

56. Hans Molisch: Beiträge zur Mikrochemie der Pflanze. Nr. 12 und 13.

(Mit Tafel XV.)

(Eingegangen am 4. Oktober 1918.)

Nr. 12: Über Riesenkieselkörper im Blatte von *Arundo Donax*.

Das Vorkommen von hochgradig verkieselten Zellmembranen in der Familie der Gramineen ist eine seit langem bekannte Tatsache¹⁾. Seit der gründlichen und ausführlichen Arbeit GROBS²⁾ wissen wir, daß in der Oberhaut zahlreicher Gramineen auch Kieselkörper sehr verbreitet sind.

Bei der Untersuchung des Blattes von *Arundo Donax* fielen mir Kieselkörper von sehr großen Dimensionen auf, die ich in der Arbeit von GROB nicht behandelt finde und daher kurz schildern will.

Das Blatt dieser im Süden Europas an feuchten Orten der Mittelländer wild vorkommenden und daselbst sowie im spanischen Südamerika vielfach kultivierten Pflanze zeigt folgenden anatomischen Bau: Der Querschnitt läßt eine obere und eine untere Epidermis mit kleinlumigen Zellen und Spaltöffnungen erkennen. Dazwischen liegt das Mesophyll, in dem die Gefäßbündel auffallend regelmäßig nebeneinander gelagert sind. Sie erscheinen von einem Kranz wasserklarer, großlumiger Zellen umgeben, die wohl in erster Linie als Wasserspeicher dienen. Rechts und links davon liegen Streifen von grünem Parenchym und zwischen je zweien dieser zieht wieder von der oberen Epidermis bis tief hinab zu dem subepidermalen grünen Mesophyll ein Streifen großlumiger wasserheller Parenchymzellen. Der oberste Teil dieses farblosen Streifens gehört einer Gruppe von gewöhnlich 5 Epidermiszellen an, die sich von den gewöhnlichen Oberhautzellen durch ihre Größe unterscheiden und nach dem Mittelpunkte dieser Gruppe konvergieren. Fig. 1 K. Die mittlere Zelle dieser Gruppe ist die größte und hat beiläufig die Form eines

1) KOHL F. G., Anatomisch-physiologische Untersuchung der Kalksalze und Kieselsäure in der Pflanze. Marburg 1889.

MOLISCH H., Mikrochemie d. Pflanze. Jena 1913, p. 71.

2) GROB A., Beiträge zur Anatomie der Epidermis der Gramineenblätter. Bibliotheca botanica, Heft 36. Stuttgart 1896.

abgerundeten Dreiecks. Sie ist es, die häufig einen auffallend großen, das ganze Lumen ausfüllenden Kieselkörper K enthält. Fig. 2. Auf dünnen Querschnitten des Blattes erscheinen diese Zellen — im folgenden als Kieselkörperzellen bezeichnet — gewöhnlich leer, weil der Kieselkörper aus der aufgeschnittenen Zelle durch das Messer herausgerissen wird. Werden aber Flächenschnitte oder ganze Blattstücke mit der oberen Epidermis nach oben in konzentrierte Phenollösung gelegt, so findet eine so günstige Aufhellung des Gewebes statt und gleichzeitig heben sich die Kieselkörper durch ihre Lichtbrechung im Phenol so stark ab, daß sie nun deutlich hervortreten. Von oben gesehen zeigen sie die Form eines breiten Schenkelknochens, einer Sanduhr oder eines zackigen oder abgerundeten prismatischen Blockes. Fig. 3 u. 4. Ihre Größe ist sehr bedeutend, sie sind, im Flächenschnitt gesehen 72—108 μ lang, an den Enden 43—100 μ und in ihrer Mitte 11—54 μ breit. Sie gehören demnach zu den größten Kieselkörpern, die im Pflanzenreiche in Zellen beobachtet worden sind und können mit Recht als Riesen-Kieselkörper bezeichnet werden. Konkurrenzfähig in dieser Beziehung sind höchstens die von mir seinerzeit aufgefundenen Kieselkörper in den Prismenzellen des Endokarps der Steinnuß, *Phytelephas*¹⁾. —

Läßt man Blattstücke in Chrom-Schwefelsäure einen Tag liegen, so wird das Gewebe zerstört, die Kieselkörper bleiben nebst den verkieselten Membranen der Oberhautzellen isoliert zurück und ihre Eigenschaften können leicht und bequem beobachtet werden. Fig. 3. Sie sind in organischen und mineralischen Säuren mit Ausnahme der Flußsäure unlöslich.

Werden Blattstücke geglüht, so bleiben schöne Kieselskelette übrig und die beschriebenen Kieselkörper geben sich in unterbrochenen Reihen, gewöhnlich einzeln, zu zweien, seltener zu mehreren beisammen liegend, durch ihre schwärzlich-braune Farbe und durch ihre bedeutende Größe schon bei schwachen Vergrößerungen zu erkennen. Fig. 4. Blattstücke geben ohne Zusatz geglüht oft eine schwärzliche, mit konzentrierter Salpetersäure aber eine ziemlich weiße Asche.

Außer diesen großen Kieselkörpern finden sich im *Arundo*-Blatt über den subepidermalen Bastbündeln liegende Reihen von kleinen Kieselkörpern, wie sie für viele Gramineenblätter charakteristisch und auch schon beschrieben worden sind.²⁾ Ihre Form ist von oben

1) MOLISCH H., Mikrochemie der Pflanze. Jena 1913, p. 75.

2) GROB, A., l. c.

gesehen sanduhr- und im Querschnitt des Blattes beobachtet sattelförmig. S. Fig. 4 s. Hierher gehören auch die Kieselkörper, die bei *Bambusa stricta* und anderen *Bambusa*-Arten in Epidermiszellen vorkommen. Es finden sich hier über den parallel verlaufenden Strängen Oberhautzellen von zweierlei Art: langgestreckte mit welliger Kontur und kurze mit je einem die Zelle vollends ausfüllenden, einer Sanduhr ähnlichen Kieselkörper. Diese bilden über den Strängen auf der Unterseite des Blattes je nach der Breite des Stranges 1—4 unterbrochene Reihen, die sich im Phenol mit aller nur wünschenswerten Deutlichkeit abheben. Bis zu einem gewissen Grade ähneln sie in der Form den Kieselkörpern von *Arundo*, in der Größe aber können sie sich mit diesen keineswegs messen; denn sie sind durchschnittlich nur 18—21 μ breit und 5—10 μ hoch.

Nicht unerwähnt bleibe die Tatsache, daß bei *Bambusa stricta* — und dies ist bei einer Graminee ein nicht gewöhnlicher Fall — auch Kristalle einer Kalkverbindung auftreten. Die zwischen den längsverlaufenden Blattnerven liegenden Gruppen von Wasserzellen, die ich vorhin bei *Arundo* beschrieben habe und von denen die mittlere größte bei *Arundo* häufig den großen Kieselkörper führt, finden sich auch bei *Bambusa*, aber sie enthalten keine Kieselkörper, sondern anstatt dieser die erwähnten Kalkkristalle. Diese haben eine prismen-, rauten-, stäbchen-, nadel-, spindel-, kugel- oder drusenartige Form und finden sich auch in den Epidermiszellen über den Blattnerven, hier aber gewöhnlich nur einzeln oder zu zweien. Mit Schwefelsäure geben sie Gipskristalle, es handelt sich also um ein Kalksalz, möglicherweise um oxalsauren Kalk.

WIELER¹⁾ hat Kieselkörper auch in der Epidermis des Zuckerrohrs genau beschrieben, gibt solche auch für *Bambusa* und *Zea mais* an, und wenn er die Bemerkung macht, daß in Kieselzellen vorkommende Kieselkörper unter den Gräsern eine viel weitere Verbreitung haben dürften, so hat dies die Arbeit von GROB vollends bestätigt. Meiner Meinung wäre es überhaupt eine dankbare Aufgabe, der Verbreitung der Kieselkörper sowie der Histologie und Entwicklung der sie enthaltenden Zellen nachzugehen, hier gilt es noch manches festzustellen. Fragen wie die: Sind solche Zellen, die von einem Kieselkörper erfüllt sind, lebend? Haben sie noch Kern und Protoplasma? sind vorläufig noch nicht beantwortet.

1) WIELER, A., Beiträge zur Anatomie des Stockes von *Saccharum*. Beitr. z. wissensch. Botanik, herausgegeben von FÜNFSTÜCK. Bd. II (1898), p. 145—151.

Nr. 13: Über das Verhalten der Zystolithen gegen Silber- und andere Metallsalze.

In einer vor kurzem der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien übergebenen Abhandlung¹⁾ habe ich gezeigt, daß die lebenden Chlorophyllkörner der meisten Pflanzen das auffallende Vermögen haben, salpetersaures und schwefelsaures Silber rasch zu reduzieren und sich infolge dessen zu schwärzen. Bei diesen meinen Untersuchungen habe ich gesehen, daß auch die Zystolithen, aber unabhängig vom Leben der Zelle, dieses Verhalten in sehr prägnanter Weise zeigen²⁾.

Urtica. Wenn man einen Zystolithen führenden Flächenschnitt durch das Blatt der Brennessel, *Urtica urens* in eine 1 prozentige Silbernitratlösung einbettet, mit einem Deckglas bedeckt und im Finstern liegen läßt, so kann man schon nach wenigen Minuten die Schwärzung der Chlorophyllkörner und alsbald auch die Schwärzung der kugeligen, an ihrer Oberfläche rauh erscheinenden Zystolithen beobachten. Dasselbe gelingt mit schwefelsaurem und milchsaurem Silber. Die am Rande des Schnittes liegenden Zystolithen, die dem Silbersalz am leichtesten zugänglich sind, färben sich zuerst, die mehr in der Mitte befindlichen später. Ungemein instruktive Präparate erhält man, wenn man das *Urtica*-Blatt zunächst so behandelt, wie für die SACHS'sche Jodprobe: wenn man es zuerst im destillierten Wasser rasch abbrüht, dann in heißem Alkohol vom Chlorophyll befreit, in Wasser auswäscht, das nunmehr schneeweiße Blatt in eine 1 proz. Silbernitratlösung für mehrere Stunden bis 1 Tag im Finstern einlegt, dann in Wasser sorgfältig auswäscht und schließlich in Glycerin einbettet. — Schon mit der Lupe betrachtet, erscheinen die Zystolithen als schwarze Punkte, mit denen das ganze Blatt wie übersät ist. Auch die Brennhaare und die anderen Haare zeigen sich gebräunt oder geschwärzt, während der übrige Teil des Blattes ziemlich hell erscheint, darunter auch die Chlorophyllkörner, da diese nur im lebenden Zustande das Silbersalz reduzieren, im toten aber nicht. Bei der mikroskopischen Beobachtung läßt sich leicht erkennen, daß die zahllosen schwarzen Punkte, die schon mit der Lupe gesehen werden, den Zystolithen angehören. Auf die vorhin erwähnte Schwärzung der Haare und auf die der Spaltöffnungen wird später noch zurückzukommen sein.

1) MOLISCH H., Das Chlorophyllkorn als Reduktionsorgan. Sitzber. d. Kais. Akad. d. Wissensch. i. Wien. Mathem.-naturw. Kl. Abt. I, 1918.

2) Ob die Schwärzung der Zystolithen auf der Abscheidung von Silberoxyd oder metallischem Silber beruht, wurde nicht untersucht.

Urtica dioica. Die Zystolithen dieser Art sind im Gegensatze zu *U. urens* nicht kugelig, sondern wurst- oder kurz wurmförmig. Auch sie schwärzen sich ebenso wie die Haare. Fig. 5.

Boehmeria polystachya, *B. biloba* und *B. Hamiltoniana* und *Pellionia Daveauana* verhalten sich bezüglich der Zystolithen ebenso. Hervorheben möchte ich, daß man die kugeligen Zystolithen der *Boehmeria Hamiltoniana hort.* schon mit freiem Auge bei durchfallendem Lichte als helle Punkte im frischen Blatte sehen kann. Natürlich noch besser mit der Lupe.

Ficus-Arten (*Ficus elastica*, *F. repens*), *Humulus Lupulus*, *Parietaria officinalis*, *Celtis australis*, *Broussonetia papyrifera* reduzieren mit den Zystolithen die erwähnten Silbersalze gleichfalls. Ebenso die von *Eranthemum*, *Goldfussia*, *Ruellia* und *Klugia*, mit einem Worte: alle Zystolithen, die untersucht wurden, mochten sie den *Urticales*, den *Acanthaceen* oder anderen Familien angehören, reduzieren salpetersaures, schwefelsaures und milchsäures Silber schon im Finstern so stark, daß sie sich nach einiger Zeit intensiv schwärzen.

Welcher Stoff der Zystolithen verursacht diese Reduktion?

Die Zystolithen stellen bekanntlich exzentrische Wandverdickungen dar, die aus Zellulose bestehen und mit kohlen-saurem Kalk und mitunter auch mit Kieselsäure inkrustiert sind. Die Zellulose und die Kieselsäure kam dabei von vornherein nicht in Betracht, wohl aber der kohlen-saure Kalk. Es hat sich nun, wie die folgenden Tatsachen beweisen, wirklich herausgestellt, daß das Kalkkarbonat die Silberreduktion hervorruft.

1. Zeigten die Zystolithen nur dann die Schwärzung, so lange sie noch kohlen-sauren Kalk enthalten. Wird dieser durch Einlegen der Blätter in 10 prozentige Salzsäure weggeschafft, dann bleibt bei nachheriger Behandlung der Zystolithen führenden Gewebe mit Silbernitrat die Silberabscheidung aus.

2. Seinerzeit wurde von mir¹⁾ gezeigt, daß im Marke von *Goldfussia isophylla*, *G. glomerata* und *Ruellia ochroleuca* auch kalkfreie Zystolithen vorkommen. Werden diese mit dem Silbersalz behandelt, so schwärzen sie sich nicht, während die im selben Internodium liegenden normalen, mit Kalkkarbonat inkrustierten Zystolithen die Silberreduktion prompt durchführen.

1) MOLISCH H., Über kalkfreie Zystolithen. Österr. botan. Zeitschr. 1882, Nr. 11.

3. Wird chemisch reines Kalkkarbonat mit salpetersaurem Silber im Finstern geschwärzt. Wenn die Schwärzung langsamer eintritt als bei den Zystolithen, so mag dies in der Art der Verteilung des Kalkes innerhalb der Zystolithen begründet oder es mögen vielleicht noch andere Stoffe an der Silberabscheidung beteiligt sein. — Wenn kohlsaurer Kalk sich unter anderem so leicht durch die genannten Silbersalze zu erkennen gibt, dann müßte auch dort, wo man, abgesehen von Zystolithen, Kalkkarbonat im Pflanzenreiche nachgewiesen hat, Schwärzung mit Silbernitrat eintreten. In der Tat zeigen viele Haare, die mit kohlsauerm Kalk inkrustiert sind, Schwärzung, z. B. die Brennhaare von *Urtica dioica* und *U. urens* und zwar in der Membran und im Inhalt. Die verkalkten Haare des Hopfens sind oft an der Basis mit einem Wall von Zellen kranzförmig umgeben, die kohlsaurer Kalk enthalten. Wo sich dieser vorfindet, findet mit salpetersaurem Silber Schwärzung statt und dasselbe gilt auch von den Haaren der Cucurbitaceen, Borragineen und gewisser *Cruciferen*. —

Nach dem Gesagten darf es nicht überraschen, daß die auf verschiedenen Algen und höheren, submers lebenden Wasserpflanzen infolge der Kohlensäure-Assimilation abgeschiedenen Konkreme, Schüppchen und Krusten von kohlsauerm Kalk sich mit Silbernitrat im Finstern nach längerer Zeit ebenfalls schwärzen.

Ausdrücklich sei betont, daß selbstverständlich aus einer Schwärzung mit Silbersalzen nicht ohne weiteres folgt, daß sie von Kalkkarbonat herrührt, da ja die verschiedensten Substanzen Silberreduktion hervorrufen können; wenn aber noch auf anderer Weise kohlsaurer Kalk nachgewiesen oder wahrscheinlich gemacht wurde, so kann die Silberreaktion noch zur Stütze herangezogen werden. Oder man kann in der Schwärzung einen Fingerzeig erblicken, daß Kalkkarbonat vielleicht vorhanden ist. So finde ich häufig die Schließzellen nach Entfernung des Chlorophylls aus dem Blatte durch Silbernitrat geschwärzt. Die Schließzellen verschiedener Pflanzen (*Klugia*, *Broussonetia*, *Deutzia*) erscheinen nach Behandlung mit Silbernitrat schwarz oder schwarzbraun gefärbt oder fein schwarz punktiert und zwar so dicht, daß sie sich von der farblosen oder helleren Umgebung durch ihre schwarze Färbung scharf abheben. Nach Einwirkung verdünnter Salzsäure zeigen die Schließzellen diese Reaktion nicht mehr, möglicherweise weil der kohlsaurer Kalk, der die Schwärzung vielleicht hervorruft, weggelöst wurde. Wie dem auch sei, ob die Schwärzung der Schließzellen vom Kalkkarbonat oder von einer anderen Substanz herrührt, jedenfalls geht auch aus dieser Beobachtung hervor, daß der Chemismus der Spalt-

öffnungen oft ein ganz anderer ist als in den übrigen Epidermiszellen, wie dies ja einer meiner Schüler für zahlreiche andere Fälle dargetan hat¹⁾.

Über die Funktion der Zystolithen sind zwar verschiedene Vermutungen geäußert worden, doch ist darüber Sicheres nicht bekannt. Daher läßt sich auch sehr schwer sagen, ob ihr Reduktionsvermögen der Silbersalze mit ihrer Funktion zusammenhängt. —

In meiner Arbeit über Pseudoindikan²⁾ habe ich unter anderm auch zeigen können, daß die Zystolithen bei längerer Berührung mit Eisenvitriollösung sich rostrot färben. Diese Farbe ist auf die Fällung von Eisenoxydhydrat zurückzuführen, die durch die alkalische Reaktion des den Zystolithen inkrustierenden kohlen sauren Kalkes verursacht wird.

Äußerst instruktive Präparate erhält man, wenn man das Blatt der Brennessel mit Alkohol von Chlorophyll befreit und dann das reinweiße Blatt in sehr verdünnter Eisenvitriollösung einen Tag liegen läßt. Bei Betrachtung mit der Lupe erscheinen die Zystolithen tief rostrot, bei Besichtigung mit dem Mikroskope kommt die rostrote Farbe besonders im auffallenden Lichte zur Geltung.

Es ist nicht unwahrscheinlich, daß der Zystolith zuerst Eisenoxydulhydrat niederschlägt, das aber in Berührung mit Luft sofort in braunes Eisenoxydhydrat übergeht. —

Verwendet man bei dem eben geschilderten Versuch anstatt Eisenvitriol ein Kobaltsalz, z. B. Kobaltchlorid oder Kobaltsulfat, so findet ein analoger chemischer Prozeß im Zystolithen statt, und diese färben sich dabei lila oder rosarot.

In Nickelsulfatlösung werden sie nach mehreren Tagen blaßgrün, doch ist die Färbung wegen der hellgrünen Farbe des Nickelhydroxyds sehr schwach.

In Goldchloridlösung nehmen die Zystolithen eine rotviolette Farbe an, wahrscheinlich weil Aurohydroxyd niedergeschlagen wird.

Die Rotfärbung mit Kobaltsalzen ist nicht immer sehr deutlich, das auf und im Zystolithen niedergeschlagene Kobalt kann jedoch sehr deutlich gemacht werden, wenn man das Blatt nach 24 stündiger Behandlung mit den genannten Kobaltsalzen für kurze Zeit in 10 pro-

1) HAMORAK N., Beitr. z. Mikrochemie des Spaltöffnungsapparates. Sitzber. d. Kais. Akad. d. Wissensch. in Wien. Mathem.-naturw. Kl. Abt. I. 124. Bd. (1915). p. 447.

2) MOLISCH, H., Botanische Beobachtungen auf Java. IV. Abhandlung Über Pseudoindikan usw. Sitzber. d. Kais. Akademie d. Wissensch. i. Wien. Bd. CVIII. Abt. I. 1899, p. 479.

zentige Kalilauge einlegt. Die Farbe wird dann viel intensiver und zwar tiefviolett, um nach einiger Zeit wieder zu verblassen.

Auffallender Weise färbt sich z. B. bei *Bryonia* der Inhalt der Schließzellen grün oder blaugrün, aus mir vorläufig unbekanntem Gründen.

Zusammenfassung.

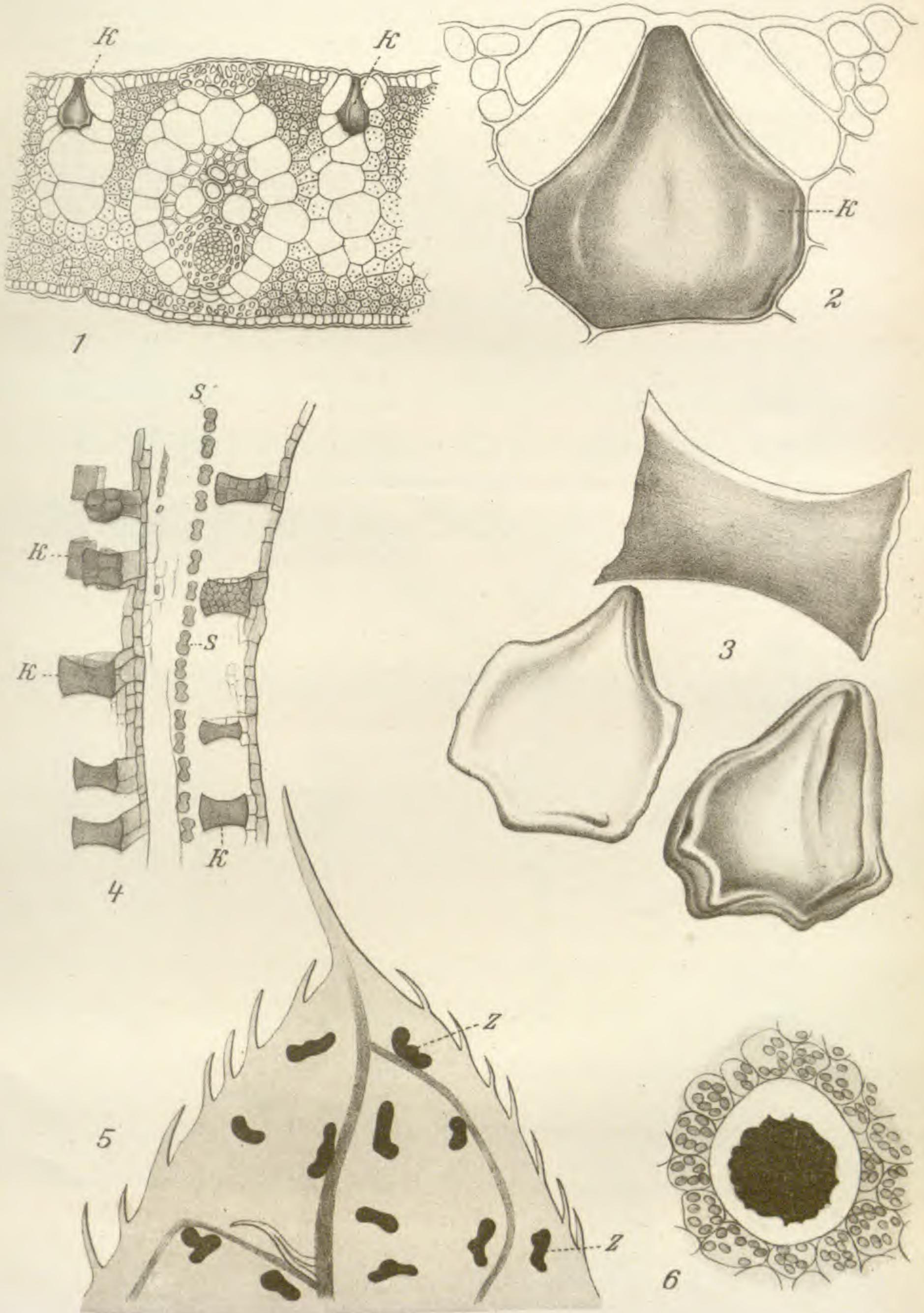
1. Alle untersuchten Zystolithen haben die Fähigkeit, salpetersaures und schwefelsaures Silber so stark zu reduzieren, daß sie sich nach kurzer Zeit schwarz färben. Auf diese Weise kann die Verteilung der Zystolithen im Blatte schon bei schwacher Vergrößerung sehr deutlich sichtbar gemacht werden.
2. Die Ursache der Silberabscheidung ist der die Zystolithen inkrustierende kohlen-saure Kalk.
3. Die Reduktion der Silbersalze durch Kalkkarbonat kann dazu herangezogen werden, um den mikrochemischen Nachweis des kohlen-sauren Kalkes in der Pflanze zu stützen.
4. Die Zystolithen verhalten sich auch anderen Metallsalzen gegenüber sehr auffallend. So färben sie sich in Goldchlorid rot bis blau-violett, in Eisenvitriol rostrot, in Nickelsulfat blaßgrün, und in Kobaltchlorid und Kobaltsulfat lila oder rosarot.

Verursacht werden diese Färbungen durch das Niederschlagen der entsprechenden Hydroxyde, durch den alkalisch reagierenden kohlen-sauren Kalk des Zystolithen.

Erklärung der Tafel XV.

Die Fig. 1—4 beziehen sich auf das Blatt von *Arundo Donax*.

- Fig. 1. Stück eines Querschnittes der Blattspreite. Oben 2 Gruppen von je 5 größeren Epidermiszellen, deren mittlere von Kieselsäure K erfüllt ist. Vgr. etwa 50.
- Fig. 2. Die Gruppe der 5 Epidermiszellen. Die mittlere ist von dem Kieselkörper K ganz ausgefüllt. Vgr. etwa 300.
- Fig. 3. Drei durch Chrom-Schwefelsäure isolierte Kieselkörper. Vgr. etwa 300.
- Fig. 4. Eine kleine Partie der Blatttasche mit den großen Kieselkörpern K und den kleinen Kieselkörpern s. Vgr. etwa 60.
- Fig. 5. *Urtica dioica*. Blattspitze, vom Chlorophyll mit Alkohol befreit und dann in 1% Ag. NO_3 -Lösung bei Abschluß von Licht eingelegt. Die Zystolithen z färben sich schwarz. Die gleichzeitig erfolgende Schwärzung der Haare wurde nicht eingezeichnet. Vgr. etwa 50.
- Fig. 6. *Urtica urens*. Eine zystolithenführende Zelle, behandelt wie in Fig. 5. Der Zystolith erscheint kohlschwarz. Vgr. etwa 300.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1918

Band/Volume: [36](#)

Autor(en)/Author(s): Molisch Hans

Artikel/Article: [Beiträge zur Mikrochemie der Pflanze. Nr. 12 und 13. 474-481](#)