© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Band LXXX. No. 2/3. XX. Jahrgang.

Botanisches Centralblatt.

REFERIRENDES ORGAN

für das Gesammtgebiet der Botanik des In- und Auslandes

Herausgegeben unter Mitwirkung zahlreicher Gelehrten

von

Dr. Oscar Uhlworm und Dr. F. G. Kohl

in Cassel in Marburg

Nr. 41/42. Abonnement für das halbe Jahr (2 Bände) mit 14 M. durch alle Buchhandlungen und Postanstalten. 1899.

Die Herren Mitarbeiter werden dringend ersucht, die Manuscripte immer nur auf *einer* Seite zu beschreiben und für *jedes* Referat besondere Blätter benutzen zu wollen. Die Redaction.

Wissenschaftliche Originalmittheilungen.*)

Ueber eine besondere Kategorie von Krystallbehältern.

Von

W. Rothert und W. Zalenski.

(Mitgetheilt von W. Rothert.)

Mit 1 Doppeltafel.**)

(Fortsetzung.)

Es entsteht die Frage, ob die Suberinlamelle durch directe Umwandlung des protoplasmatischen Wandbelegs resp. durch Ausscheidung seitens derselben gebildet, also der Cellulosemembran von innen apponirt wird, oder ob sie durch Umwandlung der inneren Schicht der Membran entsteht. Ich halte es für zweifellos, dass im gegebenen Fall das letztere zutrifft, und zwar aus zwei Gründen:

1. Wegen des bedeutenden Cellulosegehalts der Suberinlamelle.

2. Weil nach erfolgter Verkorkung die Membran nicht dicker ist als bei ausgewachsenen, aber noch unverkorkten Krystallzellen,

*) Für den Inhalt der Originalartikel sind die Herren Verfasser allein verantwortlich. Red.

**) Die Tafeln liegen einer der nächsten Nummern bei.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

hingegen die Aussenlamelle deutlich dünner ist, als die ganze Membran vor der Verkorkung zu sein pflegt.

Die noch unverkorkte Membran giebt normale Cellulosereaction auch in den Fällen, wo die Aussenlamelle der fertigen Zellen solche nicht oder nur schwach erkennen lässt; manchmal scheint allerdings der Cellulosegehalt in der Membran der Krystallzellen schon jetzt merklich geringer zu sein als in den Membranen des Parenchyms. Auch an kürzlich verkorkten Zellen ist die Aussenlamelle dicker, deutlicher erkennbar und durch die Cellulosereagentien stärker färbbar, als bei alten Krystallzellen; die Aussenlamelle muss demnach noch nach dem Absterben der Zelle einer allmählichen Veränderung unterliegen, die nicht nur in einer Schrumpfung infolge Wasserverlust zu bestehen scheint.

Der Zeitpunkt der Verkorkung ist bei verschiedenen Objecten sehr ungleich. Sehr früh erfolgt dieselbe bei den grossen Krystallzellen des inneren Mesophylls von *Agave americana*; in einem erst $4^1/_2$ cm langen Blatt fand Zalenski 3—4 mm über der Basis derselben, wo die Spaltöffnungen noch nicht ausgebildet waren, diese Zellen bereits verkorkt. Im Stamm von *Cordyline indivisa* begann die Verkorkung der Krystallzellen schon 15 mm unterhalb des Vegetationspunktes. Ebenfalls recht frühzeitig, wenn auch später als bei diesen Objecten, erfolgt die Verkorkung der grösseren Krystallzellen im Blatt von *Yucca gloriosa*. In anderen Fällen lässt die Verkorkung weit länger auf sich warten. So beginnen nach Zalenski in einem 15 cm langen Blatt von *Cordyline indivisa* erst 9—10 cm über dessen Basis verkorkte Krystallzellen aufzutreten. Bei *Iris germanica* fand ich in einem $15^1/_2$ cm langen, in seinem oberen Theil äusserlich schon völlig ausgewachsenen Blatt (das Sclerenchym war allerdings noch unverdickt) nirgends verkorkte Krystallzellen; in dem nächstälteren, 40 cm langen Blatt (das ist ungefähr die endgiltige Länge) waren 9 cm über der Basis (wo alle Gewebe bereits voll ausgebildet) noch alle, 8 cm höher noch die meisten Krystallzellen unverkorkt, und erst 27 cm über der Basis fand ich keine unverkorkten Krystallzellen mehr. Hier ist also die Verkorkung und das Absterben der Krystallzellen die letzte anatomische Veränderung, welche in den bereits völlig erwachsenen Blatttheilen vor sich geht.

Eine so auffallend späte Fertigstellung der Krystallzellen dürfte bei Blättern eine häufige Erscheinung sein. So untersuchte ich im Anfang Mai, kurz vor dem Schreiben dieser Zeilen, die ältesten Blätter einiger im Freien gewachsener Pflanzen und fand in den äusserlich erwachsenen und erhärteten Blättern von *Gladiolus* und *Belamcanda* nur einen Theil der Krystallzellen bereits verkorkt, während bei *Convallaria*, deren Blätter zwar schon völlig entfaltet, aber noch weich waren, sämmtliche Krystallzellen noch unverkorkt und lebend gefunden wurden; ich halte es aber für wahrscheinlich, dass sie nach einiger Zeit auch hier das gewöhnliche Verhalten zeigen werden.*)

---

*) (Nachträgliche Anmerkung.) Diese Vermuthung bestätigt sich vollkommen, aber erst nach fast 3 Wochen, nachdem die Blüten bereits ver-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

In welch enger Beziehung bei unseren Zellen die Verkorkung zur Krystallbildung steht, zeigt die folgende Thatsache. Bei manchen Objecten, besonders bei *Phormium* und *Aspidistra*, finden sich nicht selten Längsreihen von Krystallzellen durch einzelne Zellen unterbrochen, welche zwar die gleiche Länge und Breite haben, aber keine Krystalle enthalten; solche krystallfreie Zellen bleiben stets unverkorkt und lebend.

Aus der Litteratur ist über die Beschaffenheit der Membran der Krystallbehälter überhaupt nur sehr weniges zu entnehmen. In den Lehrbüchern wird dieselbe meist mit Stillschweigen übergangen; nur Haberlandt (448) und Strasburger (XX, 61) bemerken kurz, dass die Membran der Krystallbehälter „zuweilen", nach letzterem Autor selbst „nicht selten" verkorkt ist. Die letztere Angabe ist indess unmotivirt, denn es sind meines Wissens bisher nur 7 Fälle von Membranverkorkung bei Krystallbehältern bekannt geworden, die sich sämmtlich auf Raphidenzellen beziehen. Zacharias (639—643) fand verkorkte Raphidenzellen in den Blättern von *Aloë soccotrina, arborescens* und *margaritifera, Hohenbergia strobilacea* (*Bromeliaceae*), *Mesembryanthemum praepingue* und *grandiflorum*, und Cedervall fügte zu dieser Liste noch *Bromelia Pinguin* hinzu. Ausserdem hatte schon Meyen (230) bei *Agave mexicana* beobachtet, dass die Membran der Krystallzellen „selbst nach der Einwirkung der stärksten Säure zurückbleibt".

Erst durch die vorliegende Arbeit wird ein häufigeres Vorkommen verkorkter Krystallbehälter festgestellt. Und ich kann gleichzeitig mittheilen, dass auch bei anderen Arten von Krystallbehältern, als den hier behandelten, die Membranverkorkung nicht so selten ist, wie man bisher glauben konnte. Zalenski und ich haben verkorkte Rhaphidenzellen beobachtet bei vier *Gasteria*-Arten (*Aloineae*), bei *Cordyline indivisa* im Stamm (im Blatt und in der Wurzel sind die Rhaphidenzellen unverkorkt), *Liriope spicata* (*Ophiopogoneae*), *Musa chinensis, Billbergia cruenta, Dendrobium speciosum, Vanda suavis, Oncidium Cavendishianum* und noch mehreren anderen (aber bei Weitem nicht allen) epiphytischen *Orchidaceen* in Blättern resp. Luftwurzeln, endlich bei drei Pflanzen, welche in Kazan unter den wahrscheinlich unrichtigen Namen *Phormium tenax, Phormium Veitchii* und *Pardanthus angioxantha* cultivirt wurden. Verkorkte Krystallbehälter anderer Art, über die ich bald näher zu berichten hoffe, finden sich ferner in der Zweigrinde sämmtlicher *Abietineae*, von *Gingko* (hier auch im Blatt) und theilweise von *Cycas*.

III. Die Hüllen der Krystalle.

Werden die Krystalle mittelst Salzsäure aufgelöst, so bleiben meist an ihrer Stelle Hohlräume zurück, welche genau die Form der Krystalle copiren (Fig. 12, 13, 15bis *B*, 27, 28). Es rührt dies daher, dass jeder Krystall allseitig von einer homogenen

trocknet waren. Die Verkorkung der Krystallzellen erfolgt hier also noch weit später als bei *Iris*.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

membranösen Hülle umgeben ist, welche ihm ganz dicht anliegt und in Folge der starken Lichtbrechung des Krystalls nicht direct sichtbar ist.

Diese Hüllen sind nicht immer vorhanden. Sie fehlen durchgängig im Blatt von *Iris germanica* und wohl überhaupt bei den *Iridaceen*, ebenso scheinen sie im Stamm von *Cordyline spec.* stets zu fehlen. Auch da, wo sie vorkommen, wurden sie manchmal in einzelnen Krystallzellen vermisst, und wo eine Zelle ein ganzes Bündel von Krystallen enthält, kommen sie nach Zalenski zuweilen nur einem Theil derselben zu, z. B. den inneren Krystallen des Bündels, während sie den peripherischen Krystallen fehlen können. Bei den meisten Objecten sind sie aber als Regel allgemein vorhanden, wenn auch ihr Nachweis manchmal schwierig sein kann.

Am häufigsten sind die Hüllen sehr zart, nicht besonders lichtbrechend, und darum nur unter günstigen Bedingungen deutlich sichtbar. Mit Jodreagentien färben sie sich nicht, in concentrirter Schwefelsäure bleiben sie ungelöst. Ihre Beschaffenheit bleibt fraglich, jedenfalls bestehen sie nicht aus Cellulose und sind auch nicht plasmatischer Natur. Nur solche zarte Hüllen wurden unter den genauer untersuchten Objecten gefunden bei *Cordyline indivisa* (in dem von mir untersuchten Material aus dem Charkower botanischen Garten), bei *Polianthes*, *Convallaria* und in den kleinen Krystallzellen von *Yucca gloriosa*. Solche Hüllen sind meist nur in intacten Zellen in der Längsansicht deutlich erkennbar; in durchschnittenen Zellen werden sie gewöhnlich durch den Druck seitens der Krystalle zerrissen und zerfallen in Fetzen.

Bei vielen Pflanzen erreicht nun aber ein Theil der Hüllen, oft weitaus die meisten, eine grössere Dicke und Derbheit; so namentlich bei den *Agave*-Arten, der von mir und Zalenski in Kazan untersuchten *Cordyline indivisa**), bei *Ophiopogon* und *Liriope* (hier selbst bei den kleinsten Kryställchen durchgängig), bei *Dasylirion glaucophyllum* (hier werden sie wohl am derbsten). Solche derbe Hüllen, welche an Dicke die Suberinlamelle der Membran erreichen und manchmal selbst übertreffen können, sind auch mechanisch resistenter, sie halten beim Durchschneiden der Zelle dem Drucke der Krystalle oft Stand und können daher auch im Querschnitt deutlich gesehen werden (Fig. 8, 12, 28).

Diese derben Hüllen sind nun stets verkorkt und verhalten sich gegen Reagentien ganz ähnlich wie die Suberinlamelle der Membran, von der sie bei gleicher Dicke optisch sich gar nicht unterscheiden. In Chlorzinkjod und in $JJK + H_2SO_4$, in welchen die Hüllen sich bräunen und die Krystalle in Folge der starken Lichtbrechung des Mediums verblassen, können solche Hüllen schon ohne vorherige Auflösung der Krystalle sichtbar

*) In dem neuerdings von mir untersuchten Charkower Material derselben Pflanze fand ich hingegen die Hüllen stets ganz zart; solche individuelle Differenzen in der Art der Ausbildung der Hüllen sind mir auch sonst noch begegnet.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

werden. In JJK + H_2SO_4 bleiben nach vollständiger Auflösung des übrigen Gewebes schliesslich nur die Suberinlamellen der Krystallzellen und die Hüllen der Krystalle zurück, tief gebräunt und mit sehr scharfen Contouren (Fig. 10, 29). Bei *Dasylirion glaucophyllum* wurde auch das Verhalten der derben Hüllen gegen heisse Kalilauge untersucht; anfänglich färbten sich die Hüllen gelblich und wurden vielfach auch an ungelösten Krystallen erkennbar (wahrscheinlich in Folge Quellung); bei stärkerer Einwirkung verblassten sie, und nach längerem Kochen in dem Reagens, wenn das Suberin aus der Membran vollständig extrahirt war, verschwanden die Hüllen spurlos; sie enthalten also, im Gegensatz zu der Suberinlamelle der Membran, keine Cellulose.

Wo die Krystalle mit der Zellmembran in Berührung stehen, sind ihre Hüllen mit der Suberinlamelle verschmolzen (Fig. 8, 10, 12, 13, 27, 28, 29); da dies bei Einzelkrystallen oft im grössten Theil ihres Umfanges der Fall ist, so kann eine besondere Hülle eventuell nur auf kurzen Strecken sichtbar sein, manchmal fast nur an den zugeschärften Enden des Krystalls. Wenn zwei Krystalle sich dicht berühren, so bildet an der Berührungsfläche die Hüllsubstanz nur eine einfache, beiden gemeinsame Schicht (Fig. 13, 15bis *B*, 27 *A*, 28). Wird nun durch eine Zelle mit zwei Krystallen ein Querschnitt an einer solchen Stelle geführt, wo die Zellwand den Krystallen dicht angeschmiegt ist, so erscheint nach Auflösung der Krystalle die zwischen beiden befindliche Schicht der Hüllsubstanz als eine die Zelle in zwei Theile zerlegende Scheidewand (Fig. 8, 28 *D*); dass man hier nicht zwei nebeneinanderliegende Krystallzellen vor sich hat, lässt sich bei derber Hülle nur daraus entnehmen, dass, wenn dies der Fall wäre, die beiden Hohlräume durch zwei Suberinlamellen mit dazwischenliegender Aussenlamelle getrennt sein müssten. Sind die Krystalle zu einem Bündel vereinigt, so bilden im Querschnitt nach Behandlung mit Salzsäure die derben Hüllen ein Netzwerk mit quadratischen Maschen, das bei engen Zellen mit der Suberinlamelle der Zellwand in Verbindung steht (Fig. 12) — ein höchst merkwürdiges Bild.

Die Entstehung der Hüllen gelang es Zalenski bei *Agave Verschaffelti* aufzuklären. In Zellen aus einem jungen Blatttheil, welche noch lebend und unverkorkt waren, deren rings vom Protoplasma umgebener Krystall aber schon die definitive Grösse erreicht hatte, sah er nach Auflösung des Krystalls am Innenrande des die Höhlung umgebenden körnigen Protoplasmas eine zarte homogene Schicht, die sich im Gegensatz zum Protoplasma mit JJK, Chlorzinkjod und Fuchsin nicht färben liess. An Krystallen, welche noch zu wachsen hatten, war eine solche Schicht nicht zu sehen. Dieses homogene Häutchen, welches offenbar von Seiten des Plasmas um den ausgewachsenen Krystall gebildet wird, repräsentirt die junge Hülle. Dieselbe bleibt in der Folge entweder unverändert, oder erfährt noch eine gewisse Verdickung und nimmt schliesslich, wohl gleichzeitig mit der Ausbildung der Suberinlamelle, durch Incrustation die Eigenschaften einer verkorkten

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Membran an. Auch an zu Bündeln vereinigten Krystallen haben wir entsprechende Beobachtungen gemacht, Zalenski bei *Agave Verschaffelti* und *Cordyline indivisa*, ich bei *Yucca gloriosa;* da hier zwischen den dicht aneinander liegenden Krystallen nichts als die homogene Hüllschicht vorhanden ist, so muss angenommen werden, dass dieselbe nicht ein Ausscheidungsproduct des Plasmas, sondern wohl ein Umwandlungsproduct von zarten plasmatischen Lamellen ist, die ursprünglich zwischen den wachsenden Krystallen verblieben waren. — Bemerkenswerth ist, dass in allen diesen Fällen die Krystalle resp. Krystallbündel dicht von Protoplasma umhüllt waren, in dem nach Salzsäurebehandlung entsprechend geformte Hohlräume zurückblieben, während ich bei *Iris*, wo keine Hüllen gebildet werden, auch kein den Krystall überziehendes Protoplasma, sondern nur einen dünnen Plasma-Wandbeleg gesehen habe; ob freilich nach Auflösung des Krystalls dieser sich nicht doch von einer dünnen Plasmaschicht überzogen zeigen würde, habe ich leider versäumt festzustellen.

Die Hüllen unserer Krystalle sind offenbar durchaus homolog mit den Hüllen der Rosanow'schen Krystalldrusen, welche nach Kohl (89—91) bei der Mehrzahl der Drusen und Solitäre vorhanden sind, mit der Zellmembran bald in Verbindung stehen, bald nicht, und welche auch erst nach dem Auswachsen der Krystalle gebildet zu werden scheinen; der Unterschied besteht nur in der chemischen Beschaffenheit, denn die letzteren Hüllen geben nach Kohl meist Cellulosereaction und sind mitunter verholzt oder verkieselt. Nach meinen Erfahrungen sind sie jedenfalls nicht verkorkt.

Ausserdem finden sich aber in der Litteratur mehrfach Angaben über offenbar anders geartete Krystallhüllen, welche man vielleicht geneigt sein könnte, mit den von uns beobachteten zu identificiren, welche aber mit ihnen sicherlich nichts zu thun haben. Nach Hofmeister (393) sind die Calciumoxalat-Krystalle allgemein „von einer membranähnlichen Schicht körniger, mit Jod sich bräunender Substanz umschlossen: einer dünnen Lage dichteren, beinahe festen Protoplasmas, die dann völlig deutlich hervortritt, wenn die Substanz der Krystalle durch verdünnte Salpetersäure gelöst wird". Nach Sachs (67) sind die Krystalle „häufig, vielleicht immer, von einem dünnen Häutchen überzogen, welches nach Auflösung des oxalsauren Kalkes zurückbleibt und wahrscheinlich als ein Protoplasmaüberzug betrachtet werden darf". De Bary (148) meint, es sei für alle Fälle, wo die Krystalle frei innerhalb der Membran zu liegen scheinen, noch bestimmter festzustellen, ob nicht eine „Gallertumhüllung" oder Befestigung an die Wand vorhanden ist; „für das allgemeine Vorkommen solchen Verhaltens sprechen Payen's Angaben über das Vorkommen siliciumhaltiger Hüllen um Drusenkrystalle und membranähnlicher, mit Jod sich bräunender umhüllender Schichten körniger Substanz".

Alle Autoren berufen sich bei ihren recht verschieden lautenden Angaben auf Payen, dem Kohl (79) wiederum etwas anderes zuschreibt, nämlich die Entdeckung der oben erwähnten Cellulose-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

hüllen. Wenn man auf das Payen'sche Original zurückgeht (welches viel häufiger citirt als gelesen zu werden scheint), so gewinnt man vor Allem den Eindruck, dass seine Angaben über den „tissu spécial" oder „léger tissu organique", welcher alle von ihm beschriebenen Krystalle einhüllen soll, durchaus einer gründlichen Nachprüfung bedürfen. Payen zeichnet seinen „tissu" bald die Zelle ganz ausfüllend, bald nur eine mehr oder weniger dicke, unregelmässige Schicht um die Krystalle resp. Drusen bildend; mehrere Zeichnungen zeigen unverkennbar, dass er darunter wirklich ein zelliges oder wenigstens vacuoliges „Gewebe" versteht. Der „tissu organique" soll sogar im Innern der Krystalle vorhanden sein und beim Zerfallen dieser unter der Einwirkung von Salpetersäure ein Netzwerk zwischen den Krystallpartikeln bilden (Erklärung der Fig. 6bis, Taf. V). In einigen Fällen wird angegeben, dass der „tissu" durch Jod leicht gelb gefärbt wird; von körniger Beschaffenheit desselben ist nirgends die Rede. Es sind das jedenfalls zum grossen Theil Dinge, die der Wirklichkeit nicht entsprechen; so weit dies doch der Fall ist, sind es jedenfalls sehr heterogene Dinge: zum Theil vielleicht Cellulosehüllen um Drusen, theils wohl auch Plasmaanhäufungen (diese aber entweder in noch jungen Zellen, oder nicht in speciellen Krystallbehältern), bei den Cystolithen endlich ist es die Cellulose-Grundsubstanz. Keinenfalls geht es an, den Payen'schen Beobachtungen einen bestimmten eindeutigen Sinn unterzulegen und auf dieselben hin die allgemeine Verbreitung, sei es plasmatischer, sei es irgendwelcher anderer Hüllen um Krystalle zu behaupten.

Gut und treffend sind die Angaben Payen's über die dünnen, aus organischer Substanz bestehenden Hüllen der Rhaphiden, welche er bei einigen *Araceen* und bei *Vitis* entdeckte (p. 98—100); nur scheint mir die Behauptung, dass dieselben verkieselt seien, kaum glaubhaft und mit der Weichheit und Biegsamkeit der Hüllen, welche Payen selbst hervorhebt, unvereinbar zu sein. Diese Rhaphidenhüllen sind auch später mehrfach beobachtet worden (so von Johow, Bokorny, Blenk), wenn auch manchmal falsch gedeutet, und dürften vielleicht allgemein verbreitet sein, was jedoch noch zu untersuchen ist. Ich selber habe sie in den echten Rhaphidenzellen der Monocotylen, wofern ich darauf achtete, nie vermisst, aber von den oben beschriebenen Hüllen der prismatischen Krystalle ganz verschieden gefunden; von den zarten Krystallhüllen unterscheiden sie sich schon durch ihre deutliche Gelbfärbung mit Jod, von den verkorkten Hüllen durch ihre schwache Lichtbrechung. Sachs (67) hält auch die Rhaphidenhüllen für Protoplasma-Ueberzüge, desgleichen Johow (17); sie sehen thatsächlich nach Protoplasma aus, doch bedarf diese Ansicht jedenfalls noch einer näheren Prüfung.

IV. Der Inhalt der Krystallzellen.

Es wurde bereits erwähnt, dass die Krystallzellen, so lange ihre Membran noch nicht verkorkt ist, Protoplasma enthalten, in dem auch stets ein Zellkern von normalem Bau und relativ an-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sehnlicher Grösse enthalten ist. Unter den von mir selbst in entwicklungsgeschichtlicher Hinsicht untersuchten Objecten fand ich bei *Yucca gloriosa* alle erwachsenen aber noch unverkorkten Krystallzellen sehr reich an Protoplasma, wodurch sich dieselben auffallend von den übrigen Zellen unterschieden; das Plasma füllte den Raum zwischen den Krystallen resp. Krystallbündeln und der Membran vollständig aus, und der Zellkern lag den Krystallen an. Die vermuthliche Abnahme des Plasmagehalts vor der Verkorkung der Zellen muss sehr schnell erfolgen. Bei *Iris germanica* fand ich hingegen in den erwachsenen Krystallzellen nur einen ziemlich zarten Plasma-Wandbeleg, in dem sich auch der Zellkern befand.

In bereits verkorkten Zellen wurden nie Spuren von Protoplasma gefunden. Dasselbe muss also nach dem Absterben schnell zu unbedeutenden, meist nicht mehr erkennbaren Resten zusammenschrumpfen. Sichtbare Inhaltsreste wurden nur bei einigen Objecten beobachtet, am häufigsten und reichlichsten bei *Dasylirion glaucophyllum* und besonders im Blattstiel von *Aspidistra*. Sie erscheinen hier als eine meist mehr oder weniger vacuolige, glänzende Substanz, die stellenweise der Membran oder den Krystallhüllen anhaftet, engere Zwischenräume zwischen beiden erfüllt (Fig. 26, 27) und bei grösserer Menge auch die von Krystallen freien Räume des Zelllumens theilweise einnimmt. Diese Substanz unterscheidet sich vom Protoplasma scharf sowohl in ihrem Aussehen, wie in ihrem Verhalten gegen Reagentien. In Chloralhydrat bleibt sie deutlich, in $JJK + H_2SO_4$ färbt sie sich tiefbraun, in Kalilauge wird sie gelblich gefärbt, beim Erwärmen mit diesem Reagens schmilzt sie zu fettähnlichen Tröpfchen zusammen und verwandelt sich bei längerem Kochen in eine schwach lichtbrechende grumöse Masse; werden frische Schnitte mit Alkohol behandelt, so nimmt die Substanz in angeschnittenen Krystallzellen Chlorophyll aus dessen alkoholischem Auszug auf. Diese Reactionen zeigen, dass es eine fett- oder wachsartige Substanz ist, welche dem sog. Suberin nahe verwandt zu sein scheint. Sie ist jedenfalls ein Umwandlungsproduct des nach der Verkorkung in der Zelle verbliebenen und abgestorbenen Protoplasmas, und ich möchte glauben, dass sie dann sich in grösserer Menge vorfindet, wenn die Verkorkung und damit das Absterben der Zelle sozusagen vorzeitig eintritt.

Im Uebrigen ist der Inhalt der fertigen, verkorkten Krystallzellen fast stets Luft oder, genauer, ein Gas. An frischen Schnitten ist das allerdings kaum festzustellen, da der Luftgehalt der Intercellularen störend wirkt; man überzeugt sich indess von dieser Thatsache leicht, wenn man Längsschnitte aus frischem Material in Alkohol oder Chloralhydrat einlegt, welche die Luft aus den Intercellularen mehr oder weniger schnell, aus intacten Krystallzellen aber zunächst gar nicht verdrängen. Ich habe auf diese Weise den Luftgehalt der Krystallzellen bei sämmtlichen Objecten festgestellt, welche ich an frischem Material untersuchte, mit alleiniger Ausnahme von *Polianthes*. Am reichlichsten ist der Luftgehalt natürlich in solchen Zellen, welche freie, von den

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Krystallen nicht erfüllte Enden haben, wie in Fig. 20 *A*, oder welche der Quere nach von den Krystallen nur sehr unvollständig ausgefüllt sind, wie Fig. 18, 19, 26 u. a.; solche Zellen erscheinen gewöhnlich in ihrer ganzen Ausdehnung schwarz von Luft. In sehr engen Zellen hingegen, die von den Krystallen fast ganz ausgefüllt sind, wie z. B. in Fig. 7, ist natürlich nur hier und da, besonders an den Enden oder in seitlichen Ausfaltungen Platz für ein kleines Luftbläschen, und oft fehlt in solchen Zellen, auch wenn sie sicher intact sind, die Luft ganz. So habe ich namentlich bei den *Agave*-Arten nur selten geringe Luftmengen in den Krystallzellen finden können, was ich mir dadurch erkläre, dass in den äusserst engen capillaren Räumen, welche zwischen den Krystallen und der Membran sich befinden, das Wasser sehr fest gehalten und dadurch am Verdunsten verhindert wird, trotzdem die Zellen mit einem grossen Theil ihrer Oberfläche an lufthaltige Intercellularen grenzen. In dem Fall von *Polianthes* hingegen dürfte es von Bedeutung sein, dass hier die Krystallzellen stets rings von lebenden Zellen umgeben und höchstens mit äusserst engen Intercellularen in Berührung sind (Fig. 14, 15), wodurch ebenfalls die Verdunstung und das Eindringen von Luft sehr erschwert sind.

Natürlich wird durch die Anwesenheit auch der kleinsten Luftbläschen in intacten Zellen deren abgestorbener Zustand mit weit grösserer Sicherheit bewiesen, als durch das negative Resultat des Suchens nach lebendig aussehendem Plasma und Kern, und aus diesem Grunde hauptsächlich habe ich auf den Nachweis des Luftgehalts Gewicht gelegt.

Es fiel mir nun weiter auf, dass Luft sich immer nur in vollkommen intacten Krystallzellen befand, während in auch nur unbedeutend verletzten Zellen sich nie das kleinste Luftbläschen auffinden liess, auch wenn die angrenzenden Intercellularen noch theilweise lufthaltig waren. Diese Thatsache führte mich zu der Ueberzeugung, dass das in den Krystallzellen enthaltene Gas nicht gewöhnliche Luft sein kann (diese müsste doch aus einseitig angeschnittenen Zellen schwerer zu verdrängen sein als aus Intercellularen), sondern Wasserdampf oder doch stark verdünnte Luft sein muss. Dies ist leicht unter der Annahme zu erklären, dass die Membran der Krystallzellen für Wasser leichter permeabel ist als für Luft; es würde also aus der abgestorbenen Zelle das Wasser schneller verdunsten, als Luft nachdringen kann, und so würde ein negativer Druck in der Zelle zu Stande kommen. Im folgenden Abschnitt werden wir noch einem unzweideutigen Beweis für die thatsächliche Existenz eines negativen Druckes in den Krystallzellen begegnen.

Den von uns geführten Nachweis, dass die Krystallzellen im erwachsenen Zustande todt sind, könnte man geneigt sein, für überflüssig zu halten; denn die Aussagen der wenigen Lehrbücher, welche sich überhaupt über den Inhalt der Krystallbehälter äussern, erwecken den Anschein, als sei dies bei ihnen, wenn nicht durchgängig, so doch in der Regel der Fall. Sachs (69) bemerkt: „Füllt ein Krystall oder eine Druse oder ein Rhaphidenbündel

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

oder endlich ein Haufen kleiner Krystalle eine Zelle beinahe oder zum grossen Theil aus, so pflegen keine anderen geformten Theile vorhanden zu sein," und von den Excretbehältern im Allgemeinen sagt er (p. 84), dass „das Protoplasma unkenntlich wird oder doch nur in zweifelhaften Rudimenten erhalten bleibt". Nach De Bary (148) wird „der vom Krystall nicht erfüllte Raum aller dieser Schläuche (d. i. der Krystallschläuche) im erwachsenen Zustand von Wasser eingenommen", und bei den Rhaphidenschläuchen (p. 147) „verschwinden die protoplasmatischen Theile" mit dem Erscheinen des Schleims. Frank (59) endlich sagt von den Krystallbehältern, dass sie „oft nichts als einen grossen Krystalleinschluss bergen".

Anders stellt sich aber die Sache nach den ebenfalls sehr wenigen Originalarbeiten dar, in denen sich Beobachtungen über den Inhalt der Krystallbehälter niedergelegt finden. Zacharias (641—643) sah in den subepidermalen, unverkorkten Rhaphidenzellen von *Mesembryanthemum praepingue* chlorophyllhaltiges Protoplasma; über den Protoplasmagehalt der verkorkten Raphidenzellen im erwachsenen Zustand äussert er sich nicht direct. Johow fand bei seinen speciell darauf gerichteten Untersuchungen einen Primordialschlauch und Zellkern (den letzteren freilich manchmal etwas abnorm aussehend) in den erwachsenen Raphidenzellen verschiedener *Monocotylen* (*Tradescantia*, *Amaryllidaceen*, *Liliaceen*, *Orchis*) und den Drusenzellen von *Anthurium* und *Philodendron*, letzteres in Bestätigung einer Angabe von Rosanoff; nur in den Krystallzellen des Blattes einer *Iris*-Art hat er „in den extremsten Fällen" (d. i. offenbar in den völlig ausgebildeten, verkorkten Zellen) sich vergeblich bemüht, einen Protoplasmaleib nachzuweisen. — Die Resultate Johow's werden von Haberlandt (448) kurz angeführt, der auch in seiner Abbildung eines Rhaphidenschlauches von *Tradescantia* einen Zellkern in demselben zeichnet (446, Fig. 189 A). — Strasburger (XIX) giebt lebende krystallführende Zellen an im Bast von *Tilia europaea* (222) und von *Vitis Labrusca* (250); von den letzteren sagt er: „Die krystallführenden Zellen behalten hier, wie auch sonst häufig, einen dünnen Plasmaschlauch und reducirten Zellkern"; im Herbst bilden diese Zellen Stärke — der beste Beweis, dass sie trotz ihres „reducirten" Kerns wirklich lebendig sind. Luftführende Krystallbehälter erwähnt Strasburger hingegen im Bast von *Robinia Pseudacacia* (195) und von *Hedera Helix* (239).

Soweit man nach diesen spärlichen Daten urtheilen darf, scheinen lebende Krystallbehälter die Regel, abgestorbene die Ausnahme zu bilden. Damit stimmen auch meine Erfahrungen überein. In den Rhaphidenzellen vieler in der vorliegenden Arbeit untersuchten Pflanzen habe ich, ohne danach zu suchen, einen normal aussehenden Zellkern und manchmal recht reichliches Protoplasma gesehen (wenn auch abgestorbene Raphidenzellen sicher gleichfalls vorkommen); die sonstigen Krystallbehälter, soweit sie nicht verkorkt sind, scheinen mir zum mindesten in der Regel lebendig zu sein. Luftgehalt in unverkorkten

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Krystallbehältern ist mir bisher nur in den sogenannten Krystallsand führenden Zellen der *Solanum*-Arten vorgekommen, obgleich gerade hier das Lumen nur zu einem ziemlich geringen Theil von den Krystallen eingenommen wird.

V. Die Form der Krystallzellen.

Die Form der Krystallzellen im Allgemeinen ist derjenigen ihrer Krystalleinschlüsse mehr oder weniger ähnlich. Man kann folgende Fälle unterscheiden, die natürlich durch Uebergänge verbunden sind.

1) Zellen, welche einen bis wenige langgestreckte Krystalle enthalten, sind meist eng und ebenfalls langgestreckt; sie haben also eine mehr oder weniger prosenchymatische Gestalt, wenngleich die Enden der Zellen meist quer oder gerundet sind und echte prosenchymatische Zuspitzung nur selten vorkommt. Fast immer sind die Zellen länger als die Krystalle und haben also leere Enden, welche freilich meist nur kurz sind (Fig. 2, 7, 13, 27, 30, 32); manchmal sind aber die Zellen auch $1^1/_2$ bis 3 mal länger als die Krystalle. Solche Fälle sind mehr oder weniger häufig in den Blättern von *Iris germanica*. *Polianthes* (Fig. 15), bei den grossen Krystallzellen im inneren Mesophyll der *Agave*-Arten (bei *A. americana* wurden von Zalenski bis 1 mm lange Zellen beobachtet), in der Stammrinde von *Cordyline spec.*, u. A.; Querschnitte durch derartige Zellen findet man natürlich relativ häufig frei von Krystallen (vgl. die Zelle *a* in Fig. 14, welche der Fig. 15 entspricht). Sind die Krystallzellen nicht allzu eng, so dass eine Verschiebung der Krystalle in ihnen möglich ist, so befinden sich die Krystalle immer an ihrem unteren Ende (Fig. 15).

2) Zellen, welche ein ganzes Bündel von Krystallen enthalten, pflegen eine ausgesprochen parenchymatische Form zu haben, mit quergerichteten Enden (Fig. 11, 24); sie sind um so kürzer, je grösser die Zahl der Krystalle im Bündel, immer aber wenigstens ein wenig in der Richtung der Krystalle gestreckt. Die Zellen pflegen nicht oder kaum länger als das Bündel zu sein, oft berühren die Querwände sogar die Spitzen der Krystalle (Fig. 11); über die Krystalle hinaus verlängerte leere Enden finden sich nur selten.

Diese Art von Krystallzellen lässt manchmal deutlich zwei Unterarten unterscheiden, welche nebeneinander vorkommen können, nämlich a) Zellen mit einem Bündel von wenigen längeren Krystallen, b) Zellen mit sehr zahlreichen (bis weit über 100) kürzeren Krystallen. Die Zellen a (Fig. 11 u. 12, 20 *A*) sind mehrfach länger als breit, die Zellen b (Fig. 21 *A*, 22, 24; Fig. 20 *B* ist eine Mittelform) sind nur etwa $1^1/_2$ bis 2 Mal so lang als breit.

3) In dem sehr seltenen Fall, wo einige kleine oder viele sehr kleine Krystalle nicht bündelweise liegen (Fig. 25, 29), sind die Zellen isodiametrisch oder selbst etwas abgeplattet.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

4) In den merkwürdigen kleinen Krystallzellen der *Ophiopogoneen*, in denen die kurzen Kryställchen zu einer ein- bis zweischichtigen Platte angeordnet sind, richtet sich ebenfalls die Zellform ungefähr nach der Form der Platte. Sie kann demnach in der Längsrichtung der Kryställchen ein wenig gestreckt, oder etwa ebenso lang wie breit sein (Fig. 15bis, *B*); wenn aber, bei zahlreichen Kryställchen, die grösste Dimension der Platte nicht mit der Längsrichtung jener zusammenfällt, so gilt dasselbe auch für die Zelle (Fig. 15bis, *A*, linke Zelle). Bei *Ophiopogon* kommt noch hinzu, dass die Zellen in der Richtung senkrecht zur Platte sehr stark abgeflacht zu sein pflegen, und so kommt es, dass sie im extremen Fall die höchst merkwürdige Form eines flachen, ziemlich langen Bandes haben, in dem die Kryställchen quer oder schräg zur längsten Axe orientirt sind (vergl. den speciellen Theil).

Von diesen verschiedenen Arten von Krystallzellen tritt bei einigen Objecten die eine oder andere ausschliesslich auf, während sie bei anderen nebeneinander vorkommen. Im Folgenden einige Beispiele:

Nur Zellen der Form 1: *Iridaceae*, *Phormium*, *Hesperaloë*, mehrere *Nolina*-Arten, *Cordyline Baueri*, *Agave americana*, *brachystachys* und *rigida*.

Nur Zellen der Form 2: *Cordyline indivisa*, *stricta*, *Banksii*, *Rohdea*, Rhizom von *Yucca gloriosa*.

Zellen der Formen 1 und 2: *Nolina recurvata*, die *Dasylirion*-Arten, die Blätter der meisten *Yucca*-Arten, *Agave Verschaffelti*.

Zellen der Formen 2 und 4: *Ophiopogon*, *Liriope*.

Die Form 3 wurde nur bei *Yucca gloriosa* und *Dasylirion glaucophyllum* neben vorwiegenden anderen Formen beobachtet.

Das Verhältniss zu den Zellen des umgebenden Gewebes fällt je nach den Specialfällen sehr verschieden aus. Liegen längsgestreckte Krystallzellen der ersten Kategorie im Chlorenchym der Blätter, welches aus isodiametrischen oder selbst quergestreckten Zellen besteht, so ist der Unterschied in der Form beider sehr auffallend: die Krystallzellen sind vielfach länger und enger als die angrenzenden Parenchymzellen (Fig. 1 u. 2, 7 u. 8, 31 *D* und 32); Krystallbündel führende Zellen sind in gleichem Fall ebenfalls oft bedeutend länger (Fig. 20), während das Breitenverhältniss wechselt (Fig. 11, 20); bei *Yucca gloriosa* u. A. können die grösseren bündelführenden Krystallzellen auch ziemlich bedeutend dicker sein, als die Zellen des Mesophylls. Ist hingegen das Parenchym in derselben Richtung gestreckt wie die Krystalle, so kann die allgemeine Form der Krystallzellen mit der der umgebenden Zellen ziemlich übereinstimmen oder doch nur durch geringeren Querdurchmesser differiren; so meist in Wurzeln, Blattstielen, im Rhizom von *Convallaria*, in der Stammrinde von *Cordyline spec.* (Fig. 16), in der Blattmittelrippe von *Phormium* (Fig. 30), im senkrecht zur Oberfläche gestreckten peripherischen Mesophyll des Blattes von *Yucca gloriosa* (Fig. 24),

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

u. A. Krystallzellen wie Fig. 25 und 29 können dieselbe Form haben, wie die Nachbarzellen, oder selbst bei gleicher Breite erheblich kürzer sein. An Sclerenchymstränge grenzende, gestreckte Krystallzellen pflegen bei meist etwa gleichem Querdurchmesser (Fig.3) mehrfach kürzer als die Sclerenchymfasern zu sein.

Die Aehnlichkeit mit den Nachbarzellen beschränkt sich aber auch im besten Fall nur auf die allgemeine Gestalt der Krystallzellen. Die fertigen, verkorkten Krystallzellen jeglicher Form zeichnen sich fast durchgängig vor den Zellen anderer Gewebe dadurch aus, dass ihre Membran mehr oder weniger eingedrückt ist. Wo eine Krystallzelle an lebende Zellen stösst, sind diese letzteren in sie hineingewölbt; aber, und dies ist eine besonders auffallende Erscheinung, auch die angrenzenden Intercellularen wölben sich in ausgesprochener Weise, oft sogar noch stärker als die lebenden Zellen, gegen die Krystallzellen vor und stülpen deren Membran ein, so dass sie hier nicht, wie sonst, concave, sondern convexe Seiten haben. Man sieht das in fast sämmtlichen Figuren der Tafel, besonders ausgeprägt in den Längsschnitten Fig. 7, 13, 20, 32. Auch wo nur der Contour der Krystallzelle allein gezeichnet ist, wie in Fig. 10, 20 zum Theil, 21 *A*, 27, 29, lassen sich deutlich die Eindrücke erkennen, welche den angrenzenden Parenchymzellen und Intercellularen entsprechen. In den Figuren 2, 9, 15bis, 25, 35 sind die Eindrücke zwar relativ schwach, aber doch deutlich genug, um den Krystallzellen eine eigenartige Form zu verleihen, welche mehr an die übliche Gestaltung von Intercellularräumen, als an die von Zellen erinnert. Manchmal, besonders wo die anliegenden Zellen und Intercellularen gleichsinnig mit den Krystallzellen gestreckt sind, erscheinen in der Längsansicht die Wände der Krystallzellen freilich glatt (Fig. 11, 15, 16, 24, 30); aber die entsprechenden Querschnitte (Fig. 12, 14, 18, 31 *A*, *B*, *C*) zeigen, dass auch hier die Membran Eindrücke aufweist, welche von längsverlaufenden Einfaltungen herrühren.

Man gewinnt sofort den Eindruck, dass diese eingedrückte Form der Krystallzellen auf einer postmortalen Deformation derselben beruht. In der That zeigt die Untersuchung der Entwickelungsgeschichte, dass die Krystallzellen, so lange sie noch unverkorkt und lebend sind, eine glatte Membran mit ebenen oder gewölbten Wänden haben, wie andere lebende Zellen auch; man braucht sich nur in den angeführten Figuren die Membran der Krystallzellen durch einen von innen her wirkenden Druck bis zur Ausgleichung aller Falten und Hervorwölbung aller eingedrückten Stellen geglättet zu denken, um die ungefähre Gestalt zu erhalten, welche die Zellen vor ihrem Absterben hatten.

Nach dem Absterben der Krystallzellen, deren recht dünne und biegsame Wand keinen erheblichen Widerstand zu leisten vermag, werden naturgemäss durch den Turgor der benachbarten Zellen die mit diesen gemeinsamen Wände in die Krystallzelle hineingewölbt. Dieser Umstand allein würde jedoch noch keine

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

so auffallende Deformation bewirken, wie sie thatsächlich Platz greift; eine sehr wesentliche Rolle spielt hierbei die Hineinwölbung der an Intercellularen grenzenden Wände. Hierzu ist offenbar ebenfalls ein Ueberdruck seitens der Intercellularen unumgänglich; und da in den Intercellularen der Druck nicht merklich über eine Atmosphäre betragen kann, so muss nothwendig in den todten Krystallzellen ein Druck von weniger als einer Atmosphäre herrschen, mit anderen Worten, das Einsinken der an Intercellularen grenzenden Wände ist die Folge einer Saugung seitens des Inhalts der Krystallzellen. Das Zustandekommen eines negativen Drucks in den Krystallzellen lässt sich nun seinerseits nur dadurch erklären, dass das aus den todten Zellen verdunstende oder durch die turgescirenden Nachbarzellen entzogene Wasser nicht (oder doch nicht in gleichem Tempo) durch nachdringende Luft ersetzt wird, trotzdem die Zellen meist mit einem bedeutenden Theil ihrer Oberfläche an luftführende Bäume grenzen, dass also die Membran der Krystallzellen für Luft schwerer permeabel sein muss, als für Wasser*); die Deformation der Krystallzellen hat also im Wesentlichen dieselben Gründe, wie sie neuerdings für die sog. Cohäsionsmechanismen angenommen werden. — Da die Wasserabgabe durch die verkorkte Membran jedenfalls nur langsam erfolgen kann, so ist nicht zu erwarten, dass dieser zweite Schritt der Deformation sofort nach dem Absterben der Krystallzellen seine Wirkung ausübt; in der That findet man in Entwickelungsstadien, wo erst ein Theil der Krystallzellen verkorkt ist, viele von diesen nach den Intercellularen hin noch gewölbt vor.

Durch die Einstülpung der Wände wird nun natürlich das freie Lumen der Krystallzelle in mehr oder weniger bedeutendem Grade verkleinert. Wenn schon in der lebenden Zelle die Membran nicht sehr weit vom Krystall resp. von dem Krystallbündel abstand, so wird sie bei ihrer Einstülpung an vielen Stellen mit ihnen in Berührung kommen resp. ihnen streckenweise dicht angepresst werden, wie das in vielen unserer Figuren zu sehen ist. Da aber, wo die Membran auf grösserer Strecke den Krystallen nicht angepresst werden kann, wird sie bei stärkerer Deformation zu flachen taschenförmigen Ausstülpungen oder selbst zu lumenlosen Falten comprimirt; kleinere derartige Aussackungen und Falten sieht man im Querschnitt in den Fig. 4, 12, 23, 31 *A*, *C*, grössere in Fig. 21 A (oben), 27 A (unten); in der Längsansicht sind solche enge Aussackungen oft durch andere Zellen verdeckt, und werden erst deutlich nach Zerstörung des Gewebes mittels JJK + H_2SO_4, wobei allein die gebräunte Suberinlamelle der Krystallzellen übrig bleibt (Fig. 10, 29). Auch die leeren Enden

*) Dass bei dieser Eigenschaft der Membran ihre Verkorkung keine wesentliche Rolle spielt, zeigen die am Schluss des IX. Kapitels zu besprechenden Krystallzellen der Blätter von *Veratrum nigrum* und *Cypripedium insigne*, die in derselben Weise deformirt sind, obgleich ihre Membran unverkorkt bleibt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

langgestreckter Zellen sind meist comprimirt und daher enger als der die Krystalle enthaltende Theil (Fig. 13), oder selbst völlig plattgedrückt; wo das nicht der Fall zu sein scheint (wie in Fig. 7 bei *a*), hat man sie sich senkrecht zur Ebene des Papiers comprimirt zu denken.

So kommt es, dass schliesslich oft die Krystalle von der Zellmembran grossentheils eng umfasst sind und das freie Lumen der Zelle auf geringe Reste reducirt sein kann.

Wenn das Absterben der Krystallzellen zu einer Zeit erfolgt, wo das umliegende Gewebe noch im Wachsthum begriffen ist, so kommen noch weitere Umstände hinzu, welche die Deformation der Krystallzellen noch weiter treiben können. Solche sind erstens das individuelle Wachsthum der lebenden Nachbarzellen (durch welches beispielsweise die freien Enden der Krystallzellen in Fig. 7 und 13 total zusammengepresst werden könnten), und die passive Dehnung der Krystallzellen durch das Wachsthum des lebenden Gewebes, sowohl durch das Längenwachsthum, wie durch das Wachsthum in die Dicke. Man kann sich z. B. leicht vorstellen, wie durch ein weiteres Längenwachsthum der Parenchymzellen in Fig. 7 die Membran der Krystallzelle gedehnt, geradegestreckt und dabei fast durchweg dem Krystall dicht angepresst werden könnte; wie in Fig. 30 durch das Längenwachsthum des Gewebes die ursprünglich stumpfen Enden der Krystallzellen (wie bei a) spitz ausgezogen und gleichzeitig die Zellen verengert wurden; u. s. w.

Alle diese Vorgänge können aber doch nicht dahin führen, dass das Zelllumen ganz schwindet und der Contour der Zellmembran mit dem der Krystalle vollkommen zusammenfällt, wie das z. B. Hilgers (292) von den Krystallzellen der *Iris*-Rhizome angiebt. Wenn es auch im Querschnitt einer Krystallzelle (Fig. 4, 8, 28 *D*) manchmal so aussieht, so zeigt doch die entsprechende Längsansicht (Fig. 7, 27 *A*), dass es sich nur stellenweise so verhält, und ebenso umgekehrt (vgl. z. B. Fig. 11 mit Fig. 12).

Uebrigens brauchen die Krystallzellen keineswegs immer bis zu weitgehender Reduction ihres freien Lumens comprimirt zu werden; die Deformation kann auch geringer sein, so dass die Zellen noch ziemlich geräumig bleiben und ihre Membran mit den Krystallen nur an wenigen Stellen in Contact kommt. Ersteres, d. i. starke Compression der Krystallzellen, ist meist in hohem Grade der Fall in den *Iris* Rhizomen (Fig. 4, wo die Krystalle aus den Zellen *kk* herausgefallen sind), ferner bei den *Agave*-Arten (Fig. 7, 9, 11—13), *Phormium* (Fig. 31, 32), *Ophiopogon*, weniger allgemein bei den *Yucca*-Arten (Fig. 23, 24), *Hesperaloë*, den *Dasylirion*-Arten (Fig. 27, 28 *C*, *D*) u. A. Relativ geräumig sind die Krystallzellen hingegen in Blatt und Wurzel von *Iris* (Fig. 1, 2), im Stamm von *Cordyline spec.* (Fig. 18), bei *Convallaria* (Fig. 35, hier die Zelle ungewöhnlich breit), und theilweise bei anderen Objecten. — Wenig oder selbst fast garnicht comprimirt und dementsprechend geräumig sind fast allgemein die-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

jenigen Krystallzellen, welche sich an Sclerenchymsträngen oder Leitsträngen befinden (Fig. 3, 19, — in letzterer, die nach einem dünnen Schnitt in einem Dauerpräparat gezeichnet ist, dürfte allerdings vielleicht ein dritter Krystall herausgefallen sein); es dürfte dies theils an dem die Verdunstung erschwerenden Mangel an Intercellularen, theils vielleicht auch an dem geringen Turgor des jungen Stranggewebes (durch den ja wohl auch die mangelnde Ausbildung von Intercellularen sich erklärt) liegen. — Endlich habe ich bei *Dasylyrion glaucophyllum* und im Blattstiel von *Aspidistra* neben Krystallzellen der gewöhnlichen Form nicht selten auch solche gesehen, die nicht merklich deformirt waren (Fig. 26); diese Zellen enthielten stets ziemlich reichlich die bereits besprochenen Inhaltsreste, es dürfte also zwischen beiden Anomalien ein causaler Zusammenhang bestehen.

Es ist wiederholt der Vermuthung Ausdruck gegeben worden, dass die Form der Krystallbehälter durch diejenige der Krystalle bedingt wird. Meyen (231) meint, dass das Volumen der engen aber langen Krystallzellen von *Agave mexicana* etwa ebenso gross ist, wie das der angrenzenden „Merenchymzellen", und möchte daher glauben, „dass der Krystall es ist, welcher die einzelne Zelle in die Länge ausdehnte, und die Zelle dehnt sich immer länger, je grösser der Krystall wird, was bekanntlich mit zunehmendem Alter der Pflanze auch immer weiter fortgeht" (letzteres glaubte Meyen deshalb, weil in den grossen Blättern alter Exemplare die Krystalle grösser werden, als in denen junger Pflanzen). De Bary (145) drückt sich mit kritischer Vorsicht aus: „Die Form der Krystallschläuche steht zu derjenigen der in ihnen enthaltenen Krystalle, wenn diese erhebliche Grösse erreichen, in naher Beziehung, ohne dass zur Zeit bestimmt ausgesagt werden könnte, ob die Krystallform von der des Schlauches abhängig ist oder umgekehrt." Wiesner (XXIII, 55) behauptet: „Es wurde auch die Beobachtung gemacht, dass stark heranwachsende Krystalle die Zellwand zu verstärktem Wachsthum zwingen"; ich vermuthe, dass Wiesner hier seine eigenen Beobachtungen an den Krystallzellen von *Pontederia crassipes* im Auge hat (XXII); leider ist mir die betr. Arbeit unzugänglich, so dass ich nicht beurtheilen kann, worauf sich der obige, etwas kühn klingende Satz gründet. Endlich sagt auch Haberlandt (447/8), dass die Form der Krystallbehälter „in manchen Fällen sicher von der Form der Krystalleinschlüsse abhängig ist".

Obgleich nun wohl bei keiner anderen Art von Krystallbehältern die Coincidenz der Zellform und Krystallform weiter geht als bei den meisten unserer Krystallzellen, so haben doch hier die Krystalle nur einen sehr indirecten Einfluss auf die endgiltige Form der Zellen; ihre Wirkung ist eine rein passive, indem sie es verhindern, dass die Compression der Zellen weiter geht, als bis zum Anpressen der Membran an die Krystalle.

Freilich zeigte schon die Form der noch nicht abgestorbenen Zellen, wie schon hervorgehoben, meist eine gewisse Aehnlichkeit

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

mit der Form der Krystalle, in dem Sinne, dass beispielsweise eine Zelle, welche einen langen schlanken Krystall beherbergt, ebenfalls langgestreckt und schmal ist. Dass sie aber diese Gestalt nicht einer Dehnung durch den heranwachsenden Krystall verdankt, geht schon aus der Thatsache hervor, dass selbst im völlig ausgewachsenen Zustande die Enden der Zellen diejenigen der Krystalle fast stets merklich und oft beträchtlich überragen. Im lebenden Zustande der Zelle sind aber die Krystalle allseitig vom Protoplasma (oder manchmal wohl vom Zellsaft) umgeben und stehen nirgends mit der Zellmembran in Contact. Im Blatt von *Iris germanica* habe ich zudem beobachtet, dass die Zellen früher ihr Wachsthum beendigen als die Krystalle, denn in einem gewissen Entwickelungsstadium sind die Krystallzellen bereits völlig oder nahezu ausgewachsen, während die Krystalle noch stark zurückgeblieben sind und durchschnittlich erst etwa die Hälfte ihrer definitiven Länge erreicht haben. Nach den Untersuchungen Zalenski's an *Agave americana* treten die Krystalle in der jungen Blattanlage in Zellen auf, die sich in der Form von den übrigen nicht unterscheiden; während nun mit zunehmendem Alter die anderen Zellen nach Massgabe ihres Längenwachsthums sich durch Querwände theilen und gleichzeitig auch in die Breite wachsen, wachsen die Krystallzellen fast ausschliesslich in die Länge, ohne sich zu theilen; durch diese Umstände wird der zuletzt so bedeutende Formunterschied bedingt. Ebenso verhält es sich nach meinen Beobachtungen bei *Iris germanica*, nur dass mir hier die Krystallzellen von vornherein ein wenig länger und schmäler zu sein scheinen, als die übrigen. Diese Eigenthümlichkeiten der Entwickelung der Krystallzellen hängen nun jedenfalls von nichts Anderem ab, als von den formbildenden Eigenschaften des Protoplasten, und werden von den Krystallen wohl auch nicht einmal in indirecter Weise beeinflusst; deren Anwesenheit könnte ja allenfalls die Quertheilung der Zellen unmöglich machen (obgleich in den Fällen, wo die Krystalle nur einen Bruchtheil der Länge der Zellen einnehmen, auch dies ausgeschlossen ist), das Dickenwachsthum der Zelle können sie aber unmöglich hindern.

Wird nun vielleicht umgekehrt die Form, Zahl, Grösse und Anordnung der Krystalle durch die Form und Grösse der Zellen bedingt? Dies kann nicht unbedingt verneint werden, obwohl bemerkt werden muss, dass die Abhängigkeit jedenfalls nur eine indirecte sein könnte, da sich die ersteren nur sehr annähernd nach den letzteren richten. Auch könnte der Einfluss nur ein beschränkter sein; denn wenn es auch wohl möglich ist, dass die Form der Zelle der Dicken- und Längenzunahme der Krystalle indirecte Grenzen setzt, so kann sie doch schwerlich darauf influiren, ob ein einziger dicker Krystall oder ein ganzes Bündel dünner, ob ein einziger langer oder eine Reihe kurzer Krystalle entstehen sollen. Zufällig sind diese Dinge aber auch nicht, da sie für bestimmte Arten von Krystallzellen durchaus constant sind;

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sie müssen also nothwendig von der Structur und den Eigenschaften der Protoplasten abhängen.

Wir dürfen also wohl schliessen, dass weder die Form der Zellen von derjenigen der Krystalle bedingt wird, noch auch umgekehrt, sondern dass beide die Folgen einer gemeinsamen Ursache, der specifischen Eigenschaften des Protoplasten, sind, welche für jede Art von Krystallzellen von vornherein gegeben sein müssen. Und wir werden schwerlich fehlgehen, wenn wir dasselbe auch für alle anderen Krystallbehälter annehmen.

Es könnte sich weiter noch fragen, ob nicht die Anordnung der Krystalle zu lückenlosen Bündeln etwa erst eine mechanische Folge der postmortalen seitlichen Compression der Zelle ist. Doch wird diese Vermuthung durch die Thatsache widerlegt, dass Krystalle schon in den lebenden, noch gar nicht comprimirten Zellen zu ebenso dichten Bündeln zusammengelagert sind.

Eine entsprechende Vermuthung hegte ich eine Zeit lang bezüglich der einschichtigen Krystallplatten bei *Ophiopogon*, die sich in zu flachen Bändern comprimirten Zellen befinden, so dass die Zellmembran beiderseits der Platte dicht angepresst ist. Diese Vermuthung musste ich aber auch ohne Untersuchung der Entwickelungsgeschichte fallen lassen, als ich fand, dass bei *Liriope* die entsprechenden Zellen oft nur schwach comprimirt sind, so dass die Membran der Krystallplatte nicht anliegt und letztere sich innerhalb der Zelle verschieben kann. Es ist also sicher, dass die Krystalle von vornherein zu einer dünnen Platte sich anordnen können, obgleich die Form der Zelle ihrer Anordnung zu einem Bündel durchaus nicht im Wege steht.

(Fortsetzung folgt).

Sogenannte unsichtbare Rauchbeschädigungen.

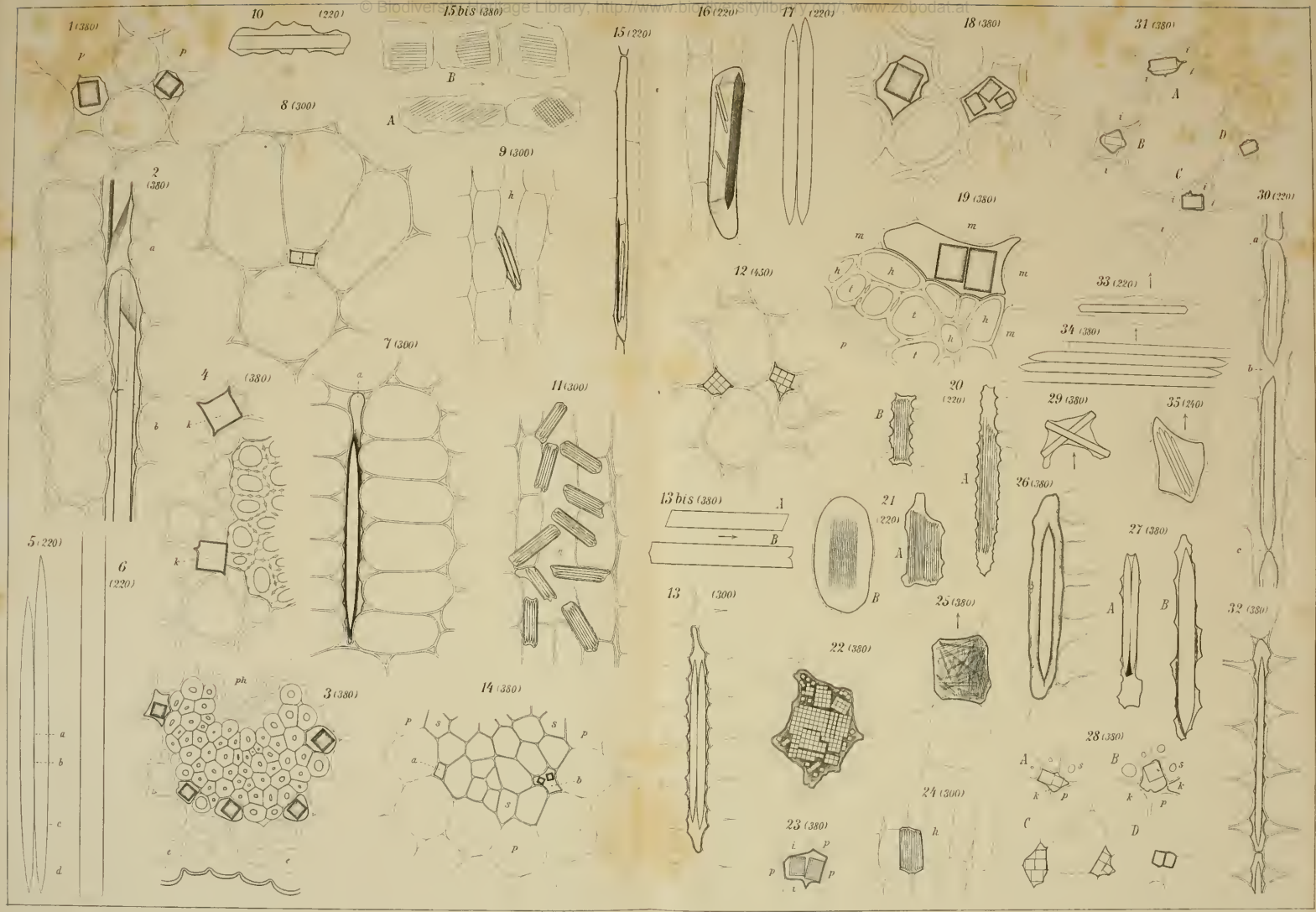
Von

P. Sorauer (Ref.) und **E. Ramann.**

Gemeinsame Beziehungen bei Untersuchungen über Rauchbeschädigungen führten uns zu der Nothwendigkeit, der Frage experimentell näher zu treten, ob geringe Mengen saurer Rauchgase, die vorübergehend jedesmal nur für kurze Zeit die Pflanzen bestreichen, nach längerer Dauer sich in der Beschaffenheit der Pflanze bemerkbar machen, und, falls sich Unterschiede feststellen lassen, inwieweit dieselben bei Begutachtungen über Rauchschäden verwendet werden können.

Die Frage der sogenannten „unsichtbaren" Rauchschäden, d. h. etwaiger nur in der Zuwachsgrösse zum Ausdruck kommender, aber dem blossen Auge nicht wahrnehmbarer Störungen, wird eine dringende, seitdem das Mikroskop bei der Untersuchung zu Hülfe genommen worden ist. Man fängt an, die anatomischen Merkmale zur Diagnose auf Rauchbeschädigungen zu verwenden,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at



Artist Anst. Gebr. Gotthelft, Cassel.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Botanisches Centralblatt

Jahr/Year: 1899

Band/Volume: 80

Autor(en)/Author(s): Zalenski von Wjatscheslaw

Artikel/Article: Ueber eine besondere Kategorie von Krystallbebältern. (Fortsetzung.) 33-50