

## 6. M. Möbius: Über die Festlegung der Kalksalze und Kieselkörper in den Pflanzenzellen.

(Mit einer Abbildung im Text.)

(Eingegangen am 21. Januar 1908.)

Nach der von HABERLANDT und NĚMEC aufgestellten Statolithentheorie erfolgt die Perception des Schwerkraftreizes bei den Pflanzen dadurch, daß im Inneren sensibler Zellen durch feste Körperchen auf die jeweils untere Seite der Zelle ein Druck ausgeübt wird. Als schwere Körperchen, die in den „Statocysten“ auf die untere Seite sinken, fungieren im wesentlichen Stärkekörner; doch können, wie HABERLANDT<sup>1)</sup> sagt, auch andere feste Körperchen, wie Kalkoxalatkrystalle, Kieselkörper usw. die Rolle von Statolithen übernehmen. Bisher aber ist nach demselben Autor (l. c. S. 534) bloß für die positiv geotropischen Wurzelhaare verschiedener Charaarten durch GIESENHAGEN gezeigt worden, daß winzige, kleine „Glanzkörperchen“, deren chemische Natur noch nicht genau bekannt ist, dem Zuge der Schwerkraft folgen.

Für Kalksalze und Kieselkörper scheint eine Statolithenfunktion noch nicht nachgewiesen zu sein; auch ich beabsichtige nicht, Beispiele für ein solches Verhältnis hier anzuführen, sondern im Gegenteil zu zeigen, daß diese schweren Körper in den meisten Fällen nicht freibeweglich in der Zelle liegen. Zwar sind mir einige Fälle von Beweglichkeit der Krystalle bekannt, doch dürften dies nur bedeutungslose Ausnahmen sein. Hierher gehören z. B. die Einzelkrystalle bei den Commelynaceen: so sieht man bei *Tradescantia virginica* im Längsschnitt des Stengels die größeren Krystalle meistens auf der physikalisch unteren Seite der Zelle liegen, kleinere auch ein wenig höher. Aber gerade für diese Pflanze hat es HABERLANDT (l. c. S. 533) wahrscheinlich gemacht, daß die Zellen der Stärkescheide als Statocysten, die in ihnen enthaltenen Stärkekörner als Statolithen fungieren. Es wäre also überflüssig, wenn hier auch noch Kalkkrystalle als Statolithen verwendet würden. Einen anderen Fall beweglicher Krystalle zeigt der Blattstiel von *Begonia metallica*. Hier liegen die ziemlich großen Drusen zum Teil in kleinen, sie gerade umschließenden, zum Teil aber auch

1) Physiologische Pflanzenanatomie, 3. Aufl., 1904, S. 524.



in größeren Zellen und dann meistens auf der physikalisch unteren Zellwand der längsgestreckten Parenchymzellen<sup>1)</sup>. Da nun der Blattstiel nicht geotropisch reizbar zu sein pflegt, so kann man auch hier nicht annehmen, daß diese Drusen Statolithen sind. Im allgemeinen kommen aber, wie schon angedeutet, freibewegliche Krystalle oder Kieselkörper in dem pflanzlichen Gewebe nicht vor; wir können daraus schließen, daß ein einseitiger Druck durch so verhältnismäßig schwere Körper auf das Zellplasma, ja überhaupt auf die Zellwandungen, durch die er sich auch auf die anstoßenden Zellen fortpflanzen könnte, vermieden werden soll. Dies kann nun geschehen, wenn jene Körper in einer solchen Lage gehalten werden, daß ihre Beweglichkeit aufgehoben oder doch auf ein Minimum beschränkt ist. Ich brauche nur an bekannte Dinge zu erinnern, um zu zeigen, daß diese Regel in den weitaus meisten Fällen befolgt wird, ich kann aber auch noch einen besonders instruktiven Fall anführen, den ich soeben in der WIESNERSchen Festschrift beschrieben habe und den ich, da die genannte Schrift manchen Fachgenossen nicht zu Gesicht kommen dürfte, hier nochmals kurz beschreiben will. Jedoch kommt es mir nicht auf einen einzelnen Fall an, sondern darauf, daß wir einen neuen Standpunkt gewinnen, von dem aus wir das Auftreten der genannten Körper zu betrachten haben, und daß wir eine gemeinsame Erklärung für die so verschiedenartigen Verhältnisse finden. Wenn wir nun eine Anzahl verschiedener Erscheinungen als Anpassung an denselben Zweck bezeichnen können, so bedeutet das einen Schritt vorwärts in dem Verständnis der anatomischen Verhältnisse des Pflanzenkörpers.

Außer Kieselsäure und Kalkoxalat kommt für unsere Betrachtung höchstens noch Kalkkarbonat in Frage. „Das Auftreten phosphorsauren Kalkes in fester Form im Pflanzenreich, sagt KOHL<sup>2)</sup>, reduziert sich darauf, daß er einen Bestandteil der Globoide ausmacht.“ Die Globoide sind nun auch so im Plasma eingelagert, daß sie nicht durch die Schwerkraft auf die untere Seite der Zelle gezogen werden können. Gypskrystalle kommen be-

1) Nach einigen von mir angestellten Versuchen scheinen die Drusen in diesen Blattstielen recht wenig beweglich zu sein: selbst nach 24 Stunden lagen in einem invers gehaltenen Blattstiel die Drusen nicht alle auf der jetzt physikalisch unteren Seite, ja der Unterschied in der Lage der Drusen gegenüber einem ebenso lange Zeit aufrecht gestellten Blattstiel war schwer zu bemerken.

2) Anatomisch-physiologische Untersuchung der Kalksalze und Kieselsäure in der Pflanze. Marburg 1889, S. 156.



kanntlich in den Vacuolen bei Desmidiaceen vor. Nun spricht zwar HABERLANDT (l. c. S. 534) die Vermutung aus, daß die mit kleinen Kryställchen versehenen Endvacuolen gewisser Desmidiaceen, die geotaktische Bewegungen ausführen, als solche Perceptionsorgane dienen, allein dies ist doch recht unwahrscheinlich, denn bei *Closterium* z. B. tanzen ja die Kryställchen in der Vacuole herum und können somit keinen einseitigen Druck ausüben. Das letztere, d. h. die Unfähigkeit, einen einseitigen Druck auszuüben, ist wohl auch in den übrigen Fällen des Vorkommens von Gypskrystallen anzunehmen, worüber man KOHLs Angaben (l. c. S. 159) vergleichen wolle.

In Folgendem will ich nun versuchen, einen Ueberblick über die Mittel zu geben, mit denen Kalksalze und Kieselkörper in den Pflanzenzellen in fester Lage gehalten werden, ohne die anatomischen Verhältnisse genau zu schildern, wenn sie als bekannt vorausgesetzt werden dürfen, oder wenn ich auf die Litteratur, besonders das schon zitierte Werk von KOHL verweisen kann. Wir sehen also:

1. Die Zellen sind von der Größe, daß sie ein passendes Futteral für die festen Körper darstellen. In vollkommener Weise geschieht dies, wenn das Zellinnere mit der Masse gewissermaßen ausgegossen wird, und in solcher Weise tritt auf:

- a) kohlenaurer Kalk in den Zellen und Zellfusionen des Holzes gewisser Dikotylen (KOHL, S. 113);
  - b) Kieselsäure in den Rindenzellen mancher Chrysobalaneen, Dilleniaceen und Magnoliaceen. (KOHL, S. 211 u. 246 ff.)
- In den Fällen a und b enthalten jene Zellen, wenigstens im ausgebildeten Zustand, kein Protoplasma mehr.
- c) die Kieselkörper der Podostemonaceen: sie füllen zwar auch die sie enthaltenden Zellen fast aus, aber der Kern und mithin etwas Protoplasma bleibt lange Zeit bestehen und beeinflußt die Gestalt des Kieselkernes (nach KOHL, S. 253);
  - d) die Kieselkörper in den sogenannten Deckzellen, die den Fasersträngen von Palmen und Orchideen, sowie einiger anderer Monocotylen und einiger Gefäßkryptogamen aufliegen. Bei Palmen und Orchideen schwinden Zellkern und Plasma während der Größenzunahme des Kieselkörpers (KOHL, S. 278), bei den *Trichomanes*-Arten aber bleibt der Zellkern mit mehr oder weniger ansehnlichen Plasmaresten erhalten (KOHL, S. 296—297);
  - e) die Drusen in den Parenchymzellen vieler Pflanzen, z. B. der Cacteen; sie liegen in Zellen, die kleiner sind als die



anderen Parenchymzellen und in ihrer Größe der eingeschlossenen Druse so entsprechen, daß diese sich nicht darin bewegen kann;

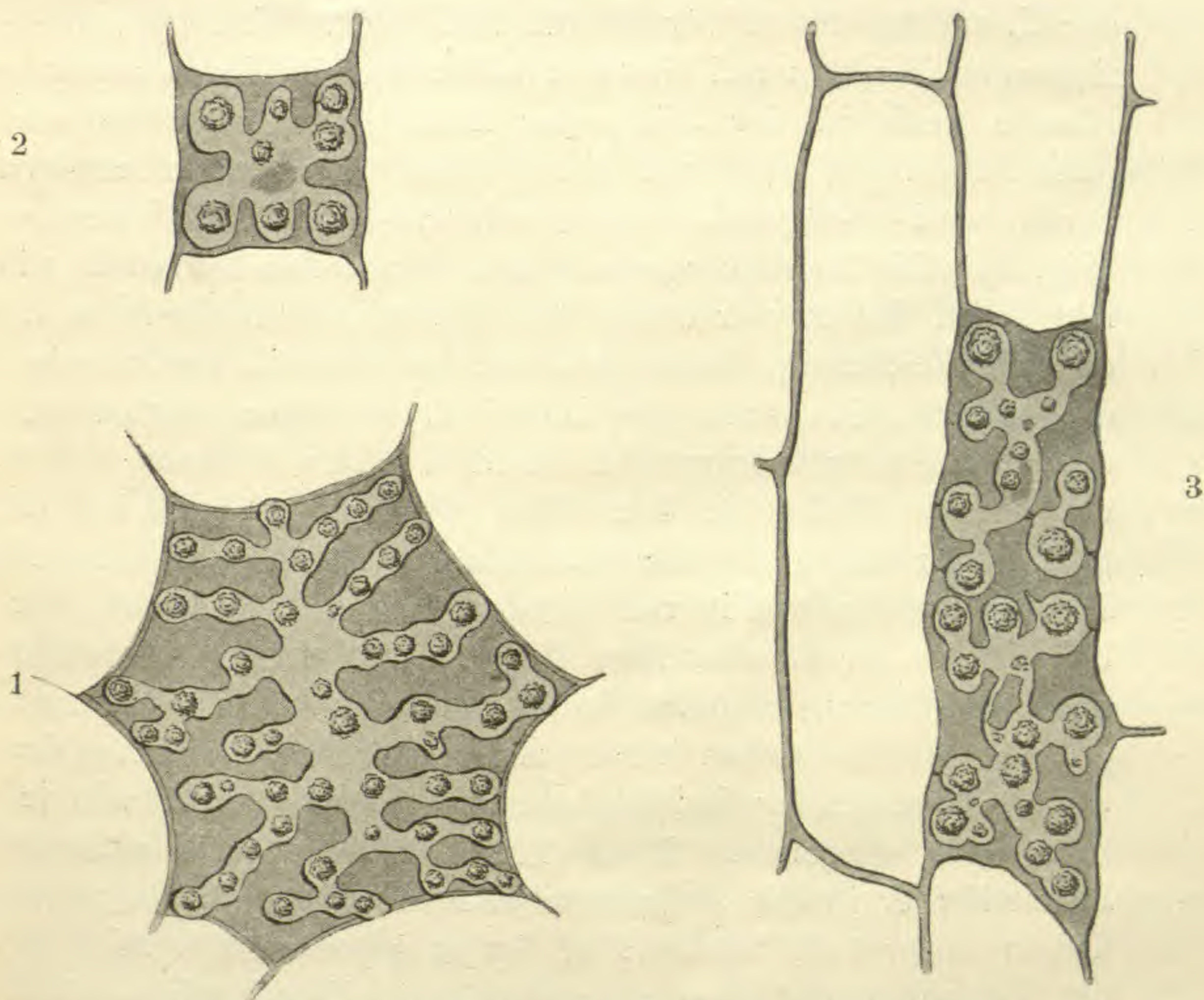
- f) die großen Einzelkrystalle des monoklinen Systems, z. B. bei den Irideen. Hier ist nach HABERLANDT (S. 467) die Beziehung zwischen der Form des Krystalls und der ihn einhüllenden Zellwand am auffallendsten. „An eine passive Dehnung der Membran seitens des wachsenden Krystalls ist nach ROTHERT nicht zu denken. Die Korrelation zwischen Zell- und Krystallform, beziehungsweise zwischen Wand- und Krystallwachstum kann nur durch den lebenden Protoplasten des Krystallbehälters vermittelt werden.“
2. Im Grunde auf demselben Prinzip wie die letzten Fälle beruht die Einrichtung der sogenannten gekammerten Krystallschläuche. Wir finden sie bekanntlich besonders in der sekundären Rinde dikotyler Holzpflanzen; die Schläuche sind aus einer Kambiumzelle entstanden, die sich durch Querwände in eine Anzahl kleiner Zellen teilt, und in jeder Zelle liegt eine den Raum derselben ausfüllende Druse oder ein Einzelkrystall. Nebenbei erwähnt sei hier, daß Schläuche mit Drusen und Einzelkrystallen zusammen in derselben Rinde vorkommen können, z. B. bei *Populus dilatata*. Wenn die Schläuche nicht gekammert wären, so würden sich alle in ihnen enthaltenen Krystalle auf dem Boden der langen Zelle ansammeln. Hierher gehören auch die gekammerten Epidermiszellen von *Maclura aurantiaca*, die in jeder der so gebildeten kleinen Zellen eine kleine Druse einschließen<sup>1)</sup>.
- Die Deckzellen oder Stegmata mit den Kieselkörpern (vgl. 1, d.) gehören insofern auch hierher, als sie durch nachträgliche Fächerung ursprünglich langer Zellen entstehen. Die Deckzellen der Orchideen sind nach KOHL (l. c. S. 278) „Tochterzellen langer, ursprünglich sehr dünnwandiger, prosenchymatischer Fasern, welche den Bastfasern anliegen. Zwischen je zwei zu Deckzellen sich ausbildenden Tochterzellen liegt eine, die später ihr Lumen ganz einbüßt . . . . bei einzelnen Orchideen, wie *Dichaea*-Arten usw., werden alle Tochterzellen zu Deckzellen.“
3. Die festen Inhomogenkörper, in diesem Fall Kieselkörper, werden

1) Vgl. meine „Beiträge zur Anatomie der Ficus-Blätter“ in dem Bericht der Senckenberg. Naturf.-Gesellsch. 1897, S. 131, Taf. III, f. 13.



dadurch gleichmäßig über die Fläche der Zelle verteilt, daß von deren Membran Auswüchse in das Zellinnere und auf diese Weise Kammern gebildet werden. Ein solcher Modus findet sich in den Epidermiszellen von *Callisia*- und *Tradescantia*-Arten und ist der von mir vor kurzem beschriebene.

In der Oberhaut des Blattes und Stengels von *Callisia repens* enthalten viele Zellen, die regellos zwischen den anderen ver-



Figurenerklärung: Epidermiszellen von *Callisia repens* mit kleinen Drusen aus Kieselsäure. 1. Eine Zelle aus einem älteren Blatt. 2. Eine Zelle von einem jungen Stengelinternodium. 3. Eine Zelle von einem älteren Stengelinternodium mit angrenzenden Zellen.

teilt sind, eine große Anzahl von Kieselkörpern. Wenn man eine solche Zelle des fertig ausgebildeten Blattes von oben betrachtet, so scheinen die kleinen Drusen, die nach ihren chemischen Reaktionen aus Kieselsäure oder einer Verbindung derselben bestehen, in den erweiterten Stellen enger Gänge, die gewöhnlich von der Mitte der Zelle nach allen Seiten ausstrahlen, zu liegen. (Fig. 1.) Der Querschnitt durch das Blatt zeigt, daß die Zellen mit den Kieselkörpern ganz flach und von den auffallend großen Epidermiszellen



- durch eine perikline Wand am äußeren Ende abgetrennt sind. Auf welche Weise die Gänge entstehen, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man ein Stück der Stengel-epidermis von dem jungen, noch in der Blattscheide verborgenen Internodium abzieht. Zuerst treten einige Kieselkörper an der Peripherie der Zelle auf, dann schieben sich zwischen sie leistenartige Vorsprünge der Membran (Fig. 2), diese wachsen mit der Vergrößerung der Zelle und der Vermehrung der Kieselkörper und verzweigen sich auch. Von gegenüberliegenden Punkten auf einander zuwachsende Membranleisten können auch in der Mitte der Zelle zusammenstoßen und dann haben wir nicht nur ein System von Kanälen, sondern deren zwei oder mehr, wenn wir die fertige Zelle ansehen (Fig. 3). Die Entstehungsweise also macht den Eindruck, wie ich schon bei meiner ersten Beschreibung bemerkt habe, als ob eine dickflüssige Masse sich von den Rändern her zwischen die Räume, in denen die Kieselkörper liegen, ergösse und diese Räume gewissermaßen umflöße. Der Zellkern, der in den jungen Zellen in der Mitte deutlich zu bemerken ist, geht später zugrunde, nur unscheinbare Reste zurücklassend. Die beigegebenen Figuren werden, wie ich hoffe, die Verhältnisse so deutlich machen, daß ich mir wohl eine ausführliche Schilderung ersparen darf, zumal ich auf die am angegebenen Ort verweisen kann. Auch auf das Vorkommen derselben Erscheinung bei einigen *Tradescantia*-Arten will ich hier nicht eingehen. Diese Art der Festlegung schwerer Inhaltkörper in der Zelle kann aber wohl als ein besonderer Typus aufgestellt werden: er ist es gewesen, der mich auf den Gedanken der oben ausgesprochenen Regel gebracht hat.
4. Die Krystalle liegen im Innern der Zelle, werden aber an der Membran befestigt; hierher gehören:
- a) die ROSANOFF'schen Krystalle und verwandte Bildungen, die ja bekannt genug sind. Es sei nur auf die Angabe KOHL's verwiesen, wonach die ROSANOFF'schen Drusen viel verbreiteter sind, als man bisher angenommen hat, und daß man mehr in Cellulose eingekapselte und an den Wänden befestigte Oxalatdrusen findet als freie (l. c. S. 81). Ebenso gibt der zitierte Autor hinsichtlich der mit Cellulose umscheideten und an die Membran befestigten Solitäre an (l. c. S. 89): „ihre Zahl wächst fortwährend mit der Ausdauer des Beobachters, so daß die Frage nahe liegt, ob es überhaupt Oxalatkristalle ohne Membran gibt?“ Er



antwortet auf diese Frage jedoch bejahend: „alle jugendlichen Krystalle sind ohne Membran und viele Krystalle bleiben nach meinen Erfahrungen zeitlebens ohne eine solche, wenn auch die Zahl der umhüllten Krystalle sicher eine viel größere ist.“

- b) die Cystolithen. Diese höchst merkwürdigen Gebilde möchte ich hier einreihen, da mir ihre Erscheinung aus dem Gesichtspunkt der Festlegung schwerer Körper in der Zelle am besten verständlich wird. Man kennt zwar einige Fälle, in denen die Cystolithen nur aus Cellulose bestehen (KOHL, l. c. S. 118), aber meistens scheinen sie doch als Ablagerungsstätten für kohlen sauren Kalk oder für Kieselsäure oder für diese beiden Substanzen zugleich zu dienen. Dabei möchte ich noch auf folgenden Umstand aufmerksam machen: die Cystolithen finden sich meistens in Epidermiszellen und sind dann an der Außenwand befestigt, so daß sie weder Druck noch Zug auf darunter oder darüber liegendes Gewebe ausüben können<sup>1)</sup>. Zudem ist die Epidermiszelle mit dem Cystolith bekanntlich meistens so zwischen die anderen eingefügt, daß ihre Außenwand nicht eine längere gerade Linie bildet, sondern einen Winkel, in dessen Scheitelpunkt der Stiel sitzt; so ist der schwere Körper viel leichter zu tragen, als wenn er in der Mitte einer längeren freigespannten Membran ansäße. Dieses Prinzip kommt nun vor allem zur Geltung bei den im Mark und in der Rinde auftretenden Cystolithen der Acanthaceen und Urticaceen (*Pilea urticifolia*). Hier pflegen sie lange spindelförmige oder donnerkeilförmige Körper zu sein, die in der Längsrichtung des Stengels orientiert sind. Mögen sie nun oben oder unten, in Hinsicht auf die Lage des Stengels befestigt sein, so ist doch die sie tragende Wand immer sehr kurz und hat keine große Spannung auszuhalten. So ist es bei der genannten *Pilea*: auf dem Längsschnitt sieht man die donnerkeilförmigen Cystolithen, die immer am dickeren Ende angewachsen sind<sup>2)</sup> ziemlich regelmäßig abwechselnd mit der Spitze nach oben und

1) Über einen ausnahmsweise an der inneren Wand der Epidermiszelle befestigten Cystolithen, der von mir bei *Ficus barbata* beobachtet worden ist, vgl. meine oben zitierten Beiträge zur Anatomie der Ficus-Blätter l. c. S. 129 Taf. III, f. 6.

2) Wie aus der Schichtung der Cystolithen zu entnehmen ist, den Stiel selbst habe ich nicht wahrnehmen können.



unten gerichtet; ich beobachtete einen von 900  $\mu$  Länge bei 30—40  $\mu$  Breite. Die spindelförmigen Körper der Acanthaceen scheinen größtenteils an der Seite befestigt zu sein, und dadurch wird offenbar die Last noch gleichmäßiger auf eine größere Strecke verteilt. Daß man so wenige bestimmte Angaben über die Anheftungsweise der Cystolithen findet, hat seinen guten Grund, denn die Stiele sind äußerst schwer zu sehen. Oft sind sie auch offenbar abgebrochen, und dann lastet der Körper nicht nur auf der physikalisch unteren Wand, sondern wird bei der Enge der Zelle auch durch die Längswände mit gestützt. In solchen langen Zellen könnten also abgebrochene Cystolithen bei verschiedener Lage des Stengels sich wohl etwas in ihrer Zelle verschieben, aber schwerlich als Statolithen dienen. Man erkennt aber erst die zweckmäßige Einrichtung im Bau der Cystolithen und der sie beherbergenden Zellen, wenn man bedenkt, daß es sich um schwere Körper und die Vermeidung einer einseitigen Belastung handelt.

5. Die Krystalle werden geradezu in die Membran eingeschlossen;
  - a) die Krystalle in den Blättern von *Citrus* bilden den Uebergang von den unter 4a besprochenen Formen zu den folgenden;
  - b) die Krystalle sind vollständig in die Membran eingelagert, wenn sie auch nach innen oder außen etwas vorragen. So finden wir es in den Membranen der Epidermiszellen von *Dracaena*, in den großen Faserzellen von *Welwitschia*, in den Spicularzellen von *Nymphaea* u. a.

Hier fragt es sich freilich, ob es sich um eine Aufbewahrung und Festlegung von Kalkoxalat oder nicht vielmehr um eine Festigung der Membran durch diese Substanz handelt. Das letztere, nämlich die Bildung eines schützenden Panzers, ist wohl als sicher anzunehmen bei der einfachen Inkrustierung der Membranen mit Kalk oder Kieselsäure und noch mehr bei der Ausscheidung der Kalkmassen in der Peripherie des Körpers der sogenannten Kalkalgen, d. h. der Corallinaceen und gewisser Siphoneen.

6. Ein besonders schönes Beispiel, wie in der Pflanzenzelle der Plasmaleib gegen den Druck der Krystalle geschützt wird, scheint mir die Schleimumhüllung der Raphidenbündel zu sein. Gerade die spitzen Enden der Raphiden müßten das Protoplasma stechen, drücken und verletzen, wenn die Nadeln



frei in der Vakuole lägen, aber, wie KOHL (l. c. S. 92) schildert, enthalten die Rhaphidenzellen früher oder später einen homogenen, glashellen, in Wasser quellbaren, resp. löslichen Schleim; der die eigentümliche Zusammenlagerung der Nadeln veranlaßt. Durch diese Schleimumhüllung behalten auch die Rhaphidenbündel ihre Lage in der Zelle bei, wenn der sie enthaltende Pflanzenteil aus seiner normalen Stellung gebracht wird. Daß der Schleim gelegentlich daneben zur Ejakulation der Nadeln dient, beeinträchtigt die Annahme nicht, daß seine Hauptbedeutung in der Festlegung der Rhaphidenbündel und in der Beschützung des Plasmas gegen sie liegt; auch sind Schleim und Rhaphiden keineswegs immer aneinander gebunden; z. B. enthalten die Vitaceen außer in den Rhaphidenzellen wenig Schleim, während die schleimreichen Cacteen keine Rhaphiden bilden, bei den Monocotylen allerdings ist beides meistens zusammen vorhanden, so bei Orchideen und Palmen. Von letzteren ist *Cocos nucifera* außerordentlich schleimreich, und die dicken Schleimhüllen um die Rhaphidenbündel sind nach der Fixierung im Alkohol und Färbung nicht homogen, sondern von körniger Struktur. Jedoch wir wollen uns nicht auf solche Einzelheiten einlassen; es dürften diese Angaben genügen, um die Rhaphidenzellen als ein gutes Beispiel für unsere Theorie erscheinen zu lassen.

Vielleicht werden sich mit der Zeit noch mehr derartige Beispiele finden lassen, wenn man die bereits bekannten Krystall- und Kieselzellen genauer von diesem Standpunkte aus untersucht, oder wenn neue Strukturverhältnisse, wie das von *Callisia*, aufgefunden werden. Zum Schluß möchte ich noch darauf hinweisen, daß die Beweglichkeit der Drusen und besonders der Einzelkrystalle in den Zellen sowie ihre etwa bestehende Funktion als Statolithen einer eingehenderen Untersuchung bedarf.

---



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1908

Band/Volume: [26a](#)

Autor(en)/Author(s): Möbius (Moebius) Martin

Artikel/Article: [Über die Festlegung der Kalksalze und Kieselkörper in den Pflanzenzellen. 29-37](#)