, aber in der longitudinalen ca 4%. Die isolierte Außenschicht zeigt 15% oder mehrere Schrumpfungen in der tangentialen Richtung zum Widerstandsgewebe, aber 8% in der longitudinalen. Das Parenchym selbst schrumpft tangential ca. 13%, longitudinal 10%. Das Bewegungsgewebe vermindert seine Länge höchstens 1,6%, aber seine Weite nahe 12%, durchschnittlich 0,6% bzw. 11,9%. Die Querschicht und die Längsschicht des *Wistaria*-Bewegungsgewebes schrumpft tangential je 6,1% bzw. 9,3%, longitudinal 2,5% bzw. 1,0%. Die Bastfaserbündel der Bauch- und Rückennaht können tangential ca. 10% schrumpfen, doch longitudinal bloß etwa 1%.

7. Der Elastizitätsmodul des Bewegungsgewebes ist in der Richtung der Faser etwa $3,5 \cdot 10^{11}$ dyn/cm², aber in der queren Richtung $0,4 \cdot 10^{11}$ dyn/cm². Die Außenschicht ist beinahe isotrop: der Modul etwa $0,5 \cdot 10^{11}$ dyn/cm². Die Elastizität aber sinkt mit der Wassergehaltszunahme, besonders an der Außenschicht deutlich, ab. Der Modul der *Wistaria*-Klappe war an der Außenschicht $0,1 \cdot 10^{11}$ dyn/cm² (Luftfeucht. 60%), und am Bewegungsgewebe $0,47 \cdot 10^{11}$ dyn/cm² (B//).

8. Durch das langsame Austrocknen und die höhere Hygroskopizität der Außenschicht kann das Bewegungsgewebe die genügende Austrocknung und Abhärtung bald vor dem Aufspringen vollenden. Dann findet das Krachen durch die Hauptwirkung des Bewegungsgewebes statt. Dabei öffnet sich die Hülse zuerst an dem parenchymatischen Trennungsgewebe der Bauchnaht, weil die zwei Bastfaserbündel der Rückennaht etwa 5 mm lang unter dem Fruchtsiel zusammenhalten, trotzdem die der Bauchnaht bald unter dem Fruchtsiel zwei geteilt sind. Die darauf folgende Krümmung der Klappen wird nur mit weiterem Austrocknen gefordert, weil eine neue Schrumpfung des Bewegungsgewebes notwendig ist. Die genähten abgesonderten Klappen zeigen die gleiche Krümmung, welche die stark getrockneten Klappe bald nach dem Krachen haben, schon mit höherem Wassergehalt (etwa 25%), und sie rollen sich schneller und stärker als die letzteren. Dabei trocknet das Bewegungsgewebe vor der Abhärtung der Außenschicht schnell aus, und rollt sich stark ein, so daß die hemmende Wirkung des Widerstandsgewebes beinahe nicht in die Erscheinung treten kann. Die Bastfaserbündel der Bauch- und Rückennaht scheinen auch die Schleuderbewegung durch tangentielle Schrumpfung zu fördern.

Meinem Lehrer, Herrn Prof. Dr. H. NAKANO, möchte ich für seine wertvollen Ratschläge bei der Arbeit herzlich danken. Die Untersuchung mit Röntgenstrahlen ist mit der Hilfe von Prof. Dr. M. NISIKAWA, Prof. Dr. M. HIRATA und Dozenten Dr. Y. TAKAGI in dem physikalischen In-

stitut ausgeführt worden. Bei der polarisationsoptischen Forschung wurde ich von Prof. Dr. S. Tsuboi angeleitet. Den Herren Professoren bin ich für ihre freundliche Leitung und Unterstützung großen Dank schuldig.

BOTANISCHES INSTITUT, NATURWISSENSCHAFTLICHE
FAKULTÄT, KAISERL. UNIVERSITÄT ZU TOKYO

Literatur.

- BENECKE-JOST: 1923. Pflanzenphysiologie, 4. Aufl. Bd. II. S. 225–228.
- BRAUNER, L.: 1932. Pflanzenphysiologisches Praktikum. II. Teil. S. 95–97. Jena.
- BÜNNING, E.: 1939. Die Physiologie des Wachstums und der Bewegungen. S. 112–114. Berlin.
- EICHHOLZ, G.: 1885. Untersuchungen über den Mechanismus einiger zur Verbreitung von Samen und Früchten dienenden Bewegungserscheinungen. Jahrb. f. wiss. Bot. 17. 543–590.
- FREY-WYSSLING, A.: 1935. Die Stoffausscheidung der höheren Pflanzen. Berlin.
- : 1936. Der Aufbau der pflanzlichen Zellwände. Protoplasma, 26. 261–300.
- : 1937. Über die submikroskopische Morphologie der Zellwände. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 55. (119)–(132).
- V. GUTTENBERG, H.: 1926. Die Bewegungsgewebe. Handbuch der Pflanzenanatomie, Bd. V.
- HABERLANDT, G.: 1924. Physiologische Pflanzenanatomie. 6. Aufl. 513–518. Leipzig.
- HILDEBRAND, F.: 1873–74. Die Schleuderfrüchte und ihr im anatomischen Bau begründeter Mechanismus. Jahrb. f. wiss. Bot. 9. 235–276.
- HIRATA, M.: 1933. Rigidity of Wistaria Pod. Sci. Papers of the Inst. Phys. and Chem. Res. 21.
- V. HÖHNEL, Fr. 1884. Über das Verhalten der vegetabilischen Zellmembran bei der Quellung. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 2. 41.
- KRAUS, G.: 1866. Über den Bau trockener Pericarpn. Jahrb. f. wiss. Bot. 5. 121.
- KISSER, J.: 1925. Elastizität und Festigkeit pflanzlicher Gewebe. Tab. Biol. I. S. 27–34.
- NISHIKAWA, S. und ONO, S.: 1913. Transmission of X-Rays through Fibrous, Lamellar and Granular Substances. Tokyo Su. But. Kw. K., Ser. 2, 7. 131–138.
- SACHS, J.: 1874. Lehrbuch der Botanik. 4. Aufl. Leipzig.
- SCHNEIDER, S.: 1935. Untersuchungen über die Samen-Schleudermechanismen verschiedener Rhoadales. Jahrb. f. wiss. Bot. 81. 663–704.
- SCHOENICHEN, W.: 1924. Biologie der Blütenpflanzen. S. 188–190.
- SCHWENDENER, S.: 1887. Über Quellung und Doppelbrechung vegetab. Membranen. Sitzungsber. d. Kön. Preuss. Akad. d. Wiss. 34. (Zitiert nach GUTTENBERG).
- STEINBRINCK, C.: 1878. Untersuchungen über das Aufspringen einiger trockenen Pericarpn. Bot. Ztg. 36. 577.
- : 1883. Über den Öffnungsmechanismus der Hülsen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. 1.

- : 1891: Über die anatomisch-physikalische Ursache der hygroskopischen Bewegungen pflanzlicher Organe. *Flora*, **49**.
- : 1906. Über Schrumpfungs- und Kohäsionsmechanismen von Pflanzen. *Biol. Ctbl.* **26**. 657-677, 721-744.
- : 1913. Der Öffnungsapparat von Papilionaceenhülsen im Lichte der „Strukturtheorie“ der Schrumpfungsmechanismen. *Ber. d. Deutsch. Bot. Ges.* **31**. 529-535.
- TAKAHASHI, M.: 1936. Studies on the mechanism of the bending and wringing of plant bodies. IV. (japanisch.) *Bot. Zool.* **4**.
- TERADA, T., HIRATA, M. u. UTIGASAKI, T.: 1933. On the Mechanism of Spontaneous Expulsion of Wistaria Seeds. *Sci. Papers of the Inst. Phys. and Chem. Research.* **21**.
- ZIMMERMANN, A.: 1881. Über mechanische Einrichtungen zur Verbreitung der Samen und Früchte mit besonderer Berücksichtigung der Torsionserscheinungen. *Jahrb. f. wiss. Bot.* **12**. 542-577.
- : 1883-84. Molekular-physikalische Untersuchungen. I. II. u. III. *Ber. d. Deutsch. Bot. Ges.* **1** u. **2**.