

VI.

Über Sphärokrystalle.

Von

Dr. Adolph Hansen.

Die Veröffentlichung der in den folgenden Blättern mitgetheilten Beobachtungen dürfte vielleicht jetzt einen Nutzen bringen, da bei der Diskussion über das Wachsthumsgesetz der Stärkekörner, welches durch SEMMERNER'S Untersuchungen wieder zur Sprache gekommen ist, die Sphärokrystalle und ihr Wachsthum mehrfach erwähnt worden sind. Zahlreiche Angaben über diese Körper sind nun aber nicht nur bezüglich ihrer chemischen Natur, sondern auch bezüglich ihrer Wachstumsweise unrichtig und vor der Richtigstellung dieser Verhältnisse ein Vergleich mit den Stärkekörnern unfruchtbar und irreleitend.

Seit NÄGELI'S Entdeckung¹⁾ der in den Zellen der Meeresalge *Acetabularia mediterranea* durch Alkoholeinwirkung hervorgerufenen festen Ablagerungen, die er ihrer Form wegen »Sphärokrystalle« nannte, sind von mehreren Beobachtern, meist zufällig, wie das erste Mal in verschiedenen Pflanzen ebenso geformte Absonderungen aufgefunden worden. Auch in diesen Fällen war die Ausscheidung der Sphärokrystalle durch Alkohol bewirkt; in den lebenden Zellen fanden sich jene Gebilde nicht. Am meisten zog die von SACHS²⁾ herrührende Entdeckung das Interesse auf sich, daß das Inulin aus seiner Lösung im Zellsaft durch Alkohol als Sphärokrystalle niedergeschlagen werden könne. Die Sphärokrystalle des Inulins und die Hesperidinsphärokrystalle³⁾ sind die einzigen Fälle, bei denen zugleich die chemische Beschaffenheit des in dieser eigenthümlichen Form auftretenden Stoffes bekannt war. Daß aber die Form der Absonderung mit der stofflichen Natur nicht eng verknüpft sei, fanden bald mehrere Beobachter. Den Inulinsphärokrystallen äußerlich ähnliche, aber chemisch differente Bil-

1) NÄGELI. Sitzungsberichte d. k. bayerischen Akademie d. W. z. München. 1862.

2) SACHS. Über die Sphärokrystalle des Inulins und dessen mikroskopische Nachweisung in den Zellen. Botan. Zeitung. 1864 p. 77 ff.

3) PFEFFER. Botan. Zeitung. 1874.

dungen entdeckte Russow¹⁾ bei seinen anatomischen Untersuchungen in den Blattstielen von *Angiopteris evecta* und *Marattia cicutaefolia*. G. Kraus²⁾ fand ähnliche Gestalten in der Blattepidermis von *Cocculus laurifolius* und Míka³⁾ in den Epidermiszellen von *Capsella bursa pastoris*. In zahlreichen Arten der Gattung *Mesembryanthemum* endlich wurden Sphärokrystalle von L. Kolderup-Rosenvinge⁴⁾ aufgefunden.

War diese häufige Wiederkehr derselben Abscheidungsform bei den verschiedensten Pflanzen auffallend, so mußte das Interesse daran nur ein beschränktes bleiben, da die Beobachter die wichtige Frage nach der chemischen Zusammensetzung jener Gebilde nicht lösten; aus dem Verhalten gegen einige Lösungsmittel: Wasser, Säuren, Alkalien etc. ergab sich nur das gemeinsame Resultat, daß die von Russow, Kraus und Míka beobachteten Sphärokrystalle kein Inulin seien.

Ebenso zufällig, wie meine Vorgänger, fand ich selbst Sphärokrystalle bei der Präparation eines Sproßendes von *Euphorbia Caput Medusae*, welches lange Zeit in Weingeist aufbewahrt worden war. Die Sphärokrystalle fanden sich im Parenchym des Grundgewebes in reichlichster Menge und vollkommenster Ausbildung. Einige Reaktionen ergaben sogleich, daß diese Gebilde auch hier kein Inulin seien. In den fleischigen Caulomen der *Euphorbia C. M.* wird durch den Gefäßbündelcylinder die Rinde von einem ausgedehnten Mark geschieden. Die Elemente der beiden letztgenannten Regionen sind ziemlich große kugelige oder ovale Parenchymzellen, mit den charakteristischen großen Tüpfeln. Sowohl in den Rindenzellen als in denen des Markes hatten sich die Sphärokrystalle angehäuft. Sie fanden sich zu einem oder zu mehreren in einer Zelle. Ihre Form, ihre Anlagerung an die Zellwand zeigten die mannigfaltigen Modifikationen, welche aus der Formenbildung des Inulins allbekannt sind. Ich füge hinzu, daß auch hier oft, wie beim Inulin Verschmelzungen mehrerer Kugeln und dadurch bedingte Störungen in der Ausbildung vorkommen.

Die Sphärokrystalle der *Euphorbia C. M.* sind farblos, schwach gelblich, oft aber auch dunkel gefärbt. Diese Färbungen rühren jedoch nur von Zersetzungsprodukten des Zellinhaltes, besonders von zersetztem Chlorophyllfarbstoff her.

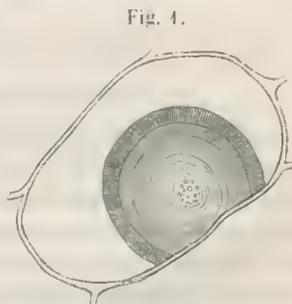


Fig. 4.
Sphärokrystall von Calciumphosphat
im Parenchym v. *Euphorbia Caput
Medusae*.

1) Russow, Vergleichende Untersuchungen. 1872 p. 110 ff.

2) G. Kraus, Über eigenthümliche Sphärokrystalle in der Epidermis von *Cocculus laurifol.* Jahrb. f. w. Botanik. VIII, p. 422.

3) Míka, Die Sphärokrystalle 1878 (ungarische Dissertation), Ref. Just's Jahresbericht 1878 p. 20.

4) L. Kolderup-Rosenvinge, Sphärokrystalle hos *Mesembryanthemum*. Videnskabelige Meddelelser fra den naturhistor. Foren. i Kjøbenhavn. 1877—1878 p. 305.

Die Oberfläche der Kugeln oder ihrer Theile wird durch die Enden von radial gestellten, dicht gedrängten, nadelförmigen Krystallen von äußerster Kleinheit gebildet. Die Sphärokrystalle sind jedoch nicht aus diesen Nadeln in der Weise zusammengesetzt, daß von einem Mittelpunkt lauter radial stehende nadelförmige Individuen ausstrahlen, wie dies von anderen Beobachtern für die von ihnen beobachteten Sphärokrystalle angegeben wird.¹⁾ Die Verhältnisse liegen hier so, daß auf einer halbkugelförmigen Basis, welche nicht krystallinisch ist, kleine, gleichlange Nadelchen stehen, welche in ihrem Zusammenhang eine Kugelschale um die Basis bilden. Von dieser Struktur überzeugt man sich, wenn man die optischen Durchschnitte der Sphärokrystalle einstellt. Die Nadeln der Oberfläche sind in verschiedenen Fällen von verschiedener Länge, oft so kurz, daß die Kugel ganz glatt erscheint. Außer dieser äußeren Schale, welche sich in scharfer Kontur von der Basis abhebt, findet sich zuweilen eine zarte konzentrische Schichtung des ganzen Sphärokrystalls.²⁾

Die Größe der Sphärokrystalle ist sehr verschieden, bis zu 0,03 mm. Ihre hervorstechendste Eigenschaft ist das bedeutende Lichtbrechungsvermögen. Im polarisirten Licht zeigen sie bei gekreuzten Nicols ein dunkles orthogonales Kreuz, zwischen dessen Armen die farbigen Ringe, wie dies bei allen bisher beobachteten Sphärokrystallen gesehen wurde. Einige weitere Eigenschaften sowie die Entstehungsweise der Sphärokrystalle sollen unten mitgetheilt werden. Ich wende mich zunächst den wichtigsten Verhältnissen, den chemischen zu.

Sphärokrystalle der *Euphorbia Caput Medusae*.

Verhalten gegen färbende Reagentien.

Jod und Chlorzinkjod färben die Körper nicht; in letzterem Reagens lösen sie sich auf. Die Lösung wird jedoch nur durch die stets in der Chlorzinkjodlösung vorhandene freie Salzsäure bewirkt. Anilinfarbstoffe werden ebenso wenig von den Sphärokrystallen aufgenommen: nach Zufügen der alkoholischen Anilinlösung scheinen die Sphärokrystalle zwar wie der übrige Zelleninhalt gefärbt, wäscht man aber das überschüssige Anilinroth mit Wasser aus, so zeigt sich, daß die Krystalle keinen Farbstoff imbibirt haben. Dagegen färbt eine alkoholische Lösung von Boraxearmin die Sphärokrystalle ziemlich intensiv, wenn man Schnitte der *Euphorbia* einige Zeit in der Flüssigkeit liegen läßt. Eine Imbibition auch dieses Farbstoffes findet aber nicht statt, nur die Oberfläche der Sphärokrystalle bedeckt sich mit einer gefärbten Hülle. Behandelt man nach der Tinction mit Salzsäure, so löst

1) Daß diese Ansicht auch für jene Fälle unrichtig ist, läßt sich übrigens an den eigenen Abbildungen mancher Autoren nachweisen und die Auffassung harmonirt auch nicht mit den angegebenen Beobachtungsergebnissen.

2) Die Holzschnitte sind nicht ganz naturgetreu, was die feinere Struktur anbetrifft.

sich der Sphärokrystall unter der gefärbten Decke, welche zurückbleibt, heraus. (Die Erklärung hierfür später.) Kupferoxydammoniak macht die Krystalle durchsichtig und löst sie langsam auf, doch ist dies nur eine Wirkung des wässerigen Ammons. An die Prüfung mit diesen Reagentien, welche einigen Aufschluß geben sollten, ob ein organisirtes Gebilde vorläge, schloß ich gleich die Reaktion mit FENLIX'scher Lösung, welche keinen reduzierenden Körper anzeigte.

Diese Vorprüfungen erlaubten den Schluß, daß weder eine eiweißartige Substanz, noch ein Kohlehydrat, ja sogar höchstwahrscheinlich überhaupt keine Kohlenstoffverbindung vorliege. Dafür sprach auch das Verhalten der Sphärokrystalle beim Glühen. Ihre Form verloren dieselben freilich, doch blieb die Substanz als unverbrennlicher Ballen zurück. Nur ein systematischer analytischer Gang ließ eine sichere Entscheidung erwarten. Derselbe ergab folgendes.

Verhalten der Sphärokrystalle zu Lösungsmitteln.

Wasser. Kaltes Wasser löst die Sphärokrystalle langsam in 5—10 Minuten, heißes Wasser schnell, wenn man einige Schnitte in einem Reagensglas damit übergießt. Die Lösung reagirt neutral. Beim Lösen in kaltem Wasser schmelzen die Krystalle nicht von außen ab, sondern behalten bis zuletzt ihren Umriß, der erst allmählich verschwindet. Bei dieser Auflösung verlieren sie ihr Lichtbrechungsvermögen vollständig. Es zeigt sich ferner bei der langsamen Lösung, daß die Sphärokrystalle zuweilen frühere Inhaltkörper der Zelle (Chlorophyllkörner, Protoplasmakörnchen) umschließen. Nach dem Eindampfen der wässerigen Lösung auf dem Platinblech erhält man einen Rückstand, welcher beim Glühen nicht verbrennt, also anorganischer Natur ist. Diese Eigenschaft, wie die leichte Löslichkeit in kaltem Wasser schließen speziell das Inulin aus.

Ammoniak. Wie beim Behandeln mit Wasser werden die Krystalle durchsichtig und lösen sich auf. Das Verhalten gegen Alkalien und einige Salze anzuführen ist unnöthig.

Essigsäure. Sie löst langsam. Dabei bleibt das Lichtbrechungsvermögen länger erhalten, als in Wasser, nur verlieren die zwischen den Kreuzesarmen liegenden Ringe ihre lebhaften Farben. Das Verhalten gegen Essigsäure beweist, daß die Krystalle nicht aus Calciumoxalat bestehen.

Salzsäure und Salpetersäure. Beide Säuren lösen die Körper schnell, sie schmelzen rasch von außen ab. Eine Gasentwicklung findet beim Lösen in allen genannten Säuren nicht statt, wodurch die Abwesenheit von Kohlensäure bewiesen wird. Wenn man durch Verdünnung der Säuren die Lösung verlangsamt, so bemerkt man, daß die aus Nadeln bestehende Schale des Sphärokrystalls sich langsamer löst als die darunter liegende Halbkugel. Zwischen beiden entsteht ein Zwischenraum und zu-

weilen löst sich die Kugelbasis unter der Schale ganz auf, ehe die letztere ebenfalls von der Säure gelöst wird. Es muß auf einen verschiedenen Molekularzustand beider Theile geschlossen werden. Ich vermüthe, daß der Kern der Sphärokrystalle amorph ist und nur die Hülle krystallinisch. Bekanntlich zeigt die amorphe Modifikation eines Körpers in der Regel eine leichtere Löslichkeit, so löst sich amorphe arsenige Säure viel leichter und schneller in Wasser als die krystallisirte. Diese Beobachtung beweist aber auch, daß die Sphärokrystalle nicht etwa Hohlkugeln sind, was das mikroskopische Bild nicht ausschließt.

Konzentrirte Schwefelsäure.

Beim Behandeln mikroskopischer Schnitte mit konzentrirter Schwefelsäure lösen sich die Körper sofort, aber sogleich erscheint ein Körper anderer Form an jener Stelle, nämlich in langen Nadeln anschließende Gypskrystalle.

Wir haben es also in den Sphärokrystallen mit einem Kalksalz zu thun. Dies bestätigt die direkte Prüfung des wässerigen Auszuges von Schnitten mit Ammoniumoxalat. Es blieb nun übrig, die Säure des Kalksalzes zu ermitteln. Da die Sphärokrystalle beim Glühen nicht verkohlen, so waren die organischen Säuren, auch wie schon oben nachgewiesen die Oxalsäure ausgeschlossen. Von anorganischen Säuren waren Kohlensäure und Schwefelsäure abwesend, Chlorealcium und Calciumnitrat sind in Alkohol löslich, würden also nicht niedergeschlagen werden.

Nach allen Überlegungen blieb nur die Phosphorsäure übrig, ich prüfte daher direkt auf diese. Das wichtigste Reagens auf Phosphorsäure ist, wie allgemein bekannt, das Ammoniummolybdat. Eine größere Anzahl Schnitte wurde mit Wasser ausgekocht und mit Ammoniummolybdat im Überschuß versetzt. Nach kurzem Erwärmen entstand ein gelber, krystallinischer Niederschlag, der sich bald zu Boden setzte und jeden Zweifel am Vorhandensein der Phosphorsäure ausschloß. Daß die Phosphorsäure aus dem Kalksalz stammt und nicht in freiem Zustande außerdem in den Zellen vorhanden war, durfte aus den entsprechenden Mengen der Kalk- und Phosphorsäure-Niederschläge, aus dem Fehlen einer anderen Säure in dem wässerigen Auszuge und aus der fast neutralen Reaktion desselben geschlossen werden.

Das Ammonmolybdat erwies sich auch als gutes mikrochemisches Reagens auf Phosphorsäure. Man kann die Reaktion so anstellen, daß man einfach einen einzigen Schnitt des Euphorbiaceensprosses auf dem Objektträger mit einem Tropfen Ammoniummolybdat ein paar Sekunden ohne zu kochen erwärmt. Man erhält dann einen mit bloßem Auge sichtbaren reichlichen gelben Niederschlag, der sich in der Flüssigkeit um den Schnitt theilt. Eine Gelbfärbung der Schnitte selbst genügt nicht zum Beweise,

da schon die Salpetersäure der Ammoniummolybdatlösung die Schnitte gelb färbt, indem Xanthoproteinkörper entstehen; nur ein deutlicher Niederschlag ist für die Anwesenheit der Phosphorsäure beweisend. Bei einer so massenhaften Anhäufung der Sphärokrystalle von Kalkphosphat, wie in dem Alkoholmaterial der Euphorbia, ist diese makrochemische Prüfung fast ausreichend, bei geringen Mengen würde aber die Entscheidung mit bloßem Auge unsicher sein. Hier tritt dann das Mikroskop helfend ein, da der Phosphormolybdänsäureniederschlag sehr charakteristisch ist. Zur Feststellung seiner Form machte ich eine Anzahl mikroskopischer Beobachtungen mit Phosphatlösungen verschiedener Konzentration. Man gibt am besten 3—4 Tropfen Ammoniummolybdatlösung auf einen Objektträger, fügt einen kleinen Tropfen einer ca. 6—10 procentigen Lösung eines phosphorsauren Salzes hinzu und erwärmt gelinde, bis der Niederschlag entstanden ist. Natürlich kann man die Operation mit größeren Mengen Flüssigkeit auch im Reagensglas machen. Das phosphormolybdänsaure Ammoniak krystallisiert in regulären Dodekaëdern,¹⁾ welche unter dem Mikroskop eine grünlich gelbe Farbe besitzen. Außer der reinen Form findet man in größter Menge komplizierte Formen durch wiederholte Verwachsungen. Die Zusammensetzungsflächen sind zuweilen parallel, sodaß reihenweise geordnete Krystallstöcke entstehen. Meistens sind die Zusammensetzungsflächen nicht parallel und es entstehen Vierlingskrystalle, welche sehr charakteristisch sind. In selteneren Fällen bilden sich polysynthetische Krystalle, deren Gesamtumriß die Form eines Kreuzes, Sternes oder anderer regelmäßiger Gestalten annimmt. Auch in sehr verdünnter Lösung tritt die Reaktion ein. Man findet dann, daß der mit bloßem Auge nicht sichtbare Niederschlag aus lauter winzigen Dodekaëdern besteht. Aber trotz ihrer Kleinheit sind sie so scharf begrenzt und auch durch ihre Lichtbrechung so charakteristisch, daß sie mit anderen körnigen Niederschlägen nicht verwechselt werden können. Die mit Phosphatlösungen hergestellten Niederschläge waren mit denen des Alkoholmaterials der Euphorbia übereinstimmend.²⁾

Nachdem die in dem Alkoholmaterial der Euphorbia caput medusae gefundenen Sphärokrystalle als Calciumphosphat erkannt waren, versuchte ich in frischem Material derselben Pflanze durch Alkoholeinwirkung Sphärokrystalle hervorzurufen. Für alle weiteren Versuche benutzte ich ein Gemisch von gleichen Ranthheilen käuflichen absoluten Alkohols und Wasser. Behandelt man Schnitte von Euphorbia caput medusae auf dem Objektträger mit Alkohol, so entsteht in fast allen Parenchymzellen ein gleichförmiger Niederschlag, aus zahllosen kleinen Tröpfchen bestehend, welche die Zelle

1) Die Angabe in Gmelin-Kraut, Handb. d. Chemie. Bd. II, p. 197: »kanariengelbes, auch bei starker Vergrößerung amorphes Pulver« ist unrichtig.

2) Dieser mikroskopische Nachweis von Phosphorsäure dürfte auch den Chemikern bei der qualitativen Analyse von Nutzen sein, da man sich so versichern kann, daß nur Phosphorsäure, keine Arsen- oder Kieselsäure vorliegt.

undurchsichtig machen. Der Niederschlag löst sich beim Zutragen von Wasser. Läßt man Schnitte in einem Schälchen in Alkohol liegen, so ist der Niederschlag nach einigen Stunden krystallinisch geworden und besteht aus kleinen Drusen. Zur Bildung von Sphärokrystallen kommt es unter diesen Umständen nicht. Diese wird erreicht, wenn man ganze Sprossenden in Spiritus legt. Nach einigen Tagen kann man in den Zellen zahlreiche zart konturirte Kugeln finden, welche die Größe und Form der Sphärokrystalle, aber kein Lichtbrechungsvermögen besitzen. Es sind die in Bildung begriffenen Sphärokrystalle. Ihre vollständige Ausbildung und alle oben geschilderten Eigenschaften erhalten sie oft erst nach Monaten.

Die Auffindung des durch Alkohol abscheidbaren Calciumphosphates veranlaßten mich, einige andere Euphorbien in derselben Weise zu untersuchen. Ich wählte die gerade in den Gewächshäusern vorhandenen Spezies: *Euphorbia mamillosa*, *E. globosa*, *E. grandidens*, *E. splendens*, *E. canariensis*, *E. officinarum*, *E. lorica*. In allen Spezies fand ich nach kürzerer oder längerer Einwirkung des Alkohols Sphärokrystalle von derselben Form und gleichen Eigenschaften wie bei *E. caput medusae*. Bei den großen tropischen Euphorbien dauerte die Bildung etwas länger, wohl weil die Durchtränkung der dicken Canlome mit Alkohol langsam vor sich geht. Alle diese Sphärokrystalle bestehen aus Calciumphosphat.

Das Calciumphosphat wird durch die Wirkung des Alkohols in unlöslicher Form ausgeschieden, muß also in der lebenden Zelle gelöst oder in löslicher Verbindung vorhanden sein und sich auch ohne vorherige Alkoholwirkung in dem lebenden Material nachweisen lassen. Dies gelingt auch; ich will nur für den Phosphorsäurenachweis ein paar Vorsichtsmaßregeln beifügen.

Behandelt man Schnitte von frischen Pflanzen auf dem Objektträger ganz wie oben angegeben mit Ammoniummolybdat, so entsteht kein mit bloßem Auge sichtbarer Niederschlag. Die Schnitte färben sich zwar gelb, allein dies bewirkt die freie Salpetersäure des Reagens. Unter dem Mikroskop überzeugt man sich jedoch, daß der Niederschlag entstanden ist. Die Partikelchen bestehen aber nicht aus großen gelbgefärbten Individuen, sondern aus ganz kleinen Krystallen, die wegen ihrer Kleinheit farblos erscheinen. Die Form ist dennoch die des phosphormolybdänsauren Ammons, wie man sich durch künstliche Darstellung desselben aus ganz verdünnten Lösungen überzeugt. Bei Beobachtung solcher feinkörniger Niederschläge ist die genaue Einstellung des Mikroskops nicht außer Acht zu lassen, da, wenn die Oberseite eines etwas dicken Schnittes eingestellt wird, oft der in dem Versuchstropfen auf den Objektträger gesunkene Niederschlag übersehen werden kann. Auch diffundirt bei der Reaktion die Lösung gewöhnlich aus der Zelle, so daß die Reaktion außerhalb der Zellen stattfindet und der Niederschlag daher in der Umgebung des Schnittes zu suchen ist. Nur wenn die Reaktion sehr schnell eintritt, wie beim Alkoholmaterial, findet

man den Niederschlag in den Zellen selbst. Der etwas verzögerte Eintritt der Phosphorsäurereaktion bei Anwendung lebenden Materials erklärt sich durch die Annahme, daß das Calciumphosphat sich in der lebenden Zelle in Verbindung mit dem Zellinhalt befindet und aus dieser Verbindung erst abgeschieden werden muß, während bei dem Alkoholmaterial das abgeschiedene Calciumphosphat bereit liegt und sofort in Reaktion treten kann. Es kann allerdings auch die Schwierigkeit, mit welcher das Reagens in die Zellen hinein diffundirt, die Ursache der Verzögerung sein.

Das Resultat dieser Beobachtungen, deren Mittheilung der analytischen Methode wegen nicht gut gekürzt werden konnte, ist also, daß in den lebenden Zellen der Euphorbien Calciumphosphat vorhanden ist, welches durch Alkohol in Form von Sphärokrystallen abgeschieden werden kann.

Im Besitze dieser Anhaltspunkte, unterwarf ich die schon längere Zeit durch andere Beobachter gefundenen Sphärokrystalle der chemischen Analyse. Von solchen Beobachtungen sind zunächst die Russow's am bekanntesten. Er fand Sphärokrystalle in den Wedelstielen von *Marattia cicutae-folia* und *Angiopteris evecta*. Es gelang ihm aber nicht, über die chemische Natur ins klare zu kommen. Russow hielt die Sphärokrystalle für eine organische Kalkverbindung (p. 16, l. c.): »Da in den Gewebetheilen, welche die Sphärokrystalle oder die Substanz führen, aus welcher nach Alkoholzusatz sich Sphärokrystalle bilden, keine Stärkekörner angetroffen werden, so ist wahrscheinlich, daß die fragliche Substanz in physiologischer Rücksicht die Stärke vertritt, somit wahrscheinlich zum Theil aus einem Kohlehydrat (vielleicht einer Zuckerart oder dem Zucker verwandten Stoff) besteht.«

Die Vermuthung Russow's über die chemische Zusammensetzung der Sphärokrystalle und über ihre Bedeutung für den Stoffwechsel ist unrichtig. Die Sphärokrystalle sind anorganischer Substanz und bestehen aus Calciumphosphat.

Untersuchung der Sphärokrystalle von *Angiopteris evecta* und *Marattia cicutae-folia*.

Die Bildung der Sphärokrystalle wurde in derselben Weise, wie bei den Euphorbien hervorgerufen, indem Wedelstiele beider Pflanzen in verdünnten Alkohol eingelegt wurden. Am 3. Jan. 1881 eingelegte Stücke ließen schon nach 2—3 Tagen in fast allen Parenchymzellen sehr zart konturirte Kugeln erkennen, deren Lichtbrechungsvermögen nichts Auffallendes bot. Sie waren vollkommen glatt und zeigten keine Zusammensetzung aus nadelförmigen Krystallen oder sonst eine Struktur. Nach einigen Monaten erst hatten sie ganz dasselbe Aussehen, wie die Sphärokrystalle der

4) Russow, l. c.

Euphorbia. Wie bei diesen war die äußere Kugelschale deutlich krystallinisch. In diesem fertigen Zustande zeigten sie im polarisirten Licht das orthogonale Kreuz.

Gegen Reagentien verhielten sich die Sphärokrystalle der beiden Farne wie die der Euphorbien. Kaltes Wasser löst sie ziemlich leicht, Essigsäure und stärkere Säuren schneller. Dabei bleibt oft ein Häutchen zurück, welches sich aber später auch in der Säure löst. Konzentrierte Schwefelsäure ruft sogleich die Bildung von Gypsnadeln hervor. Die Reaktion mit Ammoniummolybdat zeigt Phosphorsäure an. Es bestehen also auch diese Sphärokrystalle aus Calciumphosphat. Die makroskopische Analyse bestätigte dies. Stengelstücke wurden zerschnitten und mit destillirtem Wasser ausgekocht. Die Lösung wurde auf 8—10 ccm konzentriert und geprüft. Oxalsaures Ammon zeigte Kalk, Ammoniummolybdat Phosphorsäure an. (Selbstverständlich wurde auf andere Säuren und Basen geprüft, die ausführliche Mittheilung der negativen Resultate kann unterbleiben.)

Gegen Färbungsmittel verhalten sich die Sphärokrystalle im ausgebildeten Zustande etwas anders, als die in Bildung begriffenen. Nur diese letzteren färben sich mit alkoholischer Anilinlösung, die fertigen Sphärokrystalle dagegen nicht. Legt man einen Schnitt mit den letzteren einige Zeit in Anilinroth, so dringt zwar etwas von der Lösung zwischen die feinen Nadeln der Oberfläche ein, eine Aufspeicherung des Farbstoffes findet nicht statt, wie man beim Verdrängen der überschüssigen Anilinlösung mit Wasser (wobei sich die Krystalle nach einiger Zeit lösen) sehen kann. Carmin färbt die Sphärokrystalle der Angiopteris an ihrer Oberfläche, ganz wie bei der Euphorbia. Es findet also auch hier keine Aufspeicherung des Farbstoffes statt, wie Russow angiebt.

Alles ebengesagte, zunächst auf Angiopteris bezügliche ist bei Marattia ebenso. Russow giebt von den Sphärokrystallen an, daß sie einen anorganischen krystallisirten oder amorphen Körper einschließen. Solche Einschlüsse sind zuweilen vorhanden, aber nur zufällige Bestandtheile des Sphärokrystals. Zuweilen ist es ein Chlorophyllkorn oder sonst ein Plasmakörperchen des Zellinhaltes, zuweilen auch ein Gypskryställchen, welche sich in den lebenden Zellen von Angiopteris und Marattia finden. Das Vorkommen der Sphärokrystalle beschränkt sich bei diesen beiden Formen nicht auf das Grundgewebe, auch die Tracheiden enthalten dieselben.

Das Calciumphosphat läßt sich auch bei Angiopteris und Marattia in der lebenden Zelle nachweisen. Legt man einen Schnitt von Angiopteris in Schwefelsäure, so schießen in allen Zellen nach kurzer Zeit Gypskrystalle an. Ebenso ist die Phosphorsäure an frischem Material nachweisbar. Man muß aber bei dem lebenden Material der Reaktion Zeit gönnen. Es ist oft nöthig, daß man nach dem Erwärmen mit Ammonmolybdat das Objekt 12 Stunden liegen läßt. Bekanntlich erfordert auch die Reaktion auf Phosphorsäure im Regensglas einige Zeit.

Unter den Mittheilungen, welche Russow in seinen »Vergleichenden Untersuchungen« über die Krystallauscheidungen durch Alkohol macht, findet sich auch die Angabe, daß sich an den Schnittflächen der Farnwedelstiele unter Alkohol nach einiger Zeit Krystallkrusten absetzen. Mikroskopisch ergibt sich, daß diese Krusten aus einem Gemenge von Sphärokrystallen und in überwiegendem Maße großen und schön ausgebildeten Einzelkrystallen des rhombischen Systems bestehen. Die großen Krystalle zeigen die Kombination von Prisma und Pyramide. Sie sitzen immer nur an der Schnittfläche, aus welcher reichlich der Schleim herausquillt, der die bekannten Schleimgänge der Marattiaceen erfüllt. Ohne Zweifel sind jene Krystalle aus dem Schleim herauskrystallisirt. Da die Krystalle den die Schnittfläche bedeckenden Schleim lose aufsitzen, so lassen sie sich leicht isoliren. Mit einigen Tropfen Ammonmolybdat erwärmt, erhält man den gelben Niederschlag, mit Schwefelsäure Gypsnadeln, es liegt also auch in den großen Krystallen ein Calciumphosphat vor. Über die Herkunft der großen Krystalle aus dem Schleim vergewissert man sich durch vorsichtiges Eindunsten einer kleinen Quantität desselben. Es bleibt ein krystallinischer Rückstand, meist aus unvollkommenen Krystallen, sogenannten Krystallgerippen bestehend. Reaktionen ergeben, daß dieselben aus Calciumphosphat bestehen. Was Russow über die Schichtung und Imbibition dieser großen Einzelkrystalle sagt, kann ich nicht bestätigen.

Um alle chemischen Details zusammenzustellen, möchte ich gleich hier anfügen, daß in den Zellen von Angiopteris- und Marattia-Arten, und zwar in den lebenden, sieht noch andere sehr kleine Krystalle finden, welche aus Gyps mit einer geringen Beimengung von Magnesiumsulfat bestehen. Die Form der kleinen Krystalle ist die sechseckiger Tafelchen, häufiger sind es Zwillingsbildungen. In kaltem und kochendem Wasser sind die Kryställchen unlöslich, die Beimengung des Magnesiums hat die Löslichkeitsverhältnisse des Calciumsulfats anscheinend verändert. Auch Essigsäure löst sie nicht, sodaß also kein Kalkoxalat vorlag. Es lassen aber sogar starke Säuren, wie Salzsäure und Salpetersäure, in der Kälte die Krystalle unverändert, sogar in konzentrirter Schwefelsäure bleiben sie ungelöst, sodaß also kaum etwas anderes als Calciumsulfat vorliegen kann. Das Vorkommen von krystallisirtem Gyps in Pflanzenzellen wird jedoch bestritten (NÄGELI u. SCHWENDENER, Das Mikroskop p. 487), weshalb ich einige Analysen machte. Eine Partie Wedelstücke von Angiopteris wurde zersehnitten, um das lösliche Calciumphosphat (d. Sphärokrystalle) zu entfernen, mit Wasser ausgekocht, sorgfältig ausgewaschen, bei 100° getrocknet und eingeisert. Die Asche wurde mit kohlensaurem Natron-Kali geschmolzen, ausgelaugt, filtrirt, angesäuert und im Filtrat mit Ba Cl die Schwefelsäure nachgewiesen.

Der aus Calciumcarbonat bestehende, in Wasser unlösliche Schmelzrückstand wurde in Salzsäure gelöst neutralisirt. Das Filtrat gab mit Ammo-

niunoxalat einen in Essigsäure unlöslichen Niederschlag: also Kalk vorhanden. In einem anderen Theil der ursprünglichen Lösung wurde nach Entfernung des Kalkes in geringer Menge Magnesium gefunden. Daß Gyps bei Anwesenheit von Magnesiumsalz häufig eine geringe Quantität davon bei der Krystallisation einschließt, ohne eigentliche Doppelsalze zu bilden, ist eine bekannte Thatsache.

Außer bei *Angiopteris evecta* und *Marattia cicutaefolia* fand ich Gypskrystalle bei *Angiopteris australis* und *Marattia Cooperi*. Um jede Täuschung zu vermeiden, untersuchte ich die Farnspezies noch auf Oxalsäure. Die Analyse bestätigte deren Abwesenheit überhaupt, sodaß also auch neben dem Gyps kein Calciumoxalat in den untersuchten Farnen vorkommt.

Sphärokrystalle in Mesembryanthemum-Arten.

L. KOLDERUP-ROSENINGE hat ihr Vorkommen in den genannten Pflanzen zuerst beobachtet, analytische Angaben aber nicht gemacht. Die von diesem Beobachter behandelten Formen habe ich nachuntersucht und auch hier überall die durch Alkohol bewirkten Ausscheidungen als Calciumphosphat erkannt. Nachstehend sind die Spezies genannt: *M. cchinatum*, *spectabile*, *deltoides*, *verruculatum*, *cordifolium*, *pustulatum*, *murieatum*, *retrollexum*, *heterophyllum*, *erassifolium*, *barbatum*, *lineolatum*, *violaceum*.

Je nach der Konzentration des Alkohols erhält man bei diesen succulenten Pflanzen mehr oder weniger schön ausgebildete Sphärokrystalle. Die Sphärokrystalle finden sich in allen Theilen, Stengeln, Blättern, Blütenstielen. Bei *M. barbatum* reichlich in den papillarartigen Epidermiszellen.

ROSENINGE glaubte, die von ihm gefundenen Sphärokrystalle seien bei den verschiedenen Arten chemisch verschieden, da nur die von *M. cordifolium* und *pustulatum* sich leicht in Wasser lösten. Diese Beobachtung ist nicht richtig, auch die Sphärokrystalle der anderen Arten lösen sich leicht in Wasser. Alle Krystalle geben mit konzentrierter Schwefelsäure Gypsnadeln, mit Ammonmolybdat oft schon in der Kälte einen reichlichen Niederschlag, theils in den Zellen, bei dünnen Schnitten außerhalb desselben.

Außer den schon citirten finden sich nun noch zwei Angaben über das Vorkommen von Sphärokrystallen. Die eine von G. KRAUS, welcher in Epidermiszellen von *Cocculus laurifolius*, und die zweite von MIKA, welcher bei *Capsella bursa pastoris* jene Gebilde fand. In beiden Fällen sind, wie ich bestätigen konnte, die Sphärokrystalle organischer Natur. Ihre nähere Untersuchung habe ich noch verschoben.

Das Resultat der mikrochemischen Untersuchungen ist, daß in lebenden Zellen der verschiedensten Pflanzen, also man darf wohl allgemein sagen in der lebenden Zelle Calciumphosphat vorhanden ist, welches sich durch Alkohol in Form von Sphärokrystallen abscheiden läßt.

wo
gra
da
+
tra
der
we
un
ph
ph
ph
es
we
nic
der
ein
me
we
Sp
ma
we
de
dal
nie
gel
har
zer
Bei
seh
gro
seh
spr
ent
wie
194
Ent
gan
auf

Es ist bis dahin nur in verholzten Zellen Calciumphosphat gefunden worden. Schon lange bekannt ist das Vorkommen im Holze von *Tectonia grandis*. Seine Analyse führte in neuerer Zeit G. THOMS¹⁾ aus und glaubt, daß dem Salz die Formel $2\text{CaO} \cdot \text{HOPO}_3$ (nach neuer Schreibweise $\text{Ca}_2\text{HPO}_4 + \text{H}_2\text{O}$) zukomme. Das im Teakholz vorhandene Salz wäre demnach neutraler phosphorsaurer Kalk (alter Nomenclatur) oder Bicalciumphosphat. In demselben Bande der »Versuchsstationen« ist eine kurze Notiz von NOBBE, welche die Vermuthung ausspricht, daß in den Blättern von *Soja hispida* und *Robinia* gefundene rundliche bis eiförmige Gebilde wahrscheinlich phosphorsaurer Kalk seien. Nähere Bestätigung ist nicht erfolgt.

Es wird sich nun nicht leicht feststellen lassen, welches Calciumphosphat die oben beschriebenen Sphärokrystalle darstellen. Von den Orthophosphaten ist nur das Monocalciumphosphat in Wasser leicht löslich. Allein es ist fraglich, ob gerade dies Phosphat vorliegt. E. ERLÉNMEYER hat in seinen werthvollen Untersuchungen über phosphorsaure Salze²⁾ nachgewiesen, daß nicht immer einfache Verbindungen entstehen, sondern daß unter Umständen komplizierte Salze gebildet werden können, welche sich nicht den drei einfachen Typen der Orthophosphate unterreihen. Durch Verbindung mehrerer Säuremoleküle, welche durch ein mehrwerthiges Metall verbunden werden, ist der Komplikation beim Ersatz weiterer Wasserstoffatome ein Spielraum geboten. Ich erwähne dies nur, um darauf hinzuweisen, daß man es in den Zellen nicht mit dem Monophosphat zu thun zu haben braucht, wenn auch die leichte Löslichkeit der Sphärokrystalle in Wasser auf dieses deutet. Eine Formel für das Salz der Sphärokrystalle aufzustellen dürfte daher sehr voreilig sein. Es scheint mir auch die Aufstellung einer Formel nicht von solcher Wichtigkeit. Selbst wenn dies für die Sphärokrystalle gelänge, so fragt es sich doch, ob in der lebenden Zelle dasselbe Salz vorhanden ist, denn die Wirkung des Alkohols darf bei so veränderlichen Salzen, wie manche Phosphate, nicht vernachlässigt werden. Es wird zum Beispiel Monocalciumphosphat durch verdünnten Alkohol verändert, was schon dagegen spricht, daß dies in dem Alkoholmaterial vorliegt. Auch die großen rhombischen Einzelkrystalle, welche sich aus dem Schleim ausscheiden, sind kein Monocalciumphosphat. Die Reaktion mit Silbernitrat spricht dagegen, daß überhaupt ein Orthophosphat vorliegt. Mit Silbernitrat entsteht ein in Salpetersäure und Ammon löslicher weißer Niederschlag, wie ihn pyrophosphorsaure Salze geben³⁾.

1) Landwirthschaftl. Versuchsstationen 1879 p. 68 u. p. 445.

2) ERLÉNMEYER, Studien über phosphorsaure Salze, Annalen d. Chemie 190 p. 189 ff. 194 p. 176 ff. Ber. d. d. chem. Ges. 1876. Bd. 9, p. 1839.

3) Die Umsetzung von Monocalciumphosphat durch kleine Mengen Wasser, welche ERLÉNMEYER angegeben, läßt sich sehr gut mikroskopisch beobachten. Übergießt man ganz wenig Monocalciumphosphat schnell mit viel Wasser, so löst es sich vollkommen auf. Bringt man aber zu krystallisiertem Monocalciumphosphat auf dem Objektträger

Die Sphärokrystalle bestehen also aus einem löslichen Calciumphosphat. Damit schließe ich die chemischen Beobachtungen und wende mich der Struktur der Sphärokrystalle zu, über die nur das Nothwendigste oben gesagt wurde und deren vollkommenes Verständniß erst aus der Bildung derselben erhellen wird. Zugleich wird die Verfolgung der Entstehung auch erst einigen Aufschluß über die Bedeutung des Calciumphosphates für die lebende Pflanze geben können.

Entstehung der Sphärokrystalle.

Die Entstehung der Sphärokrystalle ist von den früheren Beobachtern nur ungenügend verfolgt worden. Es heißt bei Allen, daß beim Behandeln von Schnitten der betreffenden Pflanze mit Alkohol sich in den Zellen kleine Kügelchen ausscheiden, daß beim Behandeln ganzer Pflanzentheile mit Alkohol nach Tagen oder Wochen fertige Sphärokrystalle sich finden. Man nahm an, daß die letzteren aus jenen Kügelchen entstanden seien; doch wurde das Wie nicht verfolgt. Da die Sphärokrystalle in den größeren Pflanzenstücken größer waren als die an Schnitten beobachteten anfänglichen Kugeln, so wurde von einzelnen Beobachtern daraus ein Wachstum der Sphärokrystalle gefolgert. Nach NÄGELI sollte dies durch Apposition geschehen, wie heute noch allgemein angenommen wird.

Die Art der Entstehung ist jedoch eine ganz andere.

Man überzeugt sich bald, daß eine Untersuchung mikroskopischer Schnitte nicht zum Ziel führt. Behandelt man einen Schnitt einer der oben genannten Pflanzen auf dem Objektträger mit Alkohol, so entsteht in den meisten unverletzten Zellen ein Niederschlag. Derselbe besteht aus zahllosen Kügelchen, welche sich bald als Tropfen zu erkennen geben. Die Zellen sind anfangs durch den Niederschlag ganz undurchsichtig; allmählich wird der Inhalt heller und endlich verschwindet der Niederschlag vollständig. Dies kommt daher, daß der Alkohol auf dem Objektträger verdampft, dabei wässeriger wird und so im Stande ist, den Niederschlag zu lösen. Es kann also die Bildung von Sphärokrystallen auf diese Art nicht beobachtet werden. Legt man Schnitte des Objektes in ein bedecktes Schälchen mit Alkohol, so findet sich nach einigen Stunden, daß die Tropfen in den Zellen zu kleinen Drusen krystallisiert sind. Sphärokrystalle bilden sich nicht. Diese Beobachtungen sprechen schon dagegen, daß die Sphärokrystalle aus den anfänglichen Kügelchen durch Appositionswachstum entstehen.

Die stets vorhandene Kugelform der Sphärokrystalle legte mir den Gedanken nahe, daß dieselben nicht in fester Form entstehen, sondern daß sie ursprünglich Tropfen sind, welche, im Zellinhalt durch Alkohol ausgeschie-

einen kleinen Tropfen Wasser, so sieht man, wie das Salz sich löst, aber sofort zahllose rhombische Tafeln von unlöslichem Calciumdiphosphat entstehen.

den, später durch Krystallisation fest werden. Es ist nichts Auffallendes, daß feste Substanzen, welche durch ein Medium, in dem sie unlöslich sind, ausgefällt werden, anfangs flüssig sind. Eine Anzahl fester Ätherarten z. B. wird bei ihrer Bereitung durch Wasser ausgefällt. Dabei fallen die Äther in flüssiger Form nieder. Später erst erstarren die großen Tropfen zum festen Körper. Es war ein ähnlicher Vorgang bei der Alkoholeinwirkung auf den Zellsaft denkbar. Ganz so einfach verhält sich die Sache nicht.

Der wirkliche Vorgang läßt sich am besten verfolgen, wenn man ganze Stücke der Pflanzentheile in verdünnten Alkohol legt und an Schnitten davon oft beobachtet.

In der That entstehen die Sphärokrystalle als Tropfen. Wirkt der Alkohol schnell ein, wie dies bei mikroskopischen Schnitten der Fall ist, so entstehen unzählige kleine Tropfen, wie bei einer Emulsion. Beim langsamen Eindringen des Alkohols findet in den Zellen die Bildung von wenigen großen Tropfen statt. Das Festwerden der Sphärokrystalle ist ein einfacher Krystallisationsprozess. Der Tropfen erstarrt und dies geschieht in der Weise, daß eine äußere Rinde in Nadeln anschießt, die mehr oder weniger, oft gar nicht getrennt sind, während der Kern des Sphärokrystalls nicht sichtbar krystallinisch, vielleicht amorph ist. Meistens treten keine weiteren Schichten auf, wenn dies aber geschieht, so bilden sich neue Schichten durch eine wiederholte Krystallisation, indem im Innern nochmals eine oder mehrere Kugelschalen krystallinisch werden. Ein Wachstum durch Auflagerung findet nicht statt. Der einmal festgewordene Sphärokrystall wächst überhaupt nicht mehr, er nimmt nur so lange an Größe zu, als er sich noch im Tropfenzustande befindet, und man kann dann weder von Appositions- noch Intussusceptionswachsthum reden, da es sich hier nur um die Vergrößerung eines Flüssigkeitstropfens handelt. Die Sphärokrystalle widersprechen also weder der Theorie von NÄGELI, noch können sie dieselbe stützen.

NÄGELI hat übrigens in seiner Mittheilung über die von ihm entdeckten Sphärokrystalle der *Acetabularia* seine Ansicht über das Wachsthum derselben nur auf die Beobachtung fertiger Zustände gegründet, und eigentlich nur aus dem Verlauf der konzentrischen Schichtung bei verschmolzenen Kugeln auf Appositionswachsthum geschlossen. Er sagt (l. c. p. 315): »Dieser Schichtenverlauf beweist, daß die Sphärokrystalle durch Auflagerung an der Oberfläche sich vergrößern.« Ein wirklicher Nachweis, daß das Wachsthum so stattfindet, ist von NÄGELI nicht geliefert. Ich glaube deshalb auch, obgleich ich die Sphärokrystalle der *Acetabularia* nicht eingehend untersuchen konnte,¹⁾ dieselbe Art der Bildung für dieselben annehmen zu

1) Alkoholmaterial stellte mir Herr Geheimrath v. SACHS aus seiner Sammlung zur Verfügung. Doch konnte ich an demselben natürlich nur die fertigen Sphärokrystalle beobachten. Dieselben sind nicht, wie ich anfangs glaubte, anorganischer Natur. — Sie quellen in Schwefelsäure auf und verschwinden langsam, ohne daß wohl eine eigent-

dürfen. NÄGELI theilt am Ende seiner Abhandlung p. 321 eine Meinung über die Struktur der Sphärokrystalle mit, welche ich nach meinen Beobachtungen nicht bestätigen kann. Es heißt:

»Mit Rücksicht auf das krystallinische Gefüge scheint aus der mikroskopischen Untersuchung hervorzugehen, daß die Sphärokrystalle aus winzigen, höchstens 1 Mikrom (0,001 mm) dicken Nadeln oder Stäbchen zusammengesetzt sind, welche theils eine radiale, theils eine zum Radius rechtwinklige Stellung haben und welche, wie Balken zu einem Bau vereinigt, eine sehr poröse Masse bilden. Es ist nicht sicher, ob dieses Gefüge schon mit dem ersten Entstehen einer Schicht an der Oberfläche in fertigem Zustande auftritt, oder ob es durch eine nachträgliche Krystallisation im Innern seine Vollendung erhält.«

Einerseits habe ich nie unter meinen Objekten solche erblickt, welche einen derartigen Aufbau vermuthen lassen, andererseits scheint es mir unwahrscheinlich, daß bei einer ungestörten Erstarrung eine solche Struktur, wie sie NÄGELI annimmt, auftreten könne. Auch scheinen mir NÄGELI's Abbildungen mit den neuen Thatsachen im Einklang. Wenigstens ist an NÄGELI's Figur 2 wahrnehmbar, daß er auch eine Sehale von anderer Molekularbeschaffenheit, als der des Kernes bei seinen Sphärokrystallen gesehen hat.

Daß die Sphärokrystalle, welche ich beobachtet habe, als Tropfen entstehen, ist eine nicht zu bezweifelnde Thatsache, allein es ist damit noch nicht vollkommene Klarheit über ihre Bildung gewonnen. Es liegen zwei Möglichkeiten vor, wie jene Tropfen sich in der Zelle ausscheiden. Sie können sich im Zellsaft oder in der Substanz des Protoplasmas bilden. Wiederholte sorgfältige Beobachtung konnte mich nicht zu einem bestimmten Schluß zwingen. Ich kann deshalb hier nur die Momente anführen, welche für oder gegen die eine oder andere Möglichkeit sprechen.

Es ist zunächst vorauszusehen, daß die Tropfen von dem übrigen Zellinhalt von einem feinen Häutchen, welches wahrscheinlich aus Eiweißsubstanz besteht, umgeben sind. Aus dem Vorhandensein dieses Häutchens erklären sich verschiedene Thatsachen der Beobachtung, z. B. das verschiedene Verhalten der fertigen und der in Bildung begriffenen Sphärokrystalle gegen Lösungsmittel wie Salzsäure. Die fertigen, festen Sphärokrystalle schmelzen beim Lösen von außen ab, die sich bildenden nicht. In letzterem Fall, wo die Sphärokrystalle noch von einem Eiweißhäutchen umgebene Flüssigkeitstropfen sind, kann die gleiche Erscheinung des Abschmelzens natürlich nicht stattfinden. In Tropfenstadium verschwinden die Sphäro-

liche Lösung stattfindet. Zieht man die Acetabularia mit kochendem Wasser aus und fällt mit Alkohol, so erhält man einen weißen Niederschlag, der unzweifelhaft die Substanz der Sphärokrystalle darstellt. Beim Verbrennen bildet sich reichliche Kohle. Beim Kochen mit Schwefelsäure bildet sich kein alkalische Kupferlösung reducirender Körper, sodaß also die Sphärokrystalle kein Inulin sind. (Prüfung auf Calciumphosphat, Calciumsulfat und Magnesiumsalze hatten ein negatives Resultat ergeben.)

krystalle erst, wenn die einwirkende Säure das Häutchen gelöst hat und der Tropfen sich in der umgebenden Flüssigkeit vertheilt. Ferner ist auch verständlich, daß die Carminfärbung nur an der Oberfläche stattfindet. Die Sphärokrystalle behalten auf ihrer Oberfläche das Grenzhäutchen, die frühere Tropfenumhüllung, und dies allein kann den Farbstoff aufnehmen. Beim Lösen in Salzsäure bleibt das gefärbte Häutchen zurück. Endlich erscheint es nun auch selbstverständlich, daß zwei Tropfen sich durch Berührung nur stören, aber nicht ineinanderfließen, was ja geschehen würde, wenn das umhüllende Häutchen dies nicht hinderte. Man kann übrigens gerade bei den verwachsenen Sphärokrystallen das Grenzhäutchen an der Verwachsungsstelle der beiden Kugeln mikroskopisch wahrnehmen.

Die Entstehung dieses Häutchens erscheint am plausibelsten bei der Annahme, daß die Tropfen sich im Protoplasma selbst ausscheiden. Die Tropfen würden dann Vakuolen in dem durch den Alkohol sich zersetzenden Protoplasma darstellen, welche sich durch osmotische Vorgänge vergrößerten. Der Vorgang würde Ähnlichkeit haben mit den Zersetzungsercheinungen des Protoplasmas durch Wasser. Die Sphärokrystalle würden durch Erstarrung in der Vakuole entstehen und die ursprüngliche Vakuolenwand würde das später den Sphärokrystall umhüllende und sich durch Carmin färbende Häutchen darstellen. Die stets halbkugelige Gestalt der Sphärokrystalle würde sich aus einer solchen Entstehungsweise ebenfalls erklären. Der protoplasmatische Wandbeleg wird bei langsamer Einwirkung des Alkohols nicht kontrahirt, sondern bleibt der Zellwand anliegen. Angenommen, die Tropfen schieden sich in dem Wandbeleg aus, so würden die Vakuolen bei ihrer Vergrößerung nach einer Seite durch die Zellwand gehemmt werden. Sie würden sich gegen die Zellwand abplatteln, der Tropfen würde halbkugelig und die erstarrten Sphärokrystalle mißten dementsprechend die Form der Halbkugel haben.

Für die Tropfenausscheidung im Protoplasma spricht das häufige Vorkommen von Chlorophyllkörnern im Centrum der Sphärokrystalle — die Chlorophyllkörner liegen ja bekanntlich im Wandbeleg eingebettet. Es spricht weiter dafür das Vorkommen von Bildern, welche ich zuweilen erhielt. In den Zellen hatten sich die kleinen Sphärokrystalle beim Festwerden kontrahirt und füllten den ursprünglichen Raum nicht mehr aus, was eher auf die Vakuolennatur dieser Räume deutet, als auf ein einfaches, im flüssigen Zellsaft entstandenes Grenzhäutchen. Auch die Morphologie der Tropfenbildung kann für die Ausscheidung im Protoplasma gedeutet werden. Namentlich bei schneller Bildung der Tropfen, wie sie durch Glycerin und starke Salzsäure hervorgerufen werden kann, beginnt die Tropfenausscheidung immer von der Zellwand, dieselben heben sich gleichsam von der Wand in den Zellraum empor.

Trotzdem die Erscheinungen bei der Annahme einer Tropfenausscheidung im Protoplasma selbst besonders verständlich werden, ist es doch

noch nicht gestattet, sich derselben anzuschließen, da auch eine Thatsache gegen diese Bildungsweise spricht. Es finden sich nämlich auch in den Tracheiden von Angiopteris und anderer Farne Sphärokrystalle sehr reichlich. Da die Tracheiden kein Protoplasma enthalten, so muß damit die Wahrscheinlichkeit der Tropfenbildung im Protoplasma zweifelhaft werden.

Gegen die Ausscheidung der Tropfen im Zellsaft lassen sich keine Einwendungen machen, dagegen müssen verschiedene Eigenschaften des Zellsaftes gefordert werden, welche nicht ohne weiteres als vorhanden vorausgesetzt, aber doch wohl angenommen werden dürfen. Die Tropfenbildung im Zellsaft ist einleuchtend — die Tropfen schwimmen eben wie die einer Emulsion isolirt im Zellsaft. Verlangt wird jedoch, daß der Zellsaft nicht wässerig, sondern in hohem Grade viscid ist, da die später zu beschreibende Darstellung künstlicher Sphärokrystalle zeigen wird, daß nur in einem schleimigen Medium Sphärokrystalle entstehen. Das Vorkommen der Sphärokrystalle in den Tracheiden ist mit der Entstehung der Tropfen im flüssigen Zellsaft vereinbar. Nach dem Eindringen des Alkohols wird der Plasmanschlauch der Parenchymzellen permeabel und der Zellsaft wird durch Diffusion in die mit verdünnter Luft erfüllten Tracheiden eintreten, wo dann in derselben Weise wie in den Zellen die Tropfenausscheidung vor sich geht. Einige Schwierigkeit macht die Vorstellung der Entstehung des Grenzhäutchens. Man muß annehmen, daß der Zellsaft Eiweißlösung enthält, welche durch die Einwirkung des Alkohols gerinnt und so um die Tropfen ein relativ festes Häutchen bildet.

Daß nicht etwa die Tropfen sich zwischen Zellwand und Wandbeleg ausscheiden, kann man durch Beobachtung feststellen. Wenn man nach der Alkoholeinwirkung den Protoplasma-beleg durch Jod, Anilinlösung etc. zur Kontraktion bringt, sieht man, daß die Tropfen jedenfalls innerhalb des kontrahirten Schlauches liegen. Vielleicht gelingt es später, durch ein günstiges Beobachtungsobjekt die Unbestimmtheit zu heben und den wahren Vorgang vollständig zu sehen und klar zu legen.

Nach den erlangten Resultaten schien es mir besonders interessant, die Sphärokrystalle des Inulins bezüglich ihrer Bildung zu untersuchen und SACHS' Beobachtungen zu ergänzen. In der That sind auch diese Sphärokrystalle von besonderem Interesse, da sich die Verhältnisse ihrer krystalinischen Struktur, gegenüber den schon beobachteten Calciumphosphat-sphärokrystallen, noch etwas kompliziren.

Die Sphärokrystalle des Inulins.

Durch die bekannte Abhandlung von SACHS¹⁾ wurde mit Sicherheit nachgewiesen, daß das Inulin in den Zellen von Dahlia, Helianthus, Inula

¹⁾ SACHS. Über Sphärokrystalle des Inulins und dessen mikroskopische Nachweisung in den Zellen. Bot. Zeitung 1864.

gelöst vorkomme und daß Alkohol ein vortreffliches Reagens sei, das Inulin in den Zellen selbst in Form großer Sphärokrystalle niederzuschlagen.¹⁾ Es war SACS damals nur um den Nachweis dieses Stoffes zu thun, eine eingehende Untersuchung der Bildung und der Strukturverhältnisse unterblieb und wurde auch später nicht wieder aufgenommen. Die große Ähnlichkeit mit den kurz zuvor von NÄGELI aufgefundenen Sphärokrystallen der *Acetabularia* trat sogleich hervor, doch konnte die bei den Sphärokrystallen des Inulins ebenfalls bemerkbare konzentrische Schichtung SACS nicht zu dem unmittelbaren Schluß eines Wachsthum durch Auflagerung veranlassen. SACS sprach deshalb auch nur seine Vermuthung über die Struktur der fertigen Gebilde aus. Die bei Druckwirkungen stets auftretenden radialen Spalten, sowie eine vorwiegend sichtbare radiäre Streifung machten es wahrscheinlich, daß die Inulinsphärokrystalle aus dichtgedrängten radialen Nadeln zusammengesetzt seien, worauf auch die optischen Erscheinungen deuteten. Diese Ansicht wurde von anderen Autoren auf die von ihnen beobachteten Sphärokrystalle übertragen.²⁾

Durch die aus meinen Beobachtungen schon gewonnenen Anhaltspunkte wurde es mir leicht, noch einige ergänzende Thatsachen auch für das Inulin zu gewinnen.

Was die Entstehung der Inulinsphärokrystalle betrifft, so scheiden sie sich ganz in derselben Weise wie das Calciumphosphat als Tropfen aus. Es sind auch hier anfangs von einem Häutchen umgebene Tropfen, welche später krystallinisch erstarren. Damit soll nicht gesagt sein, daß dies Häutchen die Ursache der Krystallisation sei, da nach SACS' Angaben auch in wässriger Lösung von Inulin Sphärokrystalle auftreten. In den Zellen habe ich immer dies Häutchen beobachtet. Ich finde in SACS' Untersuchung vom Jahre 1864 die Bestätigung meiner Beobachtung, denn es geht aus den Zeilen desselben hervor, daß er den wahren Vorgang der Sphärokrystallbildung als Tropfen schon gesehen hat. SACS' Mittheilung lautet: »Setzt man auf einen frischen Schnitt der inulinhaltigen Knollen einen großen Tropfen 90 procentigen Alkohol oder besser, taucht man jenen in Alkohol ein, so nimmt das vorher durchsichtige Parenchym eine opake weiße Färbung an, das Ganze wird knorpelartig steif. Beobachtet man einen solchen Schnitt in Alkohol von 90% mit starker Vergrößerung unter Deckglas, so zeigen sich die meisten Parenchymzellen erfüllt mit einem Niederschlag feiner, lebhaft bewegter Körnchen; häufig finden sich schon jetzt größere Kugeln, welche bei schwacher Vergrößerung Öltropfen ähnlich sind. In vielen Zellen hat der Niederschlag aber ein anderes Aussehen; es scheint so, als ob sich eine schaumig vakuolige, stark lichtbrechende Masse an die Zellwand angelagert hätte« (l. c. p. 85).

1) Über die Formenbildung im Einzelnen siehe SACS' Abhandlung.

2) PRANTL hat in seiner Monographie des Inulins (München 1870) bezüglich der Struktur SACS' Angaben acceptirt.

Ich glaube keine bessere Garantie für die Richtigkeit meiner eigenen Beobachtungen finden zu können als jene Zeilen. Aus dem oben bei den Sphärokrystallen der Euphorbia mitgetheilten Erklärungen finden auch manche Punkte in SACUS' Abhandlung eine Deutung.

Auch bezüglich der Struktur finden sich bei SACUS Angaben, welche zu den vorliegenden Beobachtungen stimmen. Er sagt: »Oft macht sich ein kompakterer Kern umgeben von einer dickeren helleren Schicht bemerklich« (l. c. p. 85). Dies Aussehen ist jetzt durch den oben bei den Phosphat-sphärokrystallen beschriebenen Bau erklärlich.

Dem die Struktur der Inulinsphärokrystalle ist häufig ganz so wie die der Calciumphosphatsphärokrystalle. Eine dichte, deutlich krystallinische und aus radialen Nadeln bestehende Schale umhüllt einen amorphen, leichter löslichen Kern. Die Nadelchen, welche die Schale bilden, sind zuweilen wirklich isolirt, zuweilen ist dies nicht der Fall und die krystallinische Struktur der Schale erscheint dann als radiäre Streifung. Die krystallinische Kugelschale ist von verschiedener Dicke, manchmal sehr dünn, so daß die Streifung kaum sichtbar ist, manchmal sehr breit, so daß die einzelnen Nadeln deutlich hervortreten.

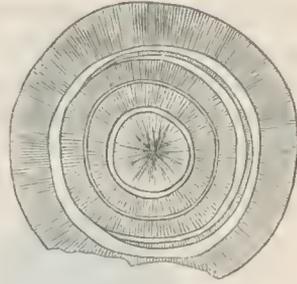
Wie bekannt, treten häufig zwei oder mehrere Sphärokrystalle zu Aggregaten zusammen. Es ist den früheren Beobachtungen hinzuzufügen, daß dort, wo zwei Kugeln zusammenstoßen, dieselben durch eine helle Linie getrennt sind. Dies ist das Grenzhäutchen des früheren Tropfens. Auch SACUS hat schon in seinen Figuren 4, 5, 6 diese trennende Membran gezeichnet. Wäre dies trennende Häutchen nicht vorhanden, so ließe sich gar nicht einsehen, weshalb zwei Inulinsphärokrystalle, die doch als Tropfen entstehen, bei ihrer Begegnung nicht in einen großen Tropfen zusammenfließen.

Die besten weiteren Anschlüsse über die Strukturverhältnisse giebt die vorsichtige Behandlung mit warmem Wasser. Beim Lösen in verschiedenen energischeren Lösungsmitteln hatte ich bemerkt, daß bei allen Sphärokrystallen sich gewisse Partien leichter lösen, als andere. Es bestätigte sich, daß beim Inulin warmes Wasser oder verdünnte Salpetersäure einen besonders deutlichen Einblick in die Struktur verschafft. Die Kugeln schmelzen nicht von außen ab, sondern unter einer bleibenden, oft ziemlich dicken Hohlkugel löst sich der amorphe Kern auf, erst bei energischerer Behandlung mit dem lösenden Medium löst sich auch die krystallinische Schale.

In den meisten Fällen macht sich bei allen Inulinsphärokrystallen viel deutlicher als bei den früher beschriebenen eine konzentrische Schichtung bemerkbar. Dieselbe wird durch die radial stehenden Nadeln der Schale meist verdeckt, wird aber bei genauer Einstellung oder beim Behandeln mit Lösungsmitteln deutlich. Diese konzentrische Schichtung ist dadurch bedingt, daß auch im Innern des Sphärokrystalls deutlich krystallinische Schichten sich bilden, welche aber zwischen sich amorphe Schichten ein-

schließen. Der Sphärokrystall besteht also aus abwechselnd amorphen und krystallinen Schichten. Außen liegt immer eine dichte Schicht. Behandelt man solche Krystalle mit warmem Wasser, so lösen sich alle amorphen Schichten heraus und die krystallinen Schichten bleiben als konzentrische Kugelschalen stehen. Man erhält gleichsam Skelette der Sphärokrystalle, die aus krystallinischem Inulin bestehen. In der Regel sind die krystallinen Schichten nicht so breit wie die amorphen, oft ist es umgekehrt. Ganz dieselbe Struktur besitzen auch die von MIKA gefundenen Sphärokrystalle.

Fig. 2.



Inulinsphärokrystall nach der Behandlung mit warmem Wasser. Die amorphen Schichten sind herausgelöst.

Ich glaube damit die Entstehung der Sphärokrystalle etwas klarer gelegt und die Einsicht in ihre Struktur um einen Schritt gefördert zu haben. Es fragt sich nun aber, welche Umstände diese seltsame Formenbildung bedingen. Daß diese Absonderungsform an ganz bestimmte Bedingungen geknüpft ist, ergibt sich daraus, daß auch Substanzen, welche bei ihrer Krystallisation gewöhnlich eine Form der bekannten Krystall-systeme annehmen, unter Umständen als Sphärokrystalle auftreten, wie das Beispiel des Calciumphosphates in dem Alkoholmaterial zeigt.

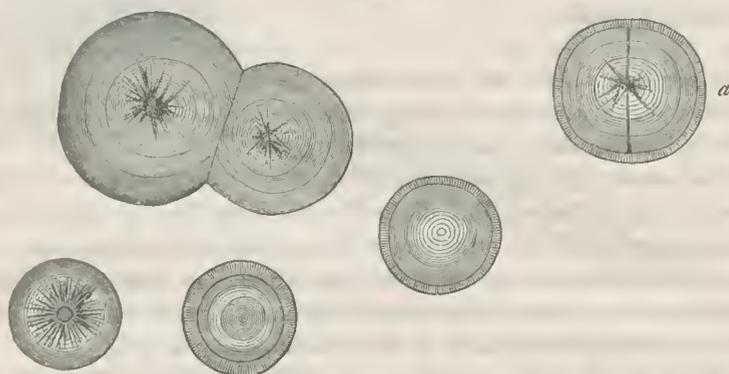
Es kann also darauf an, gerade von solchen Substanzen Sphärokrystalle künstlich darzustellen. Versuche mit verschiedenen Salzen ergaben vorerst, daß durch Alkohol allein die Salze niemals aus ihrer wässerigen Lösung als Sphärokrystalle niedergeschlagen werden, sondern in ihrer gewöhnlichen Krystallform sich abscheiden. Eine mit Sicherheit festzustellende Bedingung für die Gewinnung von Sphärokrystallen ist, daß die Krystallisation in einem schleimigen Medium erfolgt, welches die freie Bewegung der Moleküle bei der Krystallisation bis zu einem gewissen Grade hemmt. Es sind schon 1872 einige dahingehörige Experimente von P. HARTING¹⁾ veröffentlicht worden, durch welche die Identität von künstlich in schleimigen Medien erzeugten Niederschlägen mit den im Thierreich vorkommenden Kalkkonkretionen nachgewiesen werden sollte. Es gebührt HARTING das Verdienst, durch seine Experimente den Versuch zur Lösung von interessanten Fragen, namentlich über thierische Lebensvorgänge, angebahnt zu haben, doch wurde der Weg nicht weiter verfolgt. Seine Angaben über die Entstehung der künstlichen Sphärokrystalle und über die dabei in Betracht kommenden chemischen Vorgänge bedürfen aber auch noch mancher Berichtigung.

HARTING erzeugte Niederschläge von kohlensaurem Kalk, indem er in

1) P. HARTING. Recherches de morphologie synthétique sur la production artificielle de quelques formations calcaires organiques. Amsterdam 1872.

Eiweiß, Gelatine, Leim, Blut etc. Calciumchlorid und Kaliumkarbonat zusammenbrachte. Die zahlreichen Abbildungen seiner Niederschläge zeigen Formen, welche den in Pflanzenzellen beobachteten Sphärokrystallen, namentlich auch in ihren optischen Eigenschaften, aufs Haar gleichen. Für den vorliegenden Zweck reicht aber eine bloße Vergleichung dieser Formen mit unseren Sphärokrystallen nicht aus. Außerdem war es HARTING nicht gelungen, Calciumphosphat in Form von Sphärokrystallen zu erhalten, worauf es mir besonders ankam. Um Sphärokrystalle von Calciumphosphat zu erhalten, habe ich, von HARTING's Angaben ausgehend, die Experimente in folgender Weise angestellt:

Fig. 3.



Künstliche Sphärokrystalle von Calciumphosphat. *a.* zusammengesetzter Sphärokrystall, durch Vereinigung zweier Tropfen entstanden.

Ein Hühnerereiweiß wurde mit dem gleichen Volum einer konzentrierten Lösung von Calciumchlorid (1:2) gut gemischt und dann eine konzentrierte Lösung von Natriumphosphat zugesetzt. Nach Verlauf eines Tages fanden sich in dem Gemisch zahlreiche Krystalle. Es waren jedoch meistens Krystalldrusen und wenig Sphärokrystalle. Dies schien die Angabe HARTING's zu bestätigen, daß das Calciumphosphat jene Form nicht annähme und nur in gewöhnlicher Krystallform aus dem Eiweiß abgeschieden werde. Indem ich mit verdünnteren Lösungen arbeitete, kam ich aber doch zum Ziel.

2 ccm Calciumchloridlösung (1:30) mit einem Eiweiß gut gemischt und mit 2 ccm einer Lösung von Natriumphosphat (1:30) versetzt, lieferten einen flockigen Niederschlag, in dem sich nach einiger Zeit zahlreiche Sphärokrystalle vorfinden, welche bis zu 0,025 mm groß sind. Da bekanntlich Hühnerereiweiß lösliche Phosphate enthält, so genügt es, zu einem Eiweiß eine Lösung von Calciumchlorid (1+2) in gleichem Volumen zuzusetzen und einige Stunden sich selbst zu überlassen, um Sphärokrystalle in Unzahl zu finden. Die größten Sphärokrystalle erhielt ich, als das mit der Chlorcalciumlösung (1+2) im gleichen Volumen gemischte Eiweiß auf seiner Oberfläche mit einem groben Pulver von Dinatriumphosphat bestreut und

einen Tag der Ruhe überlassen wurde. Man kann auch so verfahren, daß man das feste Natriumphosphat durch eine Scheidewand von Filtrirpapier auf das Eiweiß wirken läßt.

Ganz ebenso einfach erhält man Sphärokrystalle von kohlensaurem Kalk.

Man mischt in einem Becherglas ein Hühnereiweiß gut mit einem gleichen Volumen der Chloreciumlösung (1:2) und fügt langsam eine Lösung von Calciumcarbonat (1:2) zu. Schon nach einer halben Stunde findet man unzählige Sphärokrystalle von Calciumcarbonat. Ein Zeitraum von 10 Tagen, welchen HARTING zur Bildung derselben angiebt, ist gar nicht nöthig. Auch beim Calciumcarbonat kann man statt der Lösung das zur Bildung des Niederschlages verwendete kohlensaure Salz pulverförmig anwenden.

Wie die beigegebenen Abbildungen der künstlichen Sphärokrystalle zeigen, haben sie ganz das Aussehen der in den Pflanzenzellen abscheidbaren. Ihre Eigenschaften sind dieselben und ihre Struktur ganz die schon oben geschilderte. Der Kern der künstlichen Sphärokrystalle ist nicht sichtbar krystallinisch, während die Schale die strahlige Struktur zeigt. Dieselbe ist jedoch oft sehr fein und dann nur mit starken Vergrößerungen sichtbar. Sehr häufig ist der amorphe Kern sehr klein, sodaß also fast der ganze Sphärokrystall krystallinisch ist. Es kommen auch hier Verschmelzungen vor wie bei den schon bekannten Sphärokrystallen, namentlich Verschmelzungen größerer Tropfen, die dann mit den zusammengesetzten Stärkekörnern einige Ähnlichkeit haben. Fig. 3a.

Die Entstehung der künstlichen Sphärokrystalle ist keine andere als die in Pflanzenzellen vor sich gehende. Sie entstehen als Tropfen, die Erstarrung geht nur schneller vor sich als in den Zellen. Löst man die in dem Eiweiß ausgeschiedenen Sphärokrystalle in einer Säure, so bleibt ersteres in geronnenem Zustande zurück und man erblickt sehr deutlich die Hohlräume, welche die Sphärokrystalle ausfüllten, man hat ein Bild wie ein Zellgewebe.

Es sind nun noch die Angaben HARTING's über die chemischen Vorgänge bei der Bildung dieser künstlichen Kalksphärokrystalle zu berichtigen. Der genannte Autor hielt dieselben nämlich für eine Verbindung der Kalksalze mit dem Eiweiß und nannte dieselbe »Calcoglobulin«. Dies Calcoglobulin sollte noch viel überschüssiges Kalksalz enthalten und beim Lösen der Sphärokrystalle sollte dann das eigentliche Calcoglobulin als eine feste Kugel zurückbleiben, welche sich mit Jod und Carmin färbe. HARTING hat sich jedoch täuschen lassen; er hielt den beim Lösen des Sphärokrystals zurückbleibenden Hohlraum für eine feste Kugel. Seine Angabe, daß dieselbe sich intensiv färbe, ist unrichtig. Bei einer Tinktion bleibt, wie erklärlich, die Vakuole heller als das umgebende Eiweiß.

Daß das Eiweiß nur als ein, die Krystallisation hinderndes Medium die Sphärokrystallbildung begünstigt, geht daraus hervor, daß in andern schleimigen Medien, z. B. in einer Gelatinelösung, dieselben Gebilde erzeugt wer-

den können. Allerdings geht ein Theil der Kalksalze eine Verbindung mit dem Eiweiß ein, allein diese stellt eine weiße membranöse Masse dar, die Sphärokrystalle aber sind gerade die als überschüssig abgetrennte Kalksalzmenge, bestehen also aus kohlenurem resp. phosphorsurem Kalk. Ein weiterer Beweis, daß das Eiweiß nur als schleimiges Medium wirkt, ist, daß die Bildung von Sphärokrystallen nicht eintritt, wenn man das Eiweiß sehr stark verdünnt. In diesem Fall krystallisiren die Salze in ihrer gewöhnlichen Form aus.

Es ist zu vermuthen, daß zahlreiche ähnliche Gebilde wie die beschriebenen Sphärokrystalle ebenfalls als solche Auscheidungen aus einer viscosen Flüssigkeit entstehen und also Sphärokrystalle sind. Dagegen wird wohl andererseits manches als Sphärokrystall bezeichnet, was unter diese Bezeichnung nicht gehört. Denn nicht jede rundliche Druse darf als Sphärokrystall bezeichnet werden. Es giebt Drusen, die den Sphärokrystallen äußerlich ganz ähnlich sind, aber dennoch eine andere Struktur besitzen, denen namentlich der Wechsel der amorphen und krystallinischen Schichten fehlt.

Zur Klärung des Begriffes möchte ich noch ein paar Worte über diesen Ausdruck hinzufügen. In allen krystallographischen Lehrbüchern wird als wesentliches Merkmal für den Begriff Krystall die polyedrische Form verlangt. Ein kugelförmiger Krystall würde demnach von einem Krystallographen wohl als eine widersprechende Bezeichnung abgewiesen werden. Es wird aber jedem einleuchten, daß auch mit diesem Ausdruck weiter nichts gesagt sein soll, als daß das durch ihn bezeichnete Gebilde neben seiner Kugelform wesentliche Eigenschaften der Krystalle, namentlich optische, wie diese besitzt. Hätte man bei Entdeckung jener Gebilde ganz korrekt sein wollen, so hätte man sie den krystallinischen Aggregaten beifügen müssen, da sie als aus einzelnen nadelförmigen Krystallindividuen bestehend angesehen wurden — sie waren Drusen. Aber nach den gewonnenen Erfahrungen könnte man auch diese Bezeichnung nicht ganz richtig finden. Die Mineralogen nennen »Druse« nur die Aggregation von Krystallen, halten aber die Unterlage, welche dem Aggregat als Lager dient, nicht zur Druse gehörig.

Bei den Sphärokrystallen gehört aber doch der amorphe Kern, welcher den Nadelchen der Schale (der Druse) als Unterlage dient, unbedingt zum ganzen Gebilde. Wir haben also durch das Vorhandensein des amorphen Kernes, der mit der krystallinischen Hülle Eins ausmacht, eine Art Mittelting zwischen amorphen Gebilden und Krystallaggregat.

Am besten würde man daher wohl die Sphärokrystalle als »Krystalliten« bezeichnen, ein Ausdruck, welcher von VOGELSANG für ähnliche Bildungen eingeführt worden ist. »Krystalliten«, sagt VOGELSANG, kann man alle diejenigen leblosen Gebilde nennen, denen eine regelmäßige Gliederung oder Gruppierung eigentümlich ist, ohne daß sie im Ganzen oder in ihren einzelnen Theilen die allgemeinen Eigenschaften krystallinischer Körper, ins-

besondere eine regelmäßige polyedrische Umgrenzung zeigen«. Die von VOGELSANG beobachteten Krystalliten des Schwefels, kohlen-sauren Kalks, der Silikate etc. sind gewöhnlich kugelige, sich in Tropfenform abscheidende Körper, welche später mehr oder weniger Krystallisationsvorgänge zeigen, ohne doch wirkliche Polyeder zu werden. Wir finden bei VOGELSANG einige Abbildungen, welche unseren Sphärokrystallen sehr ähnlich sind. VOGELSANG nimmt als Ursache der Gestaltenbildung seiner meist bei Hochofenprozessen entstehenden Krystalliten ebenfalls die »chemisch-physikalische Beschaffenheit der Umgebung« in Anspruch. Es wäre deshalb, wenn man eine Übereinstimmung der Benennungen ähnlicher Bildungen in den verschiedenen Wissenschaften vorzieht, korrekter, für unsere besprochenen Objekte die Bezeichnung »Sphärokrystalliten« zu wählen, doch kommt es mir, da der alte für uns verständlich ist, weniger darauf an, einen neuen Namen einzuführen, als darauf hinzudeuten, daß diese in Pflanzen gefundenen Absonderungsformen auch in der unorganischen Welt ihre Analogien haben.

Gleichsam als Anhang zu dem vorstehend Mitgetheilten muß ich noch einige chemische Details erörtern, die sich oben nicht gut einschließen ließen.

Bei den mikroskopischen Beobachtungen, war es mir aufgefallen, daß eine ähnliche Tropfenbildung, wie sie der Alkohol im Zellinhalt hervorruft, in vielen Zellen momentan durch Glycerin hervorgerufen wird. Diese Thatsache erinnerte mich an eine Mittheilung von G. KRAUS, welcher gefunden hatte, daß, wenn man zuckerhaltige Gewebe in Glycerin legt, sich in den Zellen stark lichtbrechende Kugeln ausscheiden. Auch durch Alkohol sollte diese Abscheidung von »Syrup-tropfen« erfolgen und beide Flüssigkeiten wurden als Reagens auf Zucker empfohlen.¹⁾ KRAUS bezeichnete diese Tropfenbildung als »morphologische Reaktion« des Zuckers. Dieselbe ist im höchsten Grade unbefriedigend, da unzählige Körper sich durch Zufügen eines andern Mediums zu ihrer Lösung als Tropfen ausscheiden. Ein morphologisches Merkmal dürfte auch in der Mikrochemie als bestätigendes angenommen werden, wie ja die Krystallform überhaupt in der Chemie als von größter Wichtigkeit für die Erkennung der Substanzen berücksichtigt wird, aber die Tropfenform dürfte doch eine etwas gar zu unbestimmte und allgemeine sein, um sie in dieser Weise zu verwerthen.

Da überhaupt die Zuckernatur der von KRAUS bemerkten Tropfen ganz unsicher war, unterwarf ich jene Beobachtungen einer Nachprüfung.

Zuckerrohr.

Wenn man frische Schmitte in absoluten Alkohol legt, so findet man bald in allen Zellen, die unverletzt geblieben sind, zahlreiche kleine nadel-

¹⁾ G. KRAUS, Über das Verhalten des Zuckersaftes gegen Alkohol und Glycerin und über die Verbreitung des Zuckers. Bot. Zeitung 1876, p. 604.

förmige Krystalle. Man muß Längsschnitte machen, da die Zellen longitudinal gestreckt sind und durch einen Querschnitt deshalb aufgeschnitten werden. Die Zellen haben kleine spaltenförmige Tüpfel in Menge, auf welche als mögliche Verwechslung mit Krystallnadeln aufmerksam gemacht sei.

Die durch Alkohol ausgeschiedenen Kryställchen sind in Wasser schwer löslich und können also kein Zucker sein; selbst nach längerer Zeit findet man einen Theil ungelöst. Legt man einen Schnitt in concentrirtes Glycerin, so beginnt bald eine Zersetzung des Zellinhaltes. Nach viertelstündiger Einwirkung finden sich große Tropfen von anfangs unregelmäßiger Form, die sich später abrunden, theils zu einem, theils zu mehreren die Zelle erfüllend. Die Tropfen sind stark lichtbrechend. Man kann nach der Behandlung mit concentrirtem Glycerin die Schnitte mit der Pincette aufnehmen, schnell in destillirtem Wasser abspülen und auf einen Objektträger legen, die Kugeln bleiben erhalten. Läßt man nun viel Wasser zutreten, so lösen sie sich allmählich auf, d. h. sie schmelzen nicht etwa wie feste Körper ab, sondern werden allmählich heller. Bei diesem Vorgang sieht man denn, daß die Kugeln durch ein Häutchen umschlossen sind. Dasselbe wird bestätigt, wenn man Schnitte in dem concentrirten Glycerin ca. 4 Stunden liegen läßt und dann mit Jod-Jodkalium färbt.

Der flüssige Inhalt der abgegrenzten Tropfen ist aber keine Zuckerlösung. Zunächst bemerkte ich mehrfach, daß, wenn die Schnitte längere Zeit in concentrirtem Glycerin liegen blieben, in den Tropfen aus der Lösung Krystalle anschossen. Dies würde aus einer Zuckerlösung nicht geschehen. Zucker löst sich auch in concentrirtem Glycerin in erheblicher Menge, wird also kaum auskrystallisiren. Ich prüfte auch das Verhalten von Zuckerlösung gegen Alkohol. Ein Tropfen concentrirter Zuckerlösung (1 + 1) wurde mit absolutem Alkohol versetzt in der Weise, daß der Rand des Deckglases eingestellt wurde, um die Mischung des seitlich eintretenden Alkohols mit der Zuckerlösung zu beobachten. Es entsteht bei dem Zusammentreten beider Flüssigkeiten ein schaumiges Gemenge; es sind unzählige Tröpfchen, welche das Gemisch einen Moment trüben. Die Erscheinung hat aber keine Ähnlichkeit mit der in den Zellen des Zuckerrohrs durch Alkohol hervorgeföhrenen. Mischt man statt mit Alkohol die Zuckerlösung (1 + 1) mit Glycerin, so findet beim langsamen Zufließen des letzteren keine sichtbare Veränderung statt, das Glycerin mischt sich ruhig mit dem Syrup. Wird concentrirte Zuckerlösung mit dem 4 fachen Volumen absoluten Alkohols versetzt, so findet keine Fällung statt. Nach Wochen erst krystallisirt der Zucker an den Wänden des Gefäßes in großen Krystallen aus.

Um zu entscheiden, welcher Art die durch Alkohol oder Glycerin bewirkten Ausscheidungen seien, wandte ich die vielfach benutzte Methode an, ganze Stücke Zuckerrohr der Wirkung des Alkohols auszusetzen. Nach einigen Tagen hatten sich schon, wie ich erwartete, in vielen Zellen theils große Drusen, theils Sphärokrystalle eines farblosen Körpers abgesetzt. Im

Ganzen waren die Krystallite den oben beschriebenen gleichgestaltet, oft waren die Formen etwas komplizirter. Es fanden sich Gebilde, die halb Druse, halb Sphärokrystall waren.

Die Substanz löste sich nach einiger Zeit in Wasser, doch nicht leicht, war schwer löslich in Essigsäure, leicht dagegen in Mineralsäuren. Konzentrirte Schwefelsäure löste nur theilweise; bei dieser Lösung ließ sich die oben beschriebene Struktur der Sphärokrystalle besonders schön sehen, die ganze strahlig gebaute Schale blieb zurtek. Gyps krystallisirte bei der Behandlung mit Schwefelsäure nicht aus, sodaß also die Abwesenheit eines Kalksalzes sicher war. Der Verdacht, daß dennoch ein Phosphat vorläge, wurde durch den reichlichen Niederschlag mit Ammonmolybdat in allen Zellen bestätigt. Die Phosphorsäurereaktion läßt sich beim Zuckerrohr wegen der Durchsichtigkeit der Zellen besonders gut demonstrieren. An Stücken Zuckerrohr, welche schon lange Zeit in Alkohol gelegen hatten, fand ich an den Schnittflächen ganze Krusten des Salzes, theils in großen Krystallen, theils als Sphärokrystalle. Diese Krusten lassen sich so sauber abheben, daß man fast nur reines Salz ohne Zellgewebe etc. hat. Eine Probe gab schon in der Kälte sofort einen reichlichen Niederschlag mit Ammonmolybdat.

Die Prüfung auf die Base gab folgendes Resultat:

Das Salz löste sich in heißem Wasser. Kohlensaures Ammon gab keinen Niederschlag: Abwesenheit von Calcium. Die Lösung mit Salmiak, Ammon und Natriumphosphat versetzt gab einen krystallinischen Niederschlag: Magnesium.

Das durch Alkohol auskrystallisirte Salz im Zuckerrohr ist Magnesiumphosphat. Zur Berichtigung von Kraus' Angaben schien es mir nothwendig, das Magnesiumsalz in den durch Glycerin entstehenden Tropfen selbst nachzuweisen, was folgendermaßen geschah. Schnitte wurden ca. $\frac{1}{4}$ Stunde in konzentrirtes Glycerin gelegt, nachdem die Tropfen entstanden, mit destillirtem Wasser abgespült und auf dem Objektträger Ammon und Natriumphosphatlösung zugefügt. In den Tropfen entsteht ein Niederschlag, der oft feinkörnig ist, meist aber aus deutlichen Krystallen besteht. Überläßt man das Ganze längere Zeit der Ruhe, so treten später große Krystalle von phosphorsaurer Ammonmagnesia auf.

In den lebenden Zellen des Zuckerrohrs finden sich sehr kleine Krystalle, welche man leicht übersieht, und am besten mit dem Polarisationsapparat findet. Es sind rhombische Täfelchen. Kraus hielt diese Kryställchen für Kalkoxalat und glaubte daraus schließen zu können, daß das Kalkoxalat in den Zuckerrohrzellen in keiner Beziehung zu den Eiweißkörpern, vielmehr zu den Kohlehydraten stände. Da nun diese Kryställchen kein Kalkoxalat sind, so ist auch die daran geknüpftete Spekulation hinfällig.

Die Kryställchen sind zwar in Essigsäure unlöslich, lösen sich auch in einigen starken Mineralsäuren, was für Kalkoxalat spräche. Allein in

Schwefelsäure lösen sie sich schwierig, es findet aber dabei keine Gypsbildung statt. Diese Prüfungen können nur dazu veranlassen, in den kleinen Krystallen Calciumsulfat anzunehmen. Die Lösungsversuche sind immerhin unsicher. Die Analyse gab ein klares Resultat.

Zuckerrohrinternodien wurden zerschnitten, mit verdünnter Salzsäure extrahirt, neutralisirt, filtrirt, mit Thierkohle entfärbt und die eingedampfte Lösung auf Kalk geprüft. Ein Niederschlag mit Ammonoxalat zeigte Kalk an.

Baryumchlorid gab einen bedeutenden Niederschlag, welcher Schwefelsäure, Phosphorsäure (aus dem Mg-Phosphat) und Oxalsäure enthalten konnte. Die Trennung der Säuren wurde nach der allbekannten Methode vorgenommen. Es wurde gefunden 1) Phosphorsäure, 2) Schwefelsäure. Die Phosphorsäure gehört dem schon nachgewiesenen Magnesiumphosphat an, die Schwefelsäure stammt aus den kleinen Krystallen, welche aus Calciumsulfat (vielleicht ebenfalls mit einer geringen Beimengung von Mg wie bei *Angiopteris*) bestehen.

Oxalsäure wurde nicht gefunden, in der essigsauren Lösung erzeugte Chlorealcium keinen Niederschlag.

Beim Zuckerrohr ist also statt Calciumphosphat ein Magnesiumphosphat in den Zellen vorhanden. Noch bei zahlreichen anderen Pflanzen habe ich durch Alkohol in Form von Sphärokrystallen ausscheidbare Salze gefunden. In reichlicher Menge fand ich Sphärokrystalle von Calciumsulfat in *Hebelclinium macrophyllum*. Bei dieser letzteren Pflanze war der Ort des Vorkommens besonders auffallend, die größte Masse des Calciumsulfates war in den jungen Holzzellen ausgeschieden, sodaß das gesammte Holzgewebe ganz mit Sphärokrystallen erfüllt war.

Indem ich die Mittheilung des tatsächlichen Details damit abbreche, fragt es sich, ob dasselbe für die Lösung wissenschaftlicher Fragen verwerthbar ist.

Man hat versucht, die Sphärokrystalle zur Begründung der Wachstumstheorie der Stärkekörner heranzuziehen, und es muß auf Grund der neuen Beobachtungen diese Frage auch hier berührt werden. Ich will zunächst den Versuch machen, die Eigenschaften der Sphärokrystalliten mit denen der Stärkekörner zu vergleichen, denn es würde wohl ein bedenklicher Irrthum in der Annahme liegen, daß, selbst wenn das Wachstum der Sphärokrystalle bis auf die Atomlagerung bekannt wäre, auch das der Stärkekörner damit ohne weiteres erklärt sei.

Daß die Beobachtung der Sphärokrystalle keine Thatsachen ergibt, welche mit Nägeli's Wachstumstheorie in Widerspruch stehen, muß aus dem Mitgetheilten einleuchten. Die Sphärokrystalle sind überhaupt ganz ungeeignet, um aus ihrem Verhalten Schlüsse auf Wachstumsvorgänge zu ziehen, da ein Wachstum bei ihnen gar nicht vorkommt. Die endliche

Größe des Sphärokrystalls ist bedingt durch die Größe des Tropfens, aus dem er durch Erstarren, gleichsam durch Gerinnen hervorgeht: kleine Tropfen geben kleine, große Tropfen große Sphärokrystalle. Stärkekörner aber wachsen nach der allgemein gültigen Annahme aus einem primären Körnchen zum größeren Korn heran. Aus diesen Thatsachen ergibt sich die Aussichtslosigkeit, die Sphärokrystalle für das räthselhafte Wachsthum der Stärkekörner als Schlüssel zu benutzen.

Ich will noch eine Überlegung mittheilen, welche sich bei Betrachtung der Sphärokrystalle aufdrängt. Der feste Sphärokrystall wächst nicht. Es wäre aber denkbar, daß ein solches Wachsthum unter besonderen Umständen stattfände. Es könnte aber in diesem Fall ein Wachsthum nur durch Apposition geschehen, da der feste Sphärokrystall nicht mehr wie der Tropfen, aus dem er entsteht, neue Substanzmoleküle zwischen die vorhandenen einlagern kann. Ein solches weiteres Appositionswachsthum des festgewordenen Sphärokrystalls findet aber augenscheinlich in der Regel nicht statt, obgleich oft noch die umgebende Lösung reichlich von seiner Substanz enthält. Es ist wohl möglich, daß das Grenzhäutchen eine Auflagerung hindert, die Anziehung der festen Kugel wirkt also nicht mehr auf die festen Moleküle in der umgebenden Lösung. Daß der ursprüngliche, ebenfalls durch das Häutchen abgeschlossene Tropfen dagegen sich vergrößert, ist leicht erklärlich, da hier beträchtliche osmotische Kräfte in Wirkung treten. Ich führe dies nur an, um darauf hinzuweisen, wie für einen Körper in verschiedenen Stadien eine ganz verschiedene Art des Wachsthums denkbar ist und vielleicht thatsächlich vor sich gehen könnte. Dieser Hinweis geschieht namentlich in Bezug auf die Stärkekörner, wo einerseits von NÄGELI Intussusceptionswachsthum theoretisch verlangt, andererseits von SCHUMPER Apposition neuer Schichten unter besonderen Umständen thatsächlich beobachtet wurde. Ich betone nochmals, daß dies Alles nur Betrachtungen sind und ich aus ihnen und den Beobachtungen über die Sphärokrystalle nicht den kleinsten Schluß auf das Wachsthum der Stärkekörner ziehe.

Versuchen wir, da für das Wachsthum sich keine Vergleichspunkte zwischen Stärkekörnern und Sphärokrystallen ergeben, ob bei den fertigen Gebilden einige Ähnlichkeiten zu Tage treten.

Die Schichtenbildung ist dasjenige Moment, welches besonders zu einer Gegenüberstellung von Stärkekörnern und Sphärokrystallen aufgefordert hat. Man glaubte die Entstehung der Schichtung bei den Sphärokrystallen zu kennen und übertrug die scheinbare Thatsache des Appositionswachsthums des Sphärokrystalls auf die Stärkekörner. Daß die Schichtung der Sphärokrystalle nicht durch Auflagerung entsteht, habe ich nachgewiesen. Sie entsteht durch wiederholte Krystallisation beim Erstarren der Krystalliten. Die Ursache dieser Entstehung von krystallinischen und amorphen Schichten aufzufinden, dürfte Schwierigkeit haben. Wie wir gesehen haben, krystallisiren die Sphärokrystalle gleichsam von außen nach innen. Die

Schale ist immer krystallinisch, und wenn eine weitere Krystallisation beginnt, so geschieht dies innerhalb der ersten Schale, aber nicht vom Centrum aus, sondern centripetal. Der Kern bleibt immer amorph. Eine ausreichende Erklärung der Entstehung dieser krystallisirten Kugelschalen unter einander kann ich nicht geben. Es ist eine bekannte Erscheinung, daß Krystallisationen gewöhnlich an der Grenze der krystallinischen Flüssigkeit und eines anderen Körpers beginnen. Eine krystallisirende Flüssigkeit setzt am Rande der Schale, die sie enthält, zuerst Krystalle an. Eiskrusten treten zuerst am Rande eines Wassers auf. So ist es verständlich, daß die erste krystallinische Schale bei den Sphärokrystallen am Grenzhäutehen auftritt. Ob das Auftreten der zweiten und weiterer krystallinischer Schichten denselben Grund hat, kann ich nicht für wahrscheinlich halten, da die zweite krystallinische Schicht von der ersten häufig durch eine amorphe getrennt ist. Daß überhaupt Schichten verschiedener Molekularanordnung entstehen, ist ebenfalls nicht leicht zu begründen.

Einerseits ist es denkbar, daß die Sphärokrystalle, die nicht aus einer rein wässerigen Lösung krystallisiren, geringe Mengen von Verunreinigungen aus dem Medium mit einschließen. Die krystallinischen Schichten wären dann die rein auskrystallisirte Substanz, die amorphen durch jene Beimengungen an der Krystallisation gehindert. Daß äußerst kleine Quantitäten fremder Substanzen die Krystallisation einer andern Substanz hindern, hat der Chemiker oft in unliebsamer Weise zu beobachten Gelegenheit. Die Bildung verschieden konstituierter Schichten der Sphärokrystalle könnte aber auch einen andern Grund haben. Bei der Krystallisation spielt das Wasser eine hervorragende Rolle. Es wird Wasser bei der Krystallisation aufgenommen. Da nun bei den Sphärokrystallen die Krystallisation in dem abgeschlossenen Raum des umhüllten Tropfens stattfindet, so kann, wenn nur einzelne Schichten krystallisiren, das Wasser einen andern Theil entzogen werden. Es ist somit wohl denkbar, daß ein Theil der Schichten, und zwar die krystallisirten, mehr Wassermoleküle zwischengelagert enthält, als der andere. Da die Entscheidung über die Ursache der Schichtenbildung bei den Sphärokrystallen auf solche Schwierigkeiten stößt, so ist also auch in dieser Beziehung nicht zu erwarten, daß von hier ein Licht auf die Stärkeköerner falle. Jedenfalls ist aber soviel klar, daß man durchaus nicht berechtigt ist, eine Schichtenbildung ohne weiteres als Ausdruck des Wachstums eines Körpers anzusehen.

Noch eine dritte Beziehung finden wir zwischen Sphärokrystallen und Stärkekörnern: die optischen Erscheinungen. Die Ähnlichkeit der Polarisationsercheinungen bei Sphärokrystallen und Stärkekörnern ist geeignet, auch als Ursache in beiden Fällen eine ähnliche Struktur annehmen zu lassen. Ich zweifle nicht, daß man bei den Sphärokrystallen als solche die regelmäßige radiale Anordnung der krystallinischen Massentheilehen ansehen muß, welche den Sphärokrystall aufbauen. Daß bei den Sphärokrystallen

nicht die stoffliche Beschaffenheit Ursache der Doppelbrechung ist, scheint dadurch bestätigt zu werden, daß dieselbe erst mit der krystallinischen Differenzierung auftritt, vorher nicht. Die Schichtung an sich kann nicht Ursache der Doppelbrechung sein, da auch Sphärokrystalle dieselbe zeigen, bei denen gar keine Schichtung außer der umhüllenden krystallinischen Schale vorkommt. Auf Spannungen die Doppelbrechung zurückzuführen, liegt kein Grund vor, da das Vorhandensein derselben zwar möglich ist, doch nicht unbedingt gefordert wird.

Die mikroskopische Untersuchung ergibt dagegen das thatsächliche Vorhandensein einer regelmäßigen Anordnung der Elemente, sodaß also der Annahme dieser letzteren als Ursache der Polarisationserscheinungen nichts im Wege steht.

Ogleich man bei den Stärkekörnern eine ähnliche Struktur nicht mikroskopisch nachweisen kann, so wäre dieselbe der optischen Eigenschaften wegen denkbar und SCHUMPER ist geneigt, einen Aufbau der Stärkekörner aus radialen Fasern anzunehmen. Diese Ansicht hat ihre Berechtigung in sich. Ich glaube aber nicht, daß die Beobachtungen an den Sphärokrystallen ohne weiteres als Stütze herbeigezogen werden dürfen, denn Sphärokrystalle und Stärkekörner sind bis jetzt noch verschiedene Dinge. Eine Möglichkeit, daß die Untersuchungen der Sphärokrystalle in einer oder der anderen Weise, wenn man erst in der Beobachtung der Stärkekörner selbst weiter fortgeschritten ist, nutzbar werden, ist nicht ausgeschlossen, namentlich deshalb, weil nicht nur anorganische Substanzen, sondern auch organische wie das Inulin und Glycoside diese Form annehmen.

Die Resultate der Beobachtungen über die Sphärokrystalle sind nochmals kurz zusammengefaßt folgende:

- 1) Die Sphärokrystalle wachsen nicht. (Der Tropfen ist noch kein Sphärokrystall.)
- 2) Demgemäß ist die Schichtenbildung kein Ausdruck einer Wachsthumsercheinung.
- 3) Die Schichtenbildung ist eine spätere wiederholte Krystallisation beim Erstarren der Sphärokrystalle.
- 4) Die Ursache der Schichtenbildung ist thatsächlich nicht festgestellt.
- 5) Die eigenthümliche Struktur der Sphärokrystalle ist außer jener Schichtung besonders bedingt durch die radiale Anordnung der Massentheilechen, welche die krystallinischen Schichten bilden.
- 6) Diese Anordnung ist die Ursache der Doppelbrechung.
- 7) Es giebt Übergänge von Sphärokrystallen zu wahren Drusen.
- 8) Für die Entstehung der Sphärokrystalle ist eine nachweisbare Bedingung ein schleimiges Medium, welches die Krystallisation hindert.
- 9) Die stoffliche Beschaffenheit der Sphärokrystalle ist eine ganz verschiedenartige.

Es ist im Vorstehenden noch eine Frage unberücksichtigt geblieben, nämlich die: Welche Bedeutung haben diese Ausscheidungen von Phosphaten? Daß es nicht bloß zufällige Inhaltsstoffe der Zelle sind, welche durch Alkohol ausgeschieden würden, liegt wohl auf der Hand. Vielmehr drängt alles zu der Annahme, daß die Phosphate irgend eine Aufgabe bei den Lebensvorgängen in der Zelle erfüllen. Es spricht schon hierfür die Häufigkeit der Erscheinung, andererseits unsere Überzeugung, daß Calcium, Magnesium und Phosphorsäure eine wichtige Rolle beim Stoffwechsel spielen, wenn wir auch noch über diese Rolle ganz im Unklaren sind. Es ließen sich ja mit Leichtigkeit allerlei Hypothesen über die Bedeutung der Calcium- und Magnesiumphosphate aufstellen, allein ich verzichte hierauf und begnüge mich damit, die Allgemeinheit der Phosphate in lebenden Pflanzenzellen nachgewiesen zu haben. Die Aschenanalyse, durch welche schon lange das Vorhandensein von Phosphorsäure in den Pflanzen nachgewiesen ist, giebt keinen Aufschluß darüber, in welcher Form sich dieselbe in der Zelle findet. Es erscheint mir wahrscheinlich, daß die Phosphorsäure überhaupt in den Pflanzen nur in der Form von phosphorsauren Salzen, namentlich des Ca und Mg vorhanden ist. Jedenfalls hoffe ich durch den Nachweis der Phosphate in der Zelle selbst einen kleinen Beitrag zur Kenntniß über die Mineralbestandtheile in der Pflanze geliefert zu haben.

hat
suc
Jah
suc

mit
wel
phy
Ext
Die
zu
höe
sich
ben
nen
men
Chl
nich
bel
reic
Sch
gew
sell
suc
abg
hab

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg](#)

Jahr/Year: 1888

Band/Volume: [3](#)

Autor(en)/Author(s): Hansen Adolf [Adolph]

Artikel/Article: [Über Sphärokrystalle 92-122](#)