Ueber farbige körnige Stoffe des Zellinhalts.

Von

Dr. P. Fritsch.

Mit Tafel XI—XIII.

Auf Veranlassung des Herrn Professor Dr. Robert Caspary habe ich im Herbste des Jahres 1881 Pflanzentheile, welche durch farbige, körnige Stoffe des Zellinhaltes, nicht durch Flüssigkeiten, für das blosse Auge gefärbt erscheinen und zwar mit Ausschluss des körnigen Chlorophylls, an Material, das im Königl. botanischen Garten zu Königsberg gezogen, mit einem Mikroskope von Seibert & Kraft in dem Laboratorium des genannten Gartens untersucht, wobei der anatomische Bau dieser Körner, ihr Verhalten den verschiedenen chemischen Reagentien gegenüber einer genaueren Beobachtung unterzogen wurden, ohne dabei aber auf ihre Entwickelung Rücksicht nehmen zu können, weil ich es in der Zeit der Untersuchungen stets mit bereits vollständig ausgebildeten Pflanzentheilen zu thun hatte. Es setzen so meine Beobachtungen in dem Momente ein, wo das Farbkorn sich schon vollständig als solches entwickelt hat.

Von der Untersuchung ausgeschlossen waren sämmtliche grün gefärbte Pflanzentheile, soweit in ihnen die Färbung durch körniges Chlorophyll bedingt wurde. Bei der fleissigen Bearbeitung gerade dieses Farbstoffes, der eine eigene Literatur schon besitzt, hiesse es doch nur schon Bekanntes wiederholen, wollte ich den vielen Untersuchungen und Beobachtungen, die wir über ihn schon besitzen und die eigentlich nichts mehr von ihm unklar lassen, neue hinzufügen.

Ich habe deshalb nur die anderen Pflanzenfarben in den Kreis

meiner Arbeit gezogen und dieselben auch dann nur, wenn sie im Zellsafte sich nicht gelöst, sondern als körnige Stoffe vorfanden.

Was ich an Literatur über diesen Gegenstand gefunden habe, ist ebenso dürftig wie sich oft widersprechend. Was ersteres anbetrifft, so ist dieser Umstand wohl bedingt durch die ungemeine Seltenheit, mit der die Pflanzenfarben als körnige Stoffe und nicht im Zellsafte gelöst sich vorfinden. So habe ich über 200 Pflanzen untersucht, von denen sich ungefähr nur dreissig Farbkörner beobachten liessen, obgleich ich mich nicht, wie Hildebrand, auf die Blüthen allein beschränkt habe.

Dieser sagt[1]): „Die Farben der Pflanzen bieten ein weites, stellenweise sehr schwieriges und vielfach noch wenig bearbeitetes Feld der Untersuchung". Eben dasselbe sagt v. Mohl in der „vegetabilischen Zelle" p. 45: „Ueber die anatomischen Verhältnisse der übrigen (nachdem er das Chlorophyll behandelt) Pflanzenfarben wissen wir noch sehr wenig. Die rothen und blauen Farben sind gewöhnlich im Zellsafte aufgelöst, namentlich der rothe Farbstoff der im Herbste sich roth färbenden Blätter, der meisten Blüthen und der rothen Früchte, sowie der blaue Farbstoff der meisten Blüthen. Nur in sehr seltenen Fällen findet sich der rothe und blaue Farbstoff der Blüthen in Form von Kügelchen, z. B. der rothe bei Salvia splendens, der blaue bei Strelitzia Reginae. Ob hier das Pigment ebenfalls wie das Chlorophyll an einen fremden, ein Kügelchen bildenden Rest gebunden ist, oder für sich allein das Kügelchen bildet, ist unbekannt."

Aehnliches sagt Unger in seiner „Anatomie und Physiologie der Pflanzen", 1855, p. 110, und Schacht in seinem Lehrbuch der „Anatomie und Physiologie der Gewächse", Bd. I, p. 65 und Bd. II, p. 292. Sachs sagt über die Farbkörner ausser dem Chlorophyll so gut wie gar nichts in seinem „Handbuch der Botanik".

Das umfassende Werk des Wiener Professors Dr. Adolf Weiss „Untersuchungen über die Entwickelungsgeschichte des Farbstoffes in Pflanzenzellen", veröffentlicht in den Sitzungsberichten der Akademie, will, wie es sein Titel sagt, eine Entwickelungsgeschichte der verschiedenen Farbkörner geben. Er hätte für Entwickelung besser

1) Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. III, p. 59.

Entstehung oder Bildung sagen können, denn er verfolgt die Farbkörner von ihrem allerersten Bildungszustande bis zu dem Zeitpunkte, wo sie sich als färbende Substanzen geltend machen. Ihre weitere Entwickelung wird gar nicht oder nur sehr flüchtig berührt. Weitaus das grösste Gewicht legt Weiss auf die Entstehung, die er in Parallele mit der der Chlorophyllkörner bringt. Inwieweit ihm dieses gelingt, lasse ich dahingestellt, was er aber von den Umformungen der Farbkörner giebt, weicht oft bedeutend von dem Resultate meiner Untersuchungen ab, wie ich später zeigen werde.

Die Untersuchungen des Herrn Dr. Kraus über die Farbkörner bei Solanum Pseudocapsicum[1]) stimmt dagegen so genau mit den meinigen überein, die ich allerdings an anderen Pflanzen anstellte, dass sie den besten Beweis für die Richtigkeit meiner Beobachtungen liefern, um so mehr, da mir seine Arbeit erst zu Gesichte kam, als ich meine Untersuchungen bereits beendet hatte und so von einer Beeinflussung nicht die Rede sein kann. Auch erscheinen mir seine Erklärungen der irrthümlichen Ansichten anderer Forscher so zutreffend und einzig richtig, dass ich oft nicht Anstand genommen habe, seine Ansichten zu adoptiren, zumal seine Arbeit bis dahin die neueste war, die wir über dieses Thema besitzen.

Ich beginne mit dem nach dem Chlorophyll wohl am meisten in der Pflanzenzelle verbreiteten Farbstoffe, dem Gelb.

Ausgeschlossen von den Untersuchungen, als nicht in den Bereich meiner Arbeit gehörig, waren hier die im Herbste sich gelbfärbenden Laubblätter, deren Farbe (Xanthophyll), zwar auch durch Körner verursacht, nur durch Umwandlung des in ihnen enthaltenen Chlorophylls bedingt wird. Bei allen anderen gelbgefärbten Pflanzentheilen (vorzugweise Blüthen) kommt der gelbe Farbstoff weitaus am häufigsten in der Form von Körnern vor, so namentlich fast bei allen gelbblühenden Compositen. Als Pflanzen, in denen man gelösten gelben Farbstoff beobachten kann, führt[2]) Weiss an ausser der hierfür schon bekannten gelbblühenden Varietät von Dahlia variabilis, Althaea Sieberi, Tagetes-Arten, bei beiden in den Blumenblättern, Antirrhinum majus, Delphinium formosum, Polemonium coeruleum,

1) Jahrb. f. wiss. Bot. VIII, p. 135 ff.
2) Sitzungsb. d. Akad. i. Wien. Math.-Naturw. Cl. 1866, Bd. 54, p. 175.

Linaria bipartita, Cucurbita Pepo, Edwardsia grandiflora, Brachysema acuminata, Pentstemon Cobaea und nitidum, Digitalis lutea; bei diesen in Haarzellen.

Doch lässt es Weiss unentschieden, ob wir in allen diesen Fällen es wirklich mit einer Lösung des Farbstoffes zu thun haben, oder mit unendlich feinen, mit den jetzigen Mikroskopen nicht mehr wahrnehmbaren Körnchen, die in der Zelle dicht gedrängt liegen und so dieselbe gleichmässig, wie mit Saft gefärbt erscheinen lassen.

In weitaus den meisten Fällen tritt nun der Farbstoff in Form von Körnchen auf und zwar nicht nur in der runden Form, wie Hofmeister es angiebt[1]), sondern in den verschiedensten Gestalten. wie ich sogleich zeigen werde.

Bei dem gelben Farbstoffe sind diese Körner nun niemals massive, eigentliche Farbkugeln, sondern sie enthalten in ihrem Innern, wenigstens bei den von mir untersuchten Pflanzen, stets Einschlüsse von einer an sich farblosen Substanz, die durch Jod gebräunt wird, was auch schon Hofmeister beobachtet hat[2]), und die ich daher für Protoplasma halte. Weiss will überall, wie beim Chlorophyll Stärke als Farbstoffträger haben nachweisen können[3]). Auch behauptet er (p. 176), dass diese meistens von runder oder sphäroidaler Gestalt sind und nur selten als spindelförmige, zweispitzige Gestalten auftreten, wie solche beim orangen Farbstoff die häufigsten sind. Nun, wir werden ja sehen, inwieweit Weiss Recht hat.

Ich beginne mit

Impatiens longicornu (Fig. 1—3).

Die Farbe der mattgelben Blüthen wird durch zarte, hellgelbe Körnchen verursacht, die, wie Fig. 1 zeigt, in sehr verschiedener Zahl die sonst nur farblosen Saft enthaltenden Zellen erfüllen. Doch giebt es an einzelnen Stellen, die sich schon äusserlich als rothe Punkte bemerkbar machen, Zellen, die mit einem gelösten rothen Farbstoff gefüllt sind.

---

1) Lehre von der Pflanzenzelle, p. 375.
2) ibi.
3) A. a. O. Bd. 54, p. 176.

Fig. 1. Schon bei 600facher Vergrösserung kann man beobachten, dass die gelben Körnchen keineswegs von gleicher Gestalt sind, und dass sie auch in ihrer Grösse sehr variiren, indem sich solche von unmessbarer Kleinheit neben anderen bis zu 0,0336 mm Durchmesser finden. Erstere zeigen lebhafte Molekularbewegung, die aber schon bei grösseren, solchen von 0,0033 mm Durchmesser, nicht mehr beobachtet werden konnte. Wendet man stärkere Vergrösserung an (ich untersuchte bei 1370facher mittelst Immersion), so kann man leicht die Ungleichheit in der Gestalt der Farbkörner beobachten. Es finden sich einmal vollkommen massive Farbkörner, deren Durchmesser im Mittel 0,0033 mm beträgt; dann treten solche auf, deren Umfang grösser geworden ist dadurch, dass in ihrem Innern ein oder mehrere Hohlräume entstanden sind. Ihr Durchmesser schwankt zwischen 0,0056—0,0336 mm (Fig. 3a und b).

Ist ein Hohlraum vorhanden, so erscheint das Farbkorn ringförmig (Fig. 2). Dass wir es aber auch oft mit mehreren Hohlräumen zu thun haben und nicht mit einem einzigen, der nur an verschiedenen Stellen die äussere Schicht des Farbkorns verzehrt hat, wodurch ja auch ähnliche Formen entstehen könnten, beweisen (Fig. 3c) die abgebildeten Farbkörner. Bei ihnen sieht man, wie an einzelnen Stellen besonders stark gewachsene Hohlräume die äussere Wandung des Farbkorns schon gesprengt haben, während andere, weniger entwickelte noch erhalten sind. Weiter finden wir in den Zellen langgestreckte, stäbchenförmige, gabelförmige oder unregelmässig gestaltete Farbkörner, deren oft höchst bizarre Formen die folgenden Zeichnungen wiedergeben (Fig. 3d).

Endlich finden sich Haufen von unmessbar kleinen, sich lebhaft bewegenden Körnchen (Fig. 2a). Besonders hervorzuheben ist, dass die einzelnen Formen sich nicht auf besondere Zellen oder Zellenschichten irgendwie gesetzmässig vertheilen, wie es Weiss bei Hemerocallis fulva L. angiebt[1]), sondern dass man sie mehr oder weniger häufig in jeder Zelle beobchten kann.

Wie sind nun diese verschiedenen Formen zu erklären?

Dieses ist nicht schwer.

Die ursprünglichste Form der Farbkörner ist die runde, kuglige

1) a. a. O. Bd. 54, I, p. 172.

und massive. Diese Körner zeigen keine Vacuole und sind sehr klein (0,0033 mm im Durchmesser). Allmählich bildet sich in ihnen ein Hohlraum, der, anfangs nur ein Pünktchen, bald grösser wird und das Farbkorn dann bedeutend auftreibt (Fig. 3a), so dass es dann oft wie ein mehr oder weniger verbogener Ring erscheint. In anderen Körnern entstehen zwei, drei und mehr solcher Hohlräume (Fig. 3b), die, ungleichmässig wachsend, zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Stellen das Farbkorn durchbrechen. Platzt nur einer oder auch mehrere, während andere Hohlräume noch ruhig bestehen, so entstehen Formen, wie Fig. 3c sie zeigt. Enthielt das Farbkorn nur einen Hohlraum, so entsteht bei dessen Platzen ein U- oder halbmondförmiges Gebilde (Fig. 2b), das sich allmählich streckt.

Hatten sich mehrere Hohlräume gebildet, so entstehen, wenn alle geplatzt sind, Formen, wie Fig. 3d u. f sie wiedergiebt. Fig. 3e endlich zeigt, wie ein Farbkorn in eine grössere Zahl von kleinen Bruchstücken zerfallen ist, aus deren Lage man die ursprüngliche Form noch deutlich erkennen kann. Dieselben Erscheinungen einer Degradation, wie Kraus diesen Prozess nennt (p. 144), lassen alle Farbkörner nach einiger Zeit beobachten, und so werden die kleinsten, unmessbaren Farbkörnchen erklärt.

Durch Behandeln mit Alkohol oder verdünnter Salpetersäure kann man den Farbstoff selbst entfernen, und es bleiben dann farblose Massen zurück, die durch Jod gebräunt werden. Es scheint also hier der Farbstoffträger Protoplasma zu sein.

Jod in Alkohol gelöst färbt die Farbkörner blaugrün, wobei in einigen durch Kontraktion der Hohlraum verschwindet, indem der Alkohol als wasserentziehendes Reagens wirkt. Concentrirte Schwefelsäure löst sie auf nach vorheriger Blaufärbung, die aber nicht beständig ist: sie geht allmählich in ein schmutziges Graugrün über, und verblasst dann immer mehr.

Kalilauge löst den Farbstoff mit grüner Farbe und Salzsäure färbt ihn nach einiger Zeit hellblau.

Dieselben Verhältnisse finden sich fast ebenso wieder in den Zellen der Blumenblätter von verschiedenen Tropaeolum - Arten (Fig. 4 u. 5).

Tropaeolum majus.

Hier verdanken die mehr oder weniger gelbrothen Blüthen ihre Färbung gelben Farbkörnern und einem braunrothen Safte. Die mannigfachen Schattirungen und die streifige Färbung dieser Blüthen rührt von der verschiedenen Vertheilung der färbenden Elemente her, indem sich Zellen finden, die bei farblosem Safte nur gelbe Farbkörner, neben solchen, die nur gefärbten Saft und solchen, die beides, gefärbten Saft und gelbe Farbkörner enthalten. Diese zeigen dasselbe chemische Verhalten, wie die bei Impatiens longicornu. Salzsäure färbt sie sehr bald hellblau; Salpetersäure und ebenso Alkohol entfärben sie, wonach farblose Körner zurückbleiben, die von Jod gebräunt werden, was auch hier auf einen protoplasmatischen Farbstoffkörper schliessen lässt.

Concentrirte Schwefelsäure lässt die Farbkörner aufquellen und färbt sie wieder dunkelblau, welche Farbe allmählich schmutzig blaugrau wird und endlich verblasst. Jod färbt sie schön grün. Kalilauge scheint nur auf den gelösten braunrothen Farbstoff zu wirken, der durch sie erst grün, dann gelb gefärbt wird, während die gelben Farbkörner nicht bedeutend angegriffen werden. Ihre genaue Beobachtung wurde durch das beständige Trübewerden der Präparate während dieses Prozesses sehr erschwert.

Auch hier zeigen die Farbkörner alle jene Differenzirungen, die ich bei Impatiens longicornu beschrieben habe.

Es kommen massive, kugelige Körner vor, von denen die grössten einen Querdurchmesser von 0,0026 und einen Längendurchmesser von 0,0065 mm zeigen (Fig. 4). Dann lassen sich wieder solche beobachten, die im Innern einen wachsenden Hohlraum (Fig. 5) haben, der aber hier lange nicht die Grösse wie bei Impatiens longic. erreicht. Auch zeigten diese Körner nur je einen solchen Hohlraum, nicht mehrere, wie sie bei der ebengenannten Pflanze zu beobachten waren. Dieses erklärt auch die einfacheren Formen der länglichen Farbkörner. Wird nämlich der Hohlraum so gross, dass er das Korn sprengt, so entstehen zwar auch oft vielfach gewundene und gekrümmte Gestalten, meistens aber einfache U- oder sichelförmige, die sich bald strecken und dann wenig differenzirte Spindeln entstehen lassen, die schliesslich in eine gelbe krümliche Masse zer-

fallen. Doch kann man letztere auch künstlich entstehen lassen, indem man auf die Farbkörner längere Zeit Wasser wirken lässt. Es zerfallen hierbei die rundlichen direkt in diese krümliche Masse, ohne die einzelnen Entwickelungsphasen durchzumachen.

Oenothera biennis (Fig. 6).

In den Zellen der Blüthe bei den verschiedenen Nachtkerzen-Arten sehen wir genau denselben Prozess sich wiederholen.

Auch hier findet sich der gelbe Farbstoff, der die schwefelgelbe Färbung der Blüthen bedingt, im farblosen Zellsafte ungelöst als Körnchen von der verschiedensten Form und Gestalt. Sie liegen in den Zellen in sehr grosser Menge neben einander, so dass oft nur wenig Raum zwischen ihnen übrig bleibt, wodurch die intensivere Färbung der Blumenblätter bedingt wird.

Sie selbst sind sehr klein; im Mittel zeigen sie einen Durchmesser von nur 0,00424 mm. Im Uebrigen wiederholen sich alle Formen wie bei Impat. longic. Es finden sich kleine, rundliche, massive Farbkörner, in denen ein oder auch mehrere Hohlräume ganz wie bei den früher beschriebenen Pflanzen entstehen, die sich vergrössern, dadurch das Farbkorn sprengen und so, wie aus der Zeichnung ersichtlich, eine Menge der verschieden gestaltesten Formen entstehen lassen.

So finden wir einfache Spindeln neben hufeisenförmigen und oft wunderlich gekrümmten Farbkörnern, die allmählich zu unmessbar kleinen Körnchen zerfallen. Ist diese Umwandlung bei allen ursprünglichen Farbkörnern vor sich gegangen, so ist die ganze Zelle mit äusserst kleinen Körnchen erfüllt, die wegen ihrer Menge auf den ersten Blick oft nur wie eine körnigkrümliche, gelbgefärbte Masse erscheinen.

Concentrirte Schwefelsäure löst den Farbstoff auf, indem sie ihn erst blau färbt, dann blaugrün und ihn dann mehr und mehr erblassen macht. Jod färbt die Farbkörner schön blaugrün; Salpetersäure färbt sie auch erst hellblau, ehe sie sie entfärbt. Letzteres thut auch Alkohol, und die entfärbten Körner werden durch Jod gebräunt. Kalte Kalilauge wirkt sehr langsam und wandelt die Farbkörner in kleine gelblich grüne Kugeln um.

Ferner habe ich dieselbe Art von Farbkörnern beobachtet bei

Cerinthe aspera (Fig. 7).

Die Färbung der röhrigen Blumenkrone rührt von gelben Farbkörnern und an der Stelle, wo der rothbraune Streifen sich markirt, von ebenso gefärbtem Safte her. Von den schwefelgelben Farbkörnern lässt sich wieder als ursprüngliche Form die kuglige und massive beobachten, in denen sich nach einiger Zeit ein oder auch mehrere Hohlräume bilden, durch deren allmähliches Grösserwerden das Farbkorn erst aufquillt und dann gesprengt wird.

Da hier in einem Korn mehrere Hohlräume entstehen, so werden durch ihr Platzen die eigenthümlich ausgebuchteten Gestalten erklärt, die sich so oft in den Zellen beobachten lassen. In den so entstandenen länglichen Formen bilden sich wieder neue Hohlräume, deren Weiterentwickelung eine weitere Differenzirung der einzelnen Farbkörner bedingt, bis auch hier wieder unmessbar kleine, in starker Molekularbewegung begriffene Körnchen resultiren. Das chemische Verhalten der Farbkörner bei Cerinthe asp. ist dasselbe, wie bei denjenigen der vorerwähnten Pflanzen. Jod färbt sie wieder blaugrün. Auf Zusatz von concentrirter Schwefelsäure werden die Körner erst grün[1]), dann blau, welche Farbe allmählich immer mehr erblasst. Salzsäure bewirkt eine hellblaue Färbung der Körner. Nach ihrer Entfärbung mit Alkohol wurde die restirende farblose Masse schwach gelblichbraun bei der Einwirkung von Jod. Hierbei ist zu erwähnen, dass bei dem Behandeln mit Alkohol eine solche Kontraktion des Zellinhaltes erfolgte, dass in ihm die respectiven Farbstoffträger sich nur äusserst schwer erkennen liessen.

Wenngleich es hierdurch etwas zweifelhaft war, ob die Farbkörner wirklich einen protoplasmatischen Farbstoffträger besitzen, oder ob die Jodreaction bedingt wird durch freies Protoplasma, d. h. solches, das nicht an der Bildung der Farbkörner theilnimmt, so spricht doch die ganze Analogie dieser Farbkörner mit denen bei Impatiens longic., Tropaeolum, Oenothera dafür, dass wir es auch

1) Dieses Grün ist wahrscheinlich nur ein Gemenge von unangegriffenem Farbstoff, also gelbem und solchem, der unter der Einwirkung der Schwefelsäure schon gebläut ist.

hier mit einem protoplasmatischen Farbstoffträger, wie er bei jenen deutlich zu beobachten war, und wie es für Tropaeolum majus auch Hofmeister angiebt[1]), zu thun haben. Wie Weiss behaupten kann, als Träger des Farbstoffes stets, wie bei dem Chlorophyll, Stärke gefunden zu haben, ist mir unerklärlich, es müsste denn sein, dass der Farbstoffträger nach aussen hin aus Protoplasma besteht, während sich im Innern, von diesem vollkommen eingehüllt, Stärke findet, was allerdings mit seiner Ansicht von der Stärkebildung übereinstimmen würde. Ich werde weiter unten auf diesen Punkt noch einmal zu sprechen kommen.

Dass von ihm aber die von mir beobachteten Differenzirungen des Farbkorns vollständig übersehen worden sind, nimmt sehr Wunder bei seiner sonst äusserst sorgfältigen Beobachtungsweise und lässt sich nur damit erklären, dass Weiss den Schwerpunkt seiner Untersuchungen in die Entstehungsweise der Farbkörner verlegt, die allerdings damit, dass letztere als färbende Elemente sich manifestiren, beendet ist. Die hierauf folgenden Prozesse, lediglich eine Degradation der entwickelten Farbkörner, waren für ihn, als ausserhalb des Bereiches seiner Forschung liegend, von geringer Bedeutung, daher seine Gleichgültigkeit diesen höchst merkwürdigen Umformungserscheinungen gegenüber, die ihm keineswegs aber vollständig unbekannt waren[3]).

Ich wende mich jetzt zu einer Reihe von Pflanzen, deren Blüthenfarbe zwar auch von gelben Farbkörnern verursacht wird, bei denen aber andere Degradationsprozesse zu beobachten sind, als wir sie bisher kennen gelernt haben.

Calendula officinalis (Fig. 8—9).

In den Zellen der Randblüthen finden sich gelbe Farbkörner in lebhafter Molekularbewegung; ihre Zahl ist in den einzelnen Zellen sehr verschieden. Oft liegen sie dicht gedrängt neben einander, so dass die Zelle scheinbar nur von einer krümlichen Masse gefüllt ist, daneben finden sich aber auch solche Zellen, in deren farblosem

1) Behre von der Pflanzenzelle p. 378.
2) a. a. O. Bd. 54 p. 159 ff.
3) a. a. O. Bd. 54 p. 168 u. 175.

Safte einige wenige Farbkörner vorhanden sind, so dass man ihre Umformungserscheinungen sehr gut beobachten kann.

Bei 1370facher Vergrösserung kann man zunächst wahrnehmen, dass die Farbkörner sehr verschieden gross sind. Es finden sich solche von unmessbarer Kleinheit neben anderen, deren Durchmesser zwischen 0,00112—0,0039 mm schwankt.

Betrachten wir diese genauer, so finden wir einmal runde, massive Farbkörner (Fig. 9a), an denen Details nicht zu beobachten sind. Ihr Durchmesser ist im Mittel 0,00112 mm. Diese Körner wachsen allmählich, wobei man dann sich ihren Rand von der helleren Mitte ringförmig abheben sieht, indem sich in ihrem Innern ein Hohlraum bildet (Fig. 9b). In diesem Stadium ist ihr mittlerer Durchmesser 0,0028 mm. Dieser Hohlraum führt nun aber kein Zerplatzen der ganzen Kugel herbei, sondern letztere treibt sich allmählich von innen nach aussen in kleine Kügelchen, wobei sich ihr Volumen beständig vergrössert, bis der Durchmesser eine Grösse von 0,0039 mm erreicht (Fig. 9c). An dieser Differenzirung nimmt auch die Peripherie theil, so dass das ganze Farbkorn schliesslich ein feinkörniges Ansehen erhält. Nach einiger Zeit trennen sich die neuen kleinen Kügelchen (Fig. 9d) allmählich von einander, doch so, dass man nach einiger Zeit aus ihrer Lage die Form des ursprünglichen Korns noch erkennen kann (Fig. 9e). Dann vertheilen sie sich allmählich in der ganzen Zelle.

Concentrirte Schwefelsäure wirkt ganz eigenthümlich auf diese Farbkörner. Sowie sie nämlich an die Zelle herantritt, hört die Molekularbewegung auf, die einzelnen Körner werden tropfenförmig, fliessen dann zu einer dicklichen, gelben Flüssigkeit zusammen, die bald grün und dann blau wird. Auch Kalilauge führt sie in orangerothe Tropfen über. Alkohol und auch conc. Salzsäure lösen sie auf, letzte mit grüner Farbe, indem die Körner erst wieder gelbe Tropfen bilden, die mit grüner Farbe gelöst werden. Salpetersäure wirkt ähnlich wie Schwefelsäure.

Genau dieselben Verhältnisse treffen wir wieder an bei verschiedenen Tagetes-Arten, von denen als Repräsentant gelten mag

Tagetes glandulifera (Fig. 10).

Die Zellen der Blumenblätter enthielten bei den von mir unter-

suchten Arten von Tagetes farblosen Saft, und, wie es schon Weiss angiebt[1]), goldgelbe bis gelbbraune Farbkörner.

Den violetten Zellsaft, den er in den Nagelparticen der Blumenblätter noch gefunden hat bei Arten, die er allerdings nicht nennt, habe ich nicht vorfinden können.

Die Farbkörner zeigen nun trotz ihrer oft beträchtlichen Abweichung in der Farbe gleiche chemische und physiologische Eigenschaften.

Sehr erschwert wurde die Untersuchung durch die stark papillöse Beschaffenheit der Zellen.

Die Farbkörner selbst sind sehr klein und in beständiger Molekularbewegung; es zeigen die grössten von ihnen im Mittel nur einen Durchmesser von 0,0026 mm[2]). Sie zeigen, wie bei Calendula officinalis, wieder vier Stadien des Zerfalles, indem runde, massive Körner vorkommen, an denen besondere Einzelheiten nicht zu beobachten sind. Doch bildet sich in ihnen nach einiger Zeit ein Hohlraum, der sich, wenn er eine bestimmte Grösse erreicht hat, wobei natürlich der Umfang des ganzen Kornes ein grösserer geworden ist, allmählich mit äusserst kleinen Körnchen füllt, oft bis zu zwölf Stück und mehr. Diese sind oft ziemlich deutlich wahrzunehmen und zeigen dann lebhafte Molekularbewegung. Sie mögen verursacht haben, dass das ganze Farbkorn dem Herrn Weiss als gekörnt erschienen ist.

Der Prozess ist also hier genau derselbe, wie bei Calendula officinalis. Nachdem das Korn in lauter kleinste Körnchen sich getheilt hat, trennen sich diese und vertheilen sich nach einiger Zeit in der ganzen Zelle.

Auf Zusatz von concentrirter Schwefelsäure zog sich zunächst das Protoplasma mit den in ihm eingebetteten Körnern zusammen. Diese wurden zu einer formlosen, braunen Masse umgewandelt, die sich bald in eine blaue, zähfliessende Flüssigkeit auflöste; diese trat aus den Zellen heraus, in denen eine grünblaue, krümliche Masse zurückblieb.

---

1) a. a. O. Bd. 54, I, p. 159.

2) Weiss giebt die Grösse der Durchmesser bei Tagetesfarbkörnern auf 0,0018—0,005 mm an (p. 149).

Jod färbte die Farbkörner grün[1]); Salpetersäure entfärbte sie und Kalilauge löste sie zu einem gelbgrünen Safte auf. Nach der Entfärbung mit Alkohol blieben farblose Kügelchen zurück, die von Jod gebräunt wurden. Wir haben es also auch hier mit einem stickstoffhaltigen (protoplasmatischen) Farbstoffträger zu thun.

Etwas anders gestalten sich die Verhältnisse bei den nun folgenden vier Pflanzen, bei denen eine genauere Untersuchung durch verschiedene sich geltendmachende und bei den einzelnen Pflanzen zu erwähnende Schwierigkeiten zum Theil ganz unmöglich gemacht wurde.

Viola tricolor (Fig. 11).

Die blaue Färbung der Blumenblätter wird hier durch einen im Zellsafte gelösten blauen Farbstoff bedingt. Nur am Grunde des untersten Blumenblattes findet sich ein hochgelber Fleck, und hier können wir gelbe Farbkörner beobachten, die im farblosen Zellsafte in sehr verschiedener Menge die einzelnen Zellen erfüllen. Von diesen enthalten einige nur wenige Farbkörner, andere sind von ihnen ganz erfüllt, so dass es schwer fällt, ein einzelnes Korn herauszufinden. Ein grosser Uebelstand hierbei ist, dass an dieser Stelle die Zellen so stark papillös sind, dass es schwer fällt, einen brauchbaren Schnitt zu erhalten. Ihrem chemischen Verhalten nach schliessen sich diese gelben Farbkörner denen der vorher besprochenen Pflanzen in etwas an.

Concentrirte Kalilauge lässt sie allmählich verschwinden, wobei in gleichem Masse statt ihrer und aus ihnen entstanden gelbe Oeltropfen sich bilden, d. h. Tropfen, die sich von dem Zellsafte absondern, sich nicht mit diesem mischen, sich also ganz wie Oeltropfen in Wasser verhalten.

Schwefelsäure bewirkt eine grüne Färbung des ganzen Zellinhalts, in der die meisten Farbkörner verschwinden; einige werden blau. Sowie Jodlösung in die Zelle drang, ballte sich das Protoplasma mit den Farbkörnern zu einer braunen Masse zusammen.

Im Uebrigen sind diese Körner kugelrund und sehr klein. Doch lassen sie auch eine Umformung beobachten. Es bildet sich wieder

1) cfr. Weiss, Bd. 54, I, p. 168.

im Innern des Farbkorns ein Hohlraum, der sich vergrössert und an der dünnsten Stelle das Farbkorn schliesslich durchbricht. Es entstehen so U-förmige Gestalten, die sich etwas strecken.

Wenn nun auch hier keine eigentlichen Spindeln zu beobachten waren, was wohl nur die papillöse Beschaffenheit der Zellen verhinderte, so zweifle ich nicht daran, dass sich solche doch vorfinden, wahrscheinlich in solchen Zellen, in denen die in geringer Anzahl vorhandenen Farbkörner sich nicht gegenseitig behindern.

Bei

Rudbeckia laciniata

ist Aehnliches der Fall.

Bei dieser Composite rührt die gelbe Farbe der Randblüthen von gelben Farbkörnern her, die bei farblosem Zellsafte mehr oder weniger dicht die Zellen erfüllen.

Alle Farbkörner befinden sich in starker Molekularbewegung. Auch sind sie ausserordentlich klein, lassen dabei aber doch einen Unterschied von grösseren und kleineren erkennen.

Die Farbkörner zeigen oft einen Hohlraum in der Mitte, der sich auch vergrössert. Zuweilen ist er nicht gut sichtbar und es hebt sich dann nur der Rand ringförmig von der weniger intensiv gefärbten Mitte des Farbkorns ab. In ihr sieht man dann häufig Punkte sich äusserst lebhaft bewegen.

Ob wir es hier mit Verhältnissen, wie bei Calend. offic., zu thun haben, oder nur mit solchen, wie bei Viola, konnte nicht ermittelt werden. Für ersteres spricht. dass neben diesen grossen Farbkörnern eine grosse Menge unmessbar kleinster Körnchen zu beobachten sind, deren Molekularbewegung in ein wahrhaft tolles Gewimmel ausartet. Doch konnten die Uebergangsformen nicht festgestellt werden.

Die Wirkung der alkoholischen Jodlösung liess sich nicht feststellen, da der ganze Schnitt braungefärbt wurde, so dass Einzelheiten nicht beobachtet werden konnten.

Concentrirte Schwefelsäure färbt die Farbkörner erst grün, dann blau, wobei sie aufquellen und dann verzehrt werden. Salzsäure färbt sie grün; Kalilauge bewirkt in ihnen keine Veränderung.

Ob der Farstoffträger hier Protoplasma ist, lasse ich dahin-

gestellt, da nach dem Entfärben mit Alkohol Jodlösung den ganzen Schnitt wieder braun färbte und zwar so intensiv, dass man die Körner aus dem Auge verlor.

Noch weniger befriegend sind die Beobachtungen bei

Digitalis ambigua Murr.

Hier finden sich in den Zellen der Blüthen Farbkörner von äusserst schwach gelber Farbe, die bei starker Vergrösserung so verschwinden, dass nähere Einzelheiten an ihnen nicht erkannt werden konnten, obgleich die grössten unter ihnen einen Durchmesser von 0,00448 mm zeigten. Ein Versuch, sie mit Anilinblau zu färben und sie deutlicher werden zu lassen, misslang vollständig.

Bei 1370facher Vergrösserung konnte man in einigen sich bewegende Punkte beobachten, was auf ähnliche Verhältnisse wie bei Calend. offic. schliessen lässt.

Concentrirte Schwefelsäure färbt die Farbkörner erst grün, dann blau und löst sie dann auf. Alkoholische Jodlösung färbt sie blaugrün; die mit Alkohol entfärbten Körner werden durch Jod nicht gefärbt. Kalte Kalilauge wirkt gar nicht, heisse führt den Farbstoff in gelbe Tropfen über.

Als noch hierher gehörig führe ich weiter an

Salpiglossis variabilis (Fig. 12—13).

Die blauen Blüthen enthalten in der Epidermis Zellen mit blauem Safte und eingestreuten gelben Körnern; darunter aber findet sich eine Schicht, in deren Zellen nur die Farbkörner allein vorkommen. Hier sind sie so klein und liegen so dicht gedrängt, dass eine genauere Untersuchung nicht möglich war; in den oberen Schichten, wo sie weniger dicht gelagert, hindert dieselbe wieder der blaue Saft.

Auf diesen wirken übrigens die Mineralsäuren ganz eigenthümlich. Zieht man nämlich die Blüthen mit Alkohol aus und setzt zu diesem Extrakt einen Tropfen einer dieser Säuren, so tritt selbst bei starker Verdünnung eine prachtvolle rosa Färbung ein, während Alkalien ihn grün färben. An Alkohol geben die Farbkörner den Farbstoff ab und es bleiben farblose Kugeln zurück, die sich durch Jodreaktion als Protoplasma zu erkennen geben.

Salzsäure färbt die Körner braungelb; Salpetersäure entfärbt sie, concentrirte Schwefelsäure löst sie auf unter Blaufärbung; Jod färbt sie grün und Kalilauge löst sie auf.

Hiermit enden meine Untersuchungen des gelben Farbstoffes, und fasse ich, bevor ich zu einem anderen übergebe, das Resultat derselben noch kurz zusammen:

Die gelben Farbkörner zeigen bei allen untersuchten Pflanzen in ihrem Verhalten den meisten chemischen Reagentien gegenüber sehr viel Aehnlichkeit mit einander. Bei allen Pflanzen färbt Jod die Farbkörner grün; concentrirte Schwefelsäure löst sie auf, wobei der Farbstoff in ein mehr oder weniger tiefes Blau übergeht. Salpetersäure zerstört den Farbstoff und entfärbt so die Farbkörner (bei Oenothera biennis wurden die Körner vor dem Erblassen hellblau, eine Reaktion, die bei den übrigen Pflanzen nicht beobachtet werden konnte). Verschieden wirkte Salzsäure; so werden bei Cerinthe aspera, Impatiens longicornu und Tropaeolum majus die Farbkörner, die auch physiologisch unter sich grösste Aehnlichkeit haben, gleichmässig hellblau gefärbt.

Bei anderen Pflanzen dagegen, wie Calendula offic., Tagetes glandulif., deren Farbkörner gleiche Umänderungserscheinungen beobachten lassen, wirkt Salzsäure lösend, wobei der Farbstoff in Grün umgewandelt wird.

Am wenigsten wirkte diese Säure bei Salpiglossis variab., wo die gelben Farbkörner nur dunkler, braungelb gefärbt wurden, ohne dass weitere Erscheinungen beobachtet werden konnten.

Stets nimmt Alkohol den Farbstoff auf, wonach der Träger desselben als farbloses Kügelchen meistens zurückblieb, wenn nicht sekundäre Erscheinungen, wie bei Rudbeckia, seine Beobachtung verhinderten. In den Fällen aber, in denen der Farbstoffträger, der nur selten fehlt, für sich gewonnen werden konnte, erwies er sich durch Jodreaktion als Protoplasma, mit Ausnahme von Digitalis ambig., wo derselbe durch Jod nicht gebräunt wurde. Stärke konnte niemals nachgewiesen werden, was, wie schon erwähnt, für einzelne Fälle auch von Hofmeister bestätigt wird.

Das Grünwerden der Farbkörner bei der Einwirkung von Jodlösung hat Weiss auch an vielen Pflanzen beobachtet, wie z. B.

bei Lilium bulbiferum, Gaillardia aristata, Gazania splendens, Tagetes erecta u. a. m.

Eine ähnliche Schwefelsäurereaktion, d. h. ein Blauwerden des Farbstoffes beim Behandeln mit Schwefelsäure, was ich bei allen Pflanzen beobachten konnte, fand de Bary[1]) bei Uredineen und Coeman bei Pilobolus, dann aber auch Clamor Marquart bei gelben Blüthen, deren Farbstoff er Anthoxantin nennt[2]).

Dagegen hat, was den Farbstoffträger anbetrifft, Weiss, meiner und auch Hofmeister's Beobachtung entgegen, in den meisten Fällen Stärke allein, oder Protoplasma und Stärke als solchen vorgefunden, wobei im letzteren Falle das centrale Stärkekorn von einer peripherischen Protoplasmaschicht umgeben sein soll. Um also das erstere nachweisen zu können, hat er, so oft er als Farbstoffträger eine von Jod gebräunte Masse vorgefunden hatte, diese mit Kali gekocht, wobei das Protoplasma zerstört und das Stärkekorn blosgelegt werden soll. Auf diese Art ist es ihm vielfach gelungen, nach dem Kochen mit Kali durch Jodreaktion auch da Stärke nachzuweisen, wo er zuerst nur Protoplasma gefunden hat (p. 177).

Es ist nun aber bekannt, dass Kali den lebhaftesten Anthei an der Stärkebildung in der Pflanzenzelle hat, so zwar, dass ohne Kali keine Stärke entsteht, ja dass die bei kalihaltiger Nahrung schon entstandene Stärke bei später eintretendem Kalimangel wieder verschwindet.

Wie aber und auf welche Weise Kali so die Bildung der, Stärke herbeiführen kann, ist bis jetzt noch nicht möglich gewesen zu erklären.

Eine Ausnahme macht allein von allen Kalisalzen das Chlorkalium, das, als Ernährungsflüssigkeit zugesetzt, eine Fortführung der fertigen Stärke bedingt. Doch auch diese Ausnahme lässt sich erklären; denn dieser Prozess führt zu der Annahme, dass in der der Pflanzenzelle eine Zersetzung des Chlorkalis erfolgt, wobei freie Salzsäure entsteht, die nun, wie thatsächlich erwiesen worden ist, die Stärke in lösliche, diffusionsfähige Stoffe überführt[3]).

---

1) De Bary: Morph. u. Physiol. d. Pilze, 1866, p. 11.
2) Sitzungsb. d. Akad. in Wien, Bd. 50, I, p. 6 Anmerk.
3) cfr. Zeitschrift d. Landwirthsch. Versuchsstation, Bd. 13 p. 386 u. Bd. 7 p. 371

Da nun aber so die lebhafte Betheiligung des Kalis an der Stärkebildung konstatirt worden ist, so ist die Möglichkeit keineswegs ausgeschlossen, dass durch das Kochen mit Kalilauge, wie Weiss es stets angewandt hat, ein Theil des den Farbstoffträger bildenden Protoplasmas in Stärke umgewandelt und so die blaue Jodreaktion bedingt wird.

Darauf bezügliche Versuche konnte ich leider nicht mehr anstellen, behalte sie mir aber für spätere Zeiten vor.

Heute kann ich nur, gestützt auf meine und Hofmeisters Beobachtungen, behaupten, dass der Farbstoffträger in den meisten Fällen eine durch Jod sich braunfärbende Substanz, Protoplasma, ist.

Ich wende mich jetzt zu einem anderen Farbstoffe, dem Orange, den ich ungelöst bei einer ganzen Reihe von Pflanzen zu beobachten Gelegenheit hatte.

Ich beginne als Repräsentant der meisten Rosa-Arten mit

Rosa canina.

Es scheinen bei allen (Fig. 14—16) Rosa-Arten die Färbungsverhältnisse dieselben zu sein.

Die Früchte dieser Pflanzen sind rothgefärbt, welche Färbung durch Saft und durch orangegelbe Körner bedingt wird.

Unter der Cuticula findet sich nämlich eine Schicht von Zellen, die nur einen rosa Saft enthalten (Fig. 14). Diese Zellen sind flach (Fig. 15) tafelförmig und enthalten ausser dem gelösten Farbstoff nur noch Zellkerne, farblose Gebilde. Unter dieser Schicht finden sich grössere, weniger flache Zellen, die tief goldgelbe Farbkörner in verschiedener Menge enthalten. Diese sind massive, kugelförmige Gebilde von 0,00486 mm Durchmesser im Mittel (Fig. 16).

Auch sie sind keine soliden Farbkugeln, sondern bestehen aus einem protoplasmatischen Farbstoffträger, der von dem Pigmente infiltrirt ist; denn beim Behandeln mit Alkohol wird dieses gelöst und es bleiben farblose Körner zurück, die sich zuweilen zu krümlichen Massen zusammenballen, wahrscheinlich in Folge einer Kontraktion des gesammten Zellinhalts, auf den der Alkohol als wasserentziehendes Reagenz wirkt.

Jod färbt, wie schon erwähnt, die farblosen Kügelchen braun, Salpetersäure leicht gelblich.

Concentrirte Schwefelsäure verwandelt die orangegelben Farbkörner zuerst zu einer intensiv königsblaugefärbten Masse, die später verzehrt wird. Jod färbt sie grün; Salpetersäure entfärbt sie, während Salzsäure und kalte Kalilauge gar nicht auf sie einwirken. Kochende Kalilauge dagegen verwandelt sie in eine bräunliche Masse, die zum Theil verzehrt wird.

Wir sehen also, dass hier die Verhältnisse ziemlich einfache sind.

Anders ist es der Fall bei

Pirus aucuparia.

In den Früchten dieser Pomacee waren schon lange orangegelbe Farbkörner bekannt, ohne dass aber ihre höchst komplizirte Differenzirung jemals auch nur angedeutet worden wäre.

Es sind hier wieder die obersten Zellenlagen mit rosa Saft gefüllt, doch kommen daneben in denselben Zellen (Fig. 17) auch schon orangefarbene Farbkörner vor.

Weiss, der Aehnliches in den rothgefärbten Theilen der Korolle bei Tydaea hybr. gigantea beobachtet hat, erklärt diesen Fall als zu den Seltenheiten gehörig [1]).

Darunter finden sich Zellen, die bei farblosem Zellsafte eine grosse Menge orangefarbener Körner (Fig. 18) enthalten. Diese unterscheiden sich von den in den peripherischen Zellenlagen vorkommenden durch ihre längliche, sehr oft zwei-, drei- und mehrspitzige Form, während jene mehr rundlicher Gestalt sind.

Der Zusammenhang beider Formen ist nach den weiter oben beschriebenen Umformungserscheinungen der gelben Farbkörner nicht mehr zweifelhaft, zumal sich alle Uebergangsformen vom massiven Farbkorn bis zur vielspitzigen Spindel beobachten lassen.

Ich habe die Früchte von Pirus aucuparia zweimal untersucht; das erste Mal, als sie eben reif geworden, das zweite Mal, als sie, überreif, nur noch lose am Stiele sassen. Schon beim ersten Male konnte ich die Umformung der rundlichen Farbkörner in Spindeln beobachten, von deren weiterer Differenzirung dagegen noch nichts konstatirt werden konnte, wie solches das zweite Mal möglich war.

---

1) a. a. O. Bd. 54, I, p. 178.

Dieser Prozess verläuft folgendermassen:

In rundlichen, massiven Farbkörnern (Fig. 17) von verschiedener Grösse (im Mittel zeigten die grösseren einen Durchmesser von 0,004 mm), entsteht ein Hohlraum, dieser wächst und treibt dabei das Farbkorn auf (Fig. 19a), bis es an der dünnsten Stelle gesprengt wird. Es entstehen so U- oder halbmond- oder sichelförmige Gebilde (Fig. 19b), die zuweilen auch S- oder schleifenförmig geschwungen erscheinen.

Nun strecken sich diese allmählich und es entstehen so mehr oder weniger gekrümmte Spindeln, die im Mittel eine Länge von 0,013 mm und eine Breite von 0,0013 mm besitzen (Fig. 19c).

Soweit liessen sich diese Vorgänge auch schon bei gerade reif gewordenen Früchten beobachten, die weiteren Differenzirungen aber nicht.

In den Spindeln nämlich bildet sich jetzt wieder ein Hohlraum, der, sich der Form derselben anpassend, eine längliche Gestalt zeigt (Fig. 19d). Dieser vergrössert sich nach dem einen Ende der Farbspindel zu, die endlich durch ihn zerspalten wird (Fig. 19e). Doch können auch mehrere solcher Hohlräume in einer Spindel entstehen, welche Formen, wie Fig. 19g, h sie zeigt, verursachen. Jetzt differenziren sich die Farbkörner nicht mehr gleichermassen, sondern bei den einen, denjenigen, die eine verästelte Gestalt zeigen, entstehen in den einzelnen Spitzen längliche Hohlräume, die, nach einem oder dem andern Ende vorschreitend, wachsen und so den Ast wieder theilen (Fig. 19k). Ich beobachtete so auf diese Art entstandene Farbkörner, die auf einer Seite mit nur einer Spitze, dem einen Ende der ursprünglichen Spindel endend, auf der anderen in vierzehn Spitzen ausliefen, von denen wieder einige noch längliche Hohlräume erkennen liessen.

Bei denjenigen Farbstoffgebilden, die an einem Ende zerspalten, also dreistrahlig sind (Fig. 19e), divergiren die durch Theilung einer Spindelspitze entstandenen Aeste allmählich, wobei sich ihre Länge beständig auf Kosten des dritten vergrössert; es wird so das Farbkorn gewissermassen in zwei Theile zerrissen, die sich trennen und so zwei Spindeln bilden, deren Länge mit der der Mutterspindel übereinstimmt (Fig. 19f).

Bei anderen dreispitzigen Farbkörpern entsteht (Fig. 19i) im

Mittelpunkte, von wo die drei Spitzen ausstrahlen, ein dreieckiger Hohlraum. Dieser vergrössert sich mehr und mehr (Fig. 19 l), sprengt das Korn und wird so die Ursache einer Menge höchst bizarrer Formen (Fig. 19 m).

Hervorzuheben ist noch, dass gar nicht selten die Farbspindeln dem Zellkern eingelagert sind, oder dass sie mit einem Ende an ihm hängen. Auch finden sich Klumpen einer farblosen, durch Jod sich bräunenden Masse (Protoplasma), bei welcher dasselbe der Fall ist.

Die Länge der Spindeln ist ziemlich beträchtlich, 0,033 mm im Mittel.

In chemischer Beziehung zeigen diese Farbkörner grosse Aehnlichkeit mit den früher besprochenen gelben. Concentrirte Schwefelsäure, die den rothen Saft intensiver blauroth erscheinen lässt, färbt die Farbkörner erst braun, dann tief indigoblau und verzehrt sie dann. Salzsäure färbt sie erst hellgrün, dann blaugrün und endlich rein blau, doch ist diese Farbe heller, als die durch Schwefelsäure erzeugte. Dieser Uebergang von Hellgrün zu Blau ist leicht durch die allmähliche Einwirkung der Salzsäure auf den Farbstoff zu erklären; diese färbt ihn blau, welche Farbe sich mit dem ursprünglichen orangegelben Farbstoff erst zu einem Hellgrün, dann Blaugrün zusammensetzt, bis schliesslich aller Farbstoff in Blau übergeführt worden ist.

Jod färbt die jungen Farbkörner schmutzig graugrün, die älteren schön dunkelgrün. Salpetersäure bewirkt Entfärbung; ob sie die Körner vollständig verzehrte, war nicht ersichtlich, da der ganze Zellinhalt gelblichgrün gefärbt und undurchsichtig wurde

Durch Zerreissen der Zellen blosgelegte Körner hinterliessen einen farblosen, krümlichen Rückstand, der durch Jod nicht gefärbt wurde.

Auch kochender Alkohol verzehrte zum grössten Theil die Farbkörner, deren Farbstoffträger auch hier von Jod nicht verändert wurde.

Kochende Kalilauge (kalte wirkte gar nicht) verwandelte die Körner in runde Kügelchen, wobei der Zellinhalt gleichzeitig rothbraun und undurchsichtig wurde.

Dieselben Verhältnisse treffen wir auch bei

Pirus Hostii.

Ich fand hier ebenfalls in der Epidermis rothen Saft und orangegelbe Körner, die in den mehr centralen Zellen allein vorkommen. In ihrer Grösse und Form stimmen sie mit denen vollständig überein, die ich in den eben reifgewordenen Früchten von Pirus aucuparia vorfand.

Ob auch hier eine weitergehende Differenzirung eintritt, muss ich leider dahingestellt sein lassen, da es mir an dem geeigneten Material fehlte. Doch zweifle ich keineswegs daran, zumal Schwefelsäure, Salzsäure, überhaupt alle chemischen Reagentien dieselben Erscheinungen hervorrufen wie bei Pirus aucup. Hervorheben will ich deshalb nur, dass es auch hier nicht gelang, den Farbstoffträger zu erkennen. Er war auch hier eine farblose körnige Masse, auf die Jod nicht färbend einwirkte.

Schon mehr röthlicher erscheinen die Farbkörner bei

Evonymus latifolius (Fig. 20, 21).

Es liegen hier die Samen eingebettet in einem hochrothen Arillus, dessen Farbe durch orangerothe Farbkörner bedingt wird, die in sehr verschiedener Anzahl hier die Zellen erfüllen. Auch bei dieser Pflanze unterscheiden sich die Farbkörner der verschiedenen Zellen je nach der Lage derselben, indem nämlich die peripherischen Zelllagen des Arillus, als die jüngeren, mehr rundliche Farbkörner enthalten, während dagegen in den centralen Schichten solche von länglicher, spindelförmiger Gestalt überwiegen.

Bei den ersteren lassen sich wieder derbe, massive Farbkörner von solchen mit einem Hohlraume unterscheiden. Seltener sind zwei solcher Vakuolen zu beobachten, doch kommt das auch vor. Der oder die Hohlräume wachsen und sprengen das Korn an einer Stelle, wodurch U- und halbmondförmige Farbkörner entstehen. Diese strecken sich allmählich mehr und mehr und werden so zu länglichen, an beiden Enden spitz zulaufenden Spindeln.

Zuweilen wächst der Hohlraum dermassen nach zwei Seiten hin, dass er das Korn in zwei Theile zerspaltet, die auch spindelförmig, aber nur halb so lang wie die ersteren sind.

Endlich finden sich noch Haufen kleinster Farbkörner, Bildungen des Zerfalles der Farbspindeln, die sich durch den Zerfall der letzteren gebildet haben.

Im Ganzen sind die Farbkörner nicht sehr gross. Die längsten Spindeln zeigen 0,00616 mm Länge bei 0,0017 mm Breite.

Ausser diesen färbenden Elementen finden sich in den Zellen eine grosse Menge farbloser Oeltropfen, die eine eigenthümliche Erscheinung beobachten lassen. Entfärbt man nämlich die Farbkörner mit Alkohol, so nehmen die Oeltropfen den gelösten gelben Farbstoff auf; je mehr die Farbkörner erblassen, um so intensiver färben sie sich gelb.

Die Farbkörner selbst verlieren hierbei ihre längliche Gestalt, sie werden rundlich und nehmen zunächst eine dunklere, braunrothe Färbung an, die aber allmählich erblasst und endlich ganz verschwindet. Hierbei werden die Umrisse der Körner selbst immer undeutlicher, so dass schliesslich nicht mehr mit Bestimmtheit behauptet werden kann, ob diese vollständig verzehrt werden. Es wurde daher dieser Versuch an durch Zerreissen von Zellen freigemachten und blossgelegten Farbkörnern wiederholt. Auch diese wurden immer undeutlicher, doch konnte man, wenn auch nur mit Mühe, nach dem vollständigen Verschwinden des Farbstoffes eine zurückgebliebene krümliche, farblose Masse wahrnehmen, die Jod leicht braun färbte. Ob dieses aber Farbstoffträger oder nur Anhängsel gewesen, war bei seiner höchst minimalen Quantität etwas zweifelhaft. Ich halte diese Masse für den sehr kleinen Farbstoffträger.

Jod färbt die Farbkörner selbst schön blaugrün. Concentrirte Schwefelsäure färbt sie erst grün, dann nach einiger Zeit prachtvoll violett und dann tief dunkelblau, worauf sie aufgelöst werden. Salzsäure verändert die Körner nicht, ebenso kalte Kalilauge; kochende löst sie dagegen zu einer gelben ölartigen Flüssigkeit auf, die sich aber mit der natürlichen, frei in der Zelle vorkommenden nicht mischt.

Weiss[1]) hat Evonymus europaeus untersucht und sagt darüber Folgendes:

---

1) a. a. O. Bd. 54, I, p. 22 u. 23.

„Im Arillus von Ev. europ. ist der Farbstoff in Gestalt von Bläschen (!) enthalten und zwar in der Weise, dass grössere, intensiver gefärbte Farbstoffkonkremente im Innern eines Bläschens liegen, welches mit einem äusserst feinkörnigen gelben Farbstoffe erfüllt ist. Nebstbei kommt der erwähnte Farbstoff auch eingelagert auf Zellsaftkörnchen (Amylum) vor (!)

Jod färbt den Inhalt der Bläschen sowie die Körner schön grün. Sie quellen dabei sehr stark an und erscheinen dann mattgrün gefärbt. Nach einiger Zeit zerfallen sie in ein Konglomerat grüner Punkte, in welchem man nach längere Zeit die ursprüngliche Gestalt der Gebilde erkennen kann und in welchem Oeltröpfchen, grüne und gelbe Körnchen zu unterscheiden sind. Schwefelsäure färbt die Bläschen, indem sie dieselben ausdehnt, zunächst grün, hierauf die dunkleren Stellen blau, dann violett.“ —

Soweit Weiss.

Da diese Beobachtungen so sehr von den meinigen bei Evon. latif. differirten, so wiederholte ich dieselben auch bei der von Weiss untersuchten Spezies, bei

Evonymus europaeus (Fig. 22).

Hier fand ich meine Beobachtungen, die bei Ev. latif. angestellt waren, vollständig bestätigt.

Die peripherischen Zellenlagen des Arillus enthalten eine orangerothe, krümliche Masse, die eine körnige Struktur nur schwer erkennen lässt. Ausserdem finden sich hier in den Zellen nur sparsam farblose Oeltropfen, während die mehr central gelegenen Zellen eine grosse Menge Oel führen, so dass die Tropfen beinahe die Grösse der Zellen erreichen. Hier finden wir nun orangefarbene Körner in oft sehr grosser Menge in den einzelnen Zellen vor.

Ihre Gestalt ist wie die bei Evon. latif., indem auch hier aus der ursprünglich kugeligen, massiven sich Formen bilden, die durch einen im Innern entstandenen Hohlraum aufgetrieben sind, dann an einer ihrer dünnsten Stelle aufplatzen, wodurch wieder U- und sichelförmige Gebilde entstehen, die sich strecken und so spindelförmige Farbkörner beobachten lassen, die beim Vergehen in kleinste Körnchen zerfallen. Kurz, es wiederholen sich alle Erscheinungen wie bei Evon. latif.; auch in der Grösse stimmen die Farbkörner

beider Pflanzen überein, indem bei Ev. europ. die langen Spindeln im Mittel 0,0066 mm Länge und 0,0013 mm Breite zeigen, während bei Ev. lat. die entsprechenden Zahlen 0,0062 und 0,0017 waren.

Dabei erschienen sie vollständig gleichmässig gefärbt, so dass von „grösseren, intensiver gefärbten Farbstoffkonkrementen im Innern nicht die Rede sein konnte.

Als „Bläschen, die mit einem äusserst feinkörnigen, gelben Farbstoffe erfüllt sind“, erschienen sie mir, obgleich ich mit 1370facher Vergrösserung arbeitete, erst recht nicht; und so muss ich auch die Abbildungen, die Weiss hierzu auf Taf. II, Fig. 23 giebt, als durchaus falsch erklären.

Was er damit sagen will, dass „nebstbei der erwähnte Farbstoff auch eingelagert auf Zellsaftkörnchen (die er sogar für Amylum erklärt) vorkommt“, ist mir nicht verständlich.

Von seiner ganzen Angabe ist nur richtig, dass die färbenden Elemente durch Jod grün gefärbt werden. Das starke Anquellen und den Zerfall in Oeltröpfchen, das Weiss angiebt, habe ich weder hier noch bei Evon. latif. beobachten können.

Auch bei Evonymus europaeus wirkt die Schwefelsäure ebenso wie bei jenem: erst werden die Körner grün, dann violett und schliesslich blau gefärbt, worauf sie verzehrt werden.

Weiss will zwar dieselben Farben, aber in etwas anderer Reihenfolge, beobachtet haben, indem er auf das Grün Blau und zuletzt Violett folgen sah, was mit meiner Beobachtung auch nicht übereinstimmt.

Endlich führte das Entfärben mit Alkohol auch hier zu demselben Resultate wie bei Evon. latif., indem auch hier als Farbstoffträger Protoplasma konstatirt wurde, während Weiss Amylum gefunden haben will.

Bei einer dritten Art, Evonym. verrucosus, haben genau dieselben Verhältnisse statt, wie bei den beiden andern, so dass die Identität der Farbkörner bei allen dreien nicht bezweifelt werden kann.

Sehr viel Aehnlichkeit mit diesen Farbkörnern haben die im Arillus bei

Celastrus candens (Fig. 23).

Hier finden sich orangefarbene Körner von der verschiedensten Gestalt, indem neben runden massiven solche vorkommen, die durch einen im Innern entstandenen Hohlraum aufgetrieben sind. Zuweilen finden sich solche, die an einem Ende spitz zulaufen und im andern einen Hohlraum haben. Doch im Ganzen sind solche tropfenförmigen Gebilde selten (Fig. 23a).

Ferner entstehen in den mehr centralen Zellen durch das Platzen des Hohlraumes U-, sichel- und hufeisenförmige Gebilde, die sich strecken und so Spindeln entstehen lassen. Ihre Grösse ist sehr verschieden, sie schwankt zwischen 0,00264—0,026 mm Länge, also ungefähr dreimal so viel wie bei den Evonymus-Arten.

Die Spindeln zeigen hier oft eine eigenthümliche Lagerung, indem sie sich strahlenartig in einem oder auch zwei Kreisen um den Zellkern lagern, mit dem sie zuweilen noch zusammenhängen.

Oeltropfen finden sich hier in den Zellen nur in geringer Anzahl und sind sehr klein.

Concentrirte Schwefelsäure färbt die Farbkörner erst schmutzigbraun, dann blau und löst sie dann auf. Jod färbt sie blaugrün; Salzsäure verwandelt sie in goldgelbe Oeltropfen; Kalilauge färbt sie erst braunroth und löst sie dann zu einer goldgelben Flüssigkeit auf.

Orangerothe Farbkörner wurden endlich noch konstatirt bei

Convallaria majalis (Fig. 24).

Hier wird die hellrothe Färbung der Früchte durch orangefarbene Körner verursacht, die eine mehr oder weniger rundliche Form zeigen.

Gewöhnlich kann man in ihrer Mitte einen Hohlraum beobachten, der wächst und das Korn einseitig sprengt. So sind die sich vorfindenden hufeisenförmigen Körner zu erklären; doch gelang es mir nicht, langgestreckte Spindeln als viertes Entwickelungsstadium aufzufinden.

Die Farbkörner liegen unregelmässig in der Zelle verstreut, meistens aber in dichteren Reihen um den verhältnissmässig grossen Zellkern.

Im Mittel beträgt ihr Durchmesser 0,00336 mm.

Alkohol, selbst kochender, entfärbt schwer und unvollkommen, leichter Salpetarsäure, wonach farblose Kügelchen zurückbleiben, die sich durch Jodreaktion als Protoplasma ausweisen.

Also auch hier haben wir es mit einem protoplasmatischen Farbstoffträger zu thun.

Concentrirte Schwefelsäure färbt die Farbkörner erst grün, dann blau, blauroth und löst sie endlich auf. Jod färbt sie blaugrün; Kalilauge löst den Farbstoff mit grünlichgelber Farbe.

Auf Zusatz von Salpetersäure werden die Körner zu einem gelben Safte aufgelöst, der das sich zusammenziehende Protoplasma ärbt und undurchsichtig macht, so dass dann die Körner oft nur schwer zu erkennen sind.

Ich schliesse hiermit meine Untersuchung des orangen Farbstoffes und wende mich zum rothen.

Weiss macht bei dieser Farbe noch einen Unterschied zwischen Mennigroth, Hoch- und Feuerroth, Karmin- und Rosenroth. Er sagt über diese Farben Bd. 54, I, p. 180 ff:

„Mennigroth erscheint im Pflanzenreiche, soweit meine Beobachtungen reichen, fast stets als Mischfarbe, hervorgebracht durch einen gelösten rothen, violettrothen oder violetten Zellsaft und mehr oder weniger gelbe Körner u. s. w.

„Hochroth und Feuerroth kommen meist gelöst vor, manchmal wohl auch als Mischungsfarbe, von gelben ungelösten Farbstoffgebilden und einem gelösten rothen oder violetten Zellsafte hervorgebracht.

„Karmin- oder Rosenroth, diese eigenthümliche mit keiner andern leicht zu verwechselnde Farbe tritt bereits in mehrfacher Form auf. In der weitaus überwiegenden Mehrzahl der Fälle kommt rosenroth freilich eben nur gelöst vor, doch sind die Ausnahmen hiervon nicht gar selten, wo es in Gestalt von rundlichen, spindelförmigen oder birnförmigen Formen auftritt.

„Immerhin gehört es nicht gelöst zu den Seltenheiten und war auch bis dahin völlig unbekannt geblieben.

„In Farbstoffbläschen habe ich es öfters gefunden.“ —

Nun, ich beginne mit einer solchen Seltenheit.

Taxus baccata (Fig. 25).

Der fleischige rothe Samenmantel verdankt seine Färbung intensiv rothen Farbkörnern, die in verschiedener Anzahl die Zellen erfüllen.

Sehr hinderlich war bei dieser Untersuchung die grosse Menge zähen Schleims, der kaum den zehnten Schnitt gelingen liess, aber insofern gute Dienste leistete, als er ein Befeuchten der Präparate mit Wasser nicht nöthig machte, wodurch man die Gewissheit erlangte, dass die verschiedene Gestalt kein Artefakt ist.

Diese zeigen wieder alle Uebergangsformen vom rundlich kugeligen Korn bis zur länglichen Spindel.

Doch sind diese einzelnen Formen nicht auf bestimmte Zellen beschränkt, sondern lassen sich in jeder einzigen beobachten.

Der Gang der Entwickelung ist der gewöhnliche. In runden, massiven Farbkörnern, deren Durchmesser im Mittel nur 0,00264 mm ist, entsteht ein Hohlraum, der grösser wird, zum Rande des Kornes fortschreitet und hier dasselbe an der dünnsten Stelle sprengt. So entstehen wieder U- und halbmondförmige Gebilde, die sich strecken. Doch war es hier nicht möglich, so vollkommene Spindeln zu beobachten, wie sie bei Evonymus-Arten gefunden worden waren.

Dieselben bilden sich wahrscheinlich später, wenn die Frucht überreif geworden ist, was zu beobachten ich weder Zeit noch Gelegenheit hatte. Auch das Fehlen der sonst so gewöhnlichen Produkte des Zerfalls, der sehr kleinen Körnchen, ist für mich ein Beweis dafür, dass zur Zeit der Untersuchung die Differenzirung der Farbkörner noch keineswegs beendigt war.

Concentrirte Schwefelsäure wirkt auf diese ähnlich wie auf die vorher besprochenen; sie färbt sie erst hellgrünblau und löst sie dann auf.

Alkohol und Salpetersäure zerstören resp. lösen den Farbstoff auf, wonach als Farbstoffträger wieder kleine farblose Kügelchen zurückbleiben, die durch Jed gelblich braun gefärbt werden.

Wir haben es also auch hier mit einem protoplasmatischen Farbstoffträger zu thun.

Salzsäure wirkt hier sehr merkwürdigerweise auch entfärbend,

ohne vorher den Farbstoff verändert zu haben. Kalilauge dagegen bewirkt keine Veränderung.

Bryonia dioica.

Die Frucht dieser Pflanze ist im reifen Zustande roth gefärbt, welche Färbung durch rothe Farbkörner hervorgebracht wird.

Da bei dieser Pflanze die Früchte zu sehr verschiedener Zeit reif werden, so dass man häufig an ein und demselben Exemplare alle Uebergänge von der kleinen grasgrünen Frucht bis zur überreifen rothen Beere findet, so war es mir hier möglich, auch die Bildungsweise des Farbstoffes ein wenig zu verfolgen. Leider liess aber ein plötzlich eingetretener Frost mich diese Untersuchungen nicht so weit, als wünschenswerth gewesen, fortsetzen.

Ich gebe erst das Resultat meiner Beobachtung über die Art des Farbstoffes bei der vollständig reifen Frucht an, werde dann auf die Entwickelungsweise desselben, soweit ich eine solche beobachten konnte, zu sprechen kommen, um dann meine Beobachtungen mit denen Anderer zu vergleichen.

Die reife Frucht ist, wie schon erwähnt, eine rothe Beere, die sehr wasserhaltig ist, so dass auch hier die Präparate im eigenen Schnittwasser untersucht werden konnten. Der Farbstoff ist in der wenig dicken, vielleicht nur 20—30 radiären Zelllagen starken Fruchtschale abgelagert, während im Innern die Samen in einem äusserst lockeren, sehr wenig zusammenhängenden und dabei sehr wasserreichem Zellengewebe eingebettet sind.

Fig. 26. In den äussersten peripherischen Zellenschichten finden sich kleine massive Körner von rother Farbe, die mehr oder weniger dicht in den höchst regelmässigen Zellen liegen, von rundlicher Gestalt sind und im Mittel einen Durchmesser von 0,00396 mm zeigen. In einzelnen Zellen kommen grössere Farbstoffkonkremente vor, die oft spindelförmig werden und eine ganz eigenthümliche Bildungsweise haben. Die einzelnen Farbkörner legen sich nämlich an einander und bilden so Schnüre von Farbkugeln, die verschieden lang und von verschiedener Form sind. Die einzelnen Individuen verschmelzen nun nach und nach miteinander, wodurch sich die körnige Struktur verliert; die Ketten erhalten eine gleichmässige Längsrichtung und werden so allmählich zu vollkommenen Spindeln.

So wunderbar dieser Prozess auch ist, so steht er doch keineswegs vereinzelt da, denn Weiss hat in den überreifen Beeren von Asparagus verticillatus genau dieselbe Erscheinung beobachtet[1]).

Unter diesen Zellen finden sich solche, in denen die Farbkörner schon eine weitere Differenzirung beobachten lassen, indem sich in ihnen ein Hohlraum bildet (Fig. 27a), der eine ganz verschiedene Stellung im Korne einnehmen kann; bald liegt er central und ist kreisrund, bald an einer Seite, dann wieder länglich u. s. w., kurz, er zeigt die verschiedensten Gestalten und Lagen.

Die Körner werden hierdurch wieder vergrössert und zeigen dann einen Durchmesser bis zu 0,005 mm im Mittel.

Rückt der Hohlraum nun nach dem einen Ende des Farbkorns vor und sprengt dasselbe durch sein Wachsen, so werden eine Menge verschiedener Formen dadurch bedingt (Fig. 27b, c).

Tritt das Platzen frühzeitig ein, so entstehen die schon bekannten halbmondförmigen Gebilde; hat sich dagegen der Hohlraum nach beiden Seiten hin ziemlich gleichmässig vergrössern können, so zertheilt er schliesslich das Farbkorn in zwei halb so lange, wenig gekrümmte spindelförmige Gebilde (Fig. 27d).

In den innersten Schichten sind diese Prozesse schon vor sich gegangen, und deshalb finden wir in ihnen die durch Streckung der sichelförmigen Gebilde entstandenen Farbspindeln überwiegen. Diese Spindeln zeigen im Mittel einen Längendurchmesser von 0,0119 mm (Fig. 27e). Besonders dicht sind sie meistens um den Zellkern gelagert.

Zwischen diesen Schichten findet sich eine Zellenlage, die gelbe Körner in grosser Menge enthält. Auch diese zeigen massive Formen, dann solche mit einem Hohlraum, dessen Platzen wieder die bekannten Formen erzeugt.

Es sind diese gelben Farbkörner auf eine ganz bestimmte Schicht beschränkt, so dass sie ausserhalb derselben nicht zu beobachten sind. Die rothen Farbkörner werden oft in grosser Menge von Protoplasmamassen umgeben, in denen sie dann dicht gedrängt zusammenliegen. Oft sind es auch nur Protoplasmastränge, die die

1) a. a O. Bd. 50, I, p. 24.

Farbspindeln zu ganzen Ketten verbinden, oder auch nur das einzelne Individuum umhüllen (Fig. 28, 29a—c).

Die Enden der Spindeln sind sehr oft farblos oder vielmehr, erscheinen farblos, weil bei ihrer Kleinheit ein genaues Beobachten ihrer etwaigen Färbung nicht möglich ist, so zwar, dass bei oberflächlicher Untersuchung nicht mit Bestimmtheit gesagt werden kann, ob es noch Theile der Spindel oder feinste, die Spindel umgebende Protoplasmafäden sind.

Dass aber Ersteres der Fall ist, zeigen gewisse Entwickelungsformen, in denen der Hohlraum unmittelbar an den Rand des Farbkorns gerückt ist, so dass er nur noch durch einen farblosen, äusserst feinen Bogen der Farbkornperipherie nach aussen hin begrenzt wird.

Es sind dies Formen, die dem Platzen des Farbkorns unmittelbar vorausgehen.

Von den chemischen Eigenschaften der Farbkörner ist Neues nicht zu sagen. Schwefelsäure färbt sie violett, dann schön blau und löst sie nach einiger Zeit zu einer dicklichen ölartigen Flüssigkeit auf.

Kalilauge wirkte gar nicht auf sie ein; Jod färbt sie dunkel blaugrün; Salpetersäure färbt sie erst grün, dann bläulich, dann werden sie immer blässer, bis sie zuletzt entfärbt sind. Alkohol, selbst siedender, entfärbt nur schwer und unvollkommen. Jod färbt die Farbstoffträger gelblichbraun.

Was nun die Entstehung des Farbstoffes anbetrifft, so habe ich hier nicht die Angaben vieler Forscher bestätigt gefunden, dass der rothe Farbstoff durch Umwandlung des Chlorophylls sich bilde.

Weiss sagt in seinen „Untersuchungen über die Entwickelungsgeschichte des Farbstoffes in den Pflanzenzellen“ a. a. O. auf S. 25 Bd. 50, I:

„Die Bildung des Farbstoffes geschieht nicht in der Weise, dass z. B. die Chlorophyllkörner zuerst verschwinden und durch eine Neubildung sich auf einer neuen Unterlage neuer Farbstoff bildet, sondern indem die Unterlage (wohl meist Amylum) des früheren Chlorophyllkornes bleibt und nur das grüne Pigment, welches sich unter Einwirkung von Licht darauf abgelagert hatte, successive sich

durch alle Abstufungen von gelb hindurch in den schliesslich rothgelben Farbstoff umwandelt."

Diese Umwandlung hat er beobachtet bei Solanum capsicastrum, Solanum laciniatum[1]). Nichtsdestoweniger spricht er weiter oben (p. 14) von einer „Neubildung des rothen Farbstoffes, die in einigen Fällen zu geschehen pflegt, wo sich aus dem Protoplasma von Bläschengebilden (?) der rothe Farbstoff in Gestalt einer äusserst feinkörnigen Materie auf die bereits mit einem grünen Pigmente versehenen Amylumkörner niederlagert."

Hier giebt er also zu, was er später verneint.

Herr Dr. Greg. Kraus hat bei Solanum Pseudocapsicum ebenfalls beobachtet, wie der grüne Farbstoff in rothen bei der Fruchtreife übergeht[2]).

Trécul ist der Ansicht, dass der rothe Farbstoff in den Beeren von Solanum Dulcamara L. selbständig durch Neubildung im Protoplasma seiner „vésicules pseudo-nucléaires" entsteht[3]).

Eine selbständige Neubildung des Farbstoffes muss auch ich für Bryonia dioica behaupten.

Da es nun nicht wahrscheinlich ist, dass Kraus sich bei seiner Untersuchung hat täuschen lassen, so muss man annehmen, dass die Bildung des rothen Farbstoffes bei verschiedenen Pflanzen eben eine verschiedene ist.

Ich konnte bei Bryonia dioica nur Folgendes konstatiren:

Bei vollständig grünen Beeren sind die obersten, peripherischen Zellenlagen, die im reifen Zustande der Frucht oft sehr viele und verhältnissmässig grosse Farbkörner enthalten, bis auf den Zellkern vollständig inhaltslos. Auf diese Schicht folgt eine andere, deren Zellen eine beträchtliche Menge Chlorophyllkörner enthalten.

Je centraler nun die Zellen liegen, um so weniger Chlorophyll

---

1) Bei Sol. laciniat. giebt er p. 21 an, dass der Farbstoff, der durch Umwandlung von Chlorophyll entstanden ist, als Träger Amylum hat, und trotzdem fährt er fort: „Schwefelsäure (wohl nur verdünnte) entfärbt schliesslich und nachheriger Zusatz von Jodlösung färbt die bereits farblos gewordenen mattgelb (!) alle anderen grün." Dieses Gelbfärben berechtigt meiner Meinung nach keineswegs, auf Amylum zu schliessen, und andere Reaktionen sind nicht angegeben.

2) Jahrb. f. wiss. Botanik, VIII, p. 135 ff.

3) Annal. d. scienc. nat, S. IV, T. X, 1858.

führen sie, bis dieses in den innersten Zellenlagen gar nicht mehr beobachtet werden kann.

Wenn die Beeren nun reifen, so werden in den obersten Schichten, die also gar kein Chlorophyll führten, nun einige wenige, schwach gefärbte Körnchen beobachtet, die, in immer grösserer Zahl auftretend, die Färbung der Beere bedingen. Sie haben sich also nicht durch Umwandlung des Chlorophylls gebildet.

In den darunter liegenden Zellschichten, die im unreifen Zustande der Frucht die Chlorophyllkörner führten, sind dieser weniger geworden, und die einzelnen Individuen sind kleiner als die ursprünglichen. Ihre Farbe ist eine gelbe bis bräunlichgelbe; auch zeigen sie Vakuolen, Sichelformen u. s. w.

Die rothen Farbkörner haben sich also hier neugebildet, da sie in Zellen auftreten, die anfangs gar kein Chlorophyll führten. Die Chlorophyllkörner dagegen erklären das Vorhandensein der schon erwähnten gelben Farbkörner bei reifen Beeren in einer Zellschicht, die zwischen denen, die rothe Farbkörner führen, zwischengelagert ist.

Die Chlorophyllkörner entwickeln sich also meiner Ansicht nach hier ebenso wie in gelbwerdenden Laubblättern, indem mit dem Reifen der Frucht ihre Umwandlung in Xantophyllkörner Hand in Hand geht, so zwar, dass bei reifen Beeren die Zellen, die früher grüne Farbkörner führten, jetzt gelbe enthalten, die sich von den übrigen rothen durch ihre eigenthümliche und unvermittelte Farbe und auch durch ihre Lage aufs Deutlichste unterscheiden lassen.

Ihre Anwesenheit ist so auf das Einfachste erklärt, was ungleich schwieriger sein würde, wollte man eine Umwandlung der Chlorophyllkörner in rothe Farbkörner behaupten.

Ich zweifle keineswegs daran, dass eine genauere Untersuchung über die Entwickelung des Farbstoffes bei Bryonia dioica meine Ansichten bestätigen wird.

Mit dieser Pflanze endigen meine Untersuchungen über die eigenthümlichen Erscheinungen, die dem Zerfall dieser Farbkörner vorausgehen und fasse ich deshalb das Resultat derselben noch einmal zusammen, um daran eine Diskussion der Angaben Anderer über diesen Gegenstand zu knüpfen.

Wir haben bei allen bis jetzt besprochenen Pflanzen gesehen,

dass die Entwickelung der Farbkörner keineswegs mit ihrem Auftreten als färbende Elemente in den Pflanzenzellen beendigt ist; vielmehr treten erst von diesem Zeitpunkt an eine Anzahl von Erscheinungen auf, die als Entwickelungs- oder Degradationserscheinungen gedeutet werden müssen.

Ueber das Entstehen der Farbkörner wissen wir bis jetzt noch sehr wenig, und was hierüber von den verschiedenen Forschern angegeben wird, sind mehr oder weniger doch nur Hypothesen, die nicht einmal übereinstimmen.

Bei der grössten Mehrzahl der bisher von mir untersuchten Pflanzen zeigten die Farbkörner, mit Ausnahme der bei Calendula off., Tagetes gland. etc., folgendes Verhalten, nachdem sie sich zu färbenden Elementen entwickelt hatten: In dem ursprünglichen Korne entsteht im Innern ein Hohlraum, der nach einer, seltener zwei Seiten hin sich vorzugsweise vergrössert und so gewissermassen zum Rande fortschreitet, den er an der Stelle, wo er ihn berührt, sprengt.

So entstehen mehr oder weniger regelmässige, gekrümmte Farbstoffgebilde, die sich strecken und so Stäbchen oder Spindeln entstehen lassen, die mit der Zeit in kleinste Körnchen zerfallen.

Bei anderen, den erst ausgenommenen Pflanzen, theilt sich das Farbkorn, indem auch zuerst ein Hohlraum entsteht, von innen nach aussen in sehr kleine, sich stark bewegende Körnchen. An dieser Differenzirung betheiligt sich zuletzt auch die Peripherie des Farbkorns, worauf sehr bald dasselbe in lauter kleine Körnchen zerfällt.

Letzterer Vorgang ist bis dahin noch nirgends erwähnt worden. Ich konnte ihn besonders deutlich bei Calendula offic. beobachten.

Auf den ersten Umbildungsprocess, die Entstehung der Spindeln, ist schon mehrfach hingewiesen worden.

Zuerst beobachtet hat ihn Trécul bei Solanum Pseudocapsicum und sagt darüber Folgendes [1]):

„Quand ces vésicules (er spricht von den Farbkörnern fast immer als von vésicules) sont arrivées à leur complet développement et que la matière colorée est inégalement répartie au pourtour de la vésicule, la membrane (?) se rompt au point resté mince et

1) Annal. d. scienc. nat., S. IV, T. X, 1858, p. 155.

incolore; elle se dresse peu a peu et l'on à alors des corps fusiformes plus ou moins grêles, qui présentent quelquefois des granules rouges dans leurs intérieurs, en sorte qu'ils constituent eux-mêmes des vésicules fusiformes. Cette structure vésiculaire se voit surtout parfaitement dans les cellules du fruit du capsicum Pseudocapsicum. Dans les vésicules g g, fig. 30 pl. 5, le protoplasma coloré même avant l'ouverture de la vésicule arrondie, était déjà adhérent aux deux pellicules écartées laissant un espace vide et incolore entre elles. Quand la vésicule arrondie ou mère est restée mince sur deux points opposés, il se fait dans ce cas deux vésicules fusiformes, qui peuvent rester fixées l'une à l'autre par une de leurs extrémités après la rupture d'une des parties amincies." —

So erklärte schon 1858 Trécul die Entstehung der Farbspindeln, wenngleich er es unterlassen hat, seine Ansicht durch Beweise zu unterstützen.

Dies mag der Grund sein, weshalb dieselbe fast fünfzehn Jahre hindurch unbeachtet geblieben ist. Denn erst Kraus macht auf diese Stelle aufmerksam.

Weiss hat, wie schon einmal erwähnt, den Schwerpunkt seiner, von mir oft als der umfangreichsten citirten Arbeit in die eigentliche Entstehung der Farbkörner verlegt; denn nur so ist es zu erklären, dass er, obgleich Tréculs Arbeit sonst oft angeführt wird, diese Stelle mit Stillschweigen übergeht und auch diese gewiss merkwürdigen Differenzirungen der Farbkörner nirgends erwähnt oder ihnen wenigstens keine besondere Bedeutung beilegt. Nur so en passant theilt er in der Anmerkung auf Seite 168, Bd. 54, I, mit, dass man „die spindelförmigen Farbkörner ganz gut als spätere Entwickelungsarten der runden betrachten könnte."

Ferner sagt er auf Seite 175 ebendaselbst: „Dass durch das Zerreissen der dünnsten Stelle aus rundlichen Formen spindelförmige, zweispitzige entstehen, kann man ziemlich häufig beobachten und die Mehrzahl derselben bildet sich ganz sicher uuf diese Weise."

Bei welchen Pflanzen man dieses so „häufig" beobachten kann, sagt Weiss nicht.

Keineswegs berechtigt ihn dieser Ausspruch, daraus ein Gesetz zu formuliren, wie es auf Seite 205 geschieht, wo es kurz heisst:

„— die zweispitzigen eigenthümlichen spindelförmigen Gestalten entstehen durch Zerreissen runder Formen an ihrer dünnsten Stelle.“

Kraus sagt in seiner schon erwähnten Arbeit Aehnliches, allerdings mit mehr Recht, da er bei Solanum Pseudocapsicum diese Verhältnisse genau beobachtet hat. Auf Seite 137 heisst es:

„Diese ganze Reihe von auf- und nebeneinander vorkommenden Formen von dem einförmigen linsenförmigen Korn bis zur exquisiten Spindel oder Sichel kann nicht anders gedeutet werden, als eine Entwickelungsreihe. Man muss annehmen, dass die letzteren Formen aus den ersteren hervorgehen.“

Und weiter unten:

„Begreiflicher Weise lässt sich das Einreissen der Körner nicht oder doch nur selten unmittelbar beobachten; dass aber diese Entstehungsweise dennoch die richtige und allein mögliche ist, wird aus dem Zusammenhalt aller Umstände völlig klar.“

Im Uebrigen hat Kraus bei Solanum Pseudocapsicum, was die fertigen Farbkörner anbetrifft, fast genau dieselben Verhältnisse beobachtet, wie ich bei Bryonia dioica.

So fand er die rundlichen massiven Farbkörner von 0,0064 mm Durchmesser im Mittel auf die pheripherischen Zellenlagen beschränkt, darunter die Vakuolenformen und endlich in den centralen Zellenlagen die Spindeln vorwiegend, deren Länge im Durchschnitt 0,016 bis 0,019 mm betrug. Es sind demnach diese Farbkörner nur grösser, als die von mir bei Bryonia untersuchten. Ich fand hier die massiven Farbkörner 0,004 mm breit, diejenigen, die Vacuolen zeigten, 0,005 mm und die Spindeln endlich 0,012 mm lang.

Aber sowohl bei Solanum Pseudoc. als auch bei Bryonia dioica sind die Spindeln fast genau dreimal so lang wie der Durchmesser der massiven Farbkörner, aus denen sie entstanden sind. Es ist auch dies ein Beweis für die Richtigkeit unserer Ansicht, insofern die Kreisperipherie zum Durchmesser in demselben Verhältniss wie 3 : 1 steht.

Weiss giebt p. 168 den Durchmesser der runden Farbkörner bei Geum montanum L. auf 0,004 mm, die Länge der Spindeln auf 0,014 mm (Maximum), ferner p. 171 bei Lilium bulbiferum L. den Durchmesser der runden Farbkörner auf 0,0027 mm, die Länge der gestreckten Formen auf 0,008 mm an. Also auch hier sehen wir

das Verhältniss zwischen Kugel und Spindel dasselbe bleiben. Endlich muss ich noch eine Erklärung der spindelförmigen Farbkörperchen erwähnen, die Hofmeister in seiner „Lehre von der Pflanzenzelle“ auf Seite 377 giebt. Hier heisst es:

„Manche der gelbroth oder gelb gewordenen Chlorophyllkörner zeigen ein auffallend gesteigertes Längen- oder vielmehr Spitzenwachsthum. Die der peripherischen Gewebe von Lycopersicum esculentum sind langgestreckt mit stumpfen oder spitzen, im letzteren Falle oft ungefärbten Enden. Viele (nicht alle) Farbkörperchen der Fruchtwand von Capsicum cerasiforme, Lycium barbarum, Solan. capsicastrum, Asparagus verticillatus, des Arillus von Evonymus europaeus wachsen an einer Stelle oder an zwei gegenüberliegenden Punkten (bei länglichen Körnern an den Enden) oder an drei verschiedenen Orten zu oft sehr lang werdenden Fortsätzen aus; die Körnchen werden spindelförmig oder selbst dreistrahlig. Wenn diese Sprossungen der Körnchen besondere Länge erreichen (wie bei den erwähnten Solanaceen), so bleiben sie farblos.“

Das Irrige dieser Ansicht weist schon Kraus nach in so richtiger Weise, dass ich hier seine Worte wiedergebe[1]):

„Während nach unserer Erklärung diese Formen einem eigenthümlichen, meist durch Vakuolenbildung eingeleiteten Zerfallen der Körner, einer Degradation derselben, ihre Entstehung verdanken, wird hier ein „gesteigertes Spitzenwachsthum“ Sprossung der Körner angenommen.

„Wie schon bemerkt, ist ein solches Spitzenwachsthum deshalb nicht zulässig, weil bei der Entwickelung durchaus alle Uebergänge von den runden zu den spindeligen Körpern fehlen, die doch sicherlich nicht übersehen werden könnten.

„Es ist aber auch an sich nicht unwahrscheinlich, dass in einem Organ wie in der reifenden Frucht, in dem kein Elementartheil der Zelle mehr Wachsthum, vielmehr nur Zerfall, Degradation zeigt, gerade die Chlorophyllkörner eine so merkwürdige Steigerung ihrer Lebensthätigkeit zeigen sollten; merkwürdig besonders deshalb, weil dieses Wachsthum bei verschiedenen Körnern ein höchst verschiedenes sein müsste: das eine Korn müsste Spitzenwachsthum an zwei Enden,

1) Jahrb. f. wiss. Botanik, 1872, Bd. VIII, p. 144.

das andere an drei oder vier wieder ein anderes tangentales Wachsthum der Peripherie zeigen, damit die bekannten Ringe entstünden u. s. w. — gewiss ein sehr komplizirter und unwahrscheinlicher Vorgang, dem gegenüber die obige Erklärung höchst einfach und natürlich erscheint.“ —

Ich schliesse mich dieser Ansicht vollständig an, sie ist so zutreffend, dass nichts erübrigt hinzuzufügen.

Weiss spricht in seinem Resumé, Bd. 54 p. 205, nur von „protoplasmatischen Fortsätzen, die mehrere Farbkörner verbinden“; ob er aber die Fortsätze der einzelnen Spindeln richtig erkannt hat, bleibt dahingestellt. —

Von ganz eigenthümlicher Beschaffenheit ist der rothe Farbstoff in der Wurzel von

Daucus Carota (Fig. 30).

Hier ist der Rindentheil der Wurzel zusammengesetzt aus grossen, vielseitigen Zellen, die bei farblosem Safte nur wenige rothe Farbkörner enthalten, die eine so eigenthümliche scharfe Begrenzung zeigen und von so regelmässiger Gestalt sind, dass ich sie anfangs für Farbstoffkrystalle zu halten geneigt war, bis ihre Bandform an einigen Exemplaren, die in den Zellen, in welchen sie ihrer bedeutenden Länge wegen nicht Raum fanden, hobelspanartig aufgerollt waren, beobachtet werden konnte. Doch gehören solche Gebilde zu den Seltenheiten. Gewöhnlich liegen in einer Zelle ein, zwei, höchstens sechs solcher blassrothen Farbkörper beisammen. Ihre Form ist, wie schon erwähnt, im Ganzen eine bandförmige, doch ist ihre Grösse, ihre Länge und Breite sehr verschieden.

Bald erscheinen sie als lange, spitze Nadeln von oft bedeutender Länge (0,0726 mm und mehr), bald wie dünne, scharfgekantete Stäbchen; dann wieder wie rhombische oder vielkantige Krystallblättchen; stets waren sie aber äusserst regelmässig umgrenzt.

Ihre Grösse ist, wie schon erwähnt, sehr verschieden; so zeigte das Farbkorn a in Fig. 30 eine Länge von 0,02268 mm und eine Breite von 0,0081 mm; Farbkorn b war 0,0292 mm lang und 0,005 mm breit und ein sehr langes, nadelförmiges Farbkörperchen war sogar 0,073 mm lang. Die Grösse der gekrümmten Gebilde auch nur annäherungsweise anzugeben war nicht möglich.

Neben diesen blassrothen, regelmässig begrenzten Gebilden kommen ab und zu auch noch sehr kleine ebenso oder etwas bräunlicher gefärbte Körnchen vor, die sich meistens zu grösseren Farbstoffkonkrementen zusammensetzen und wahrscheinlich Degradationsprodukte der ersteren sind. — In dem inneren, gelbgefärbten Holztheil finden sich sehr wenige röthliche Farbkörperchen, daneben aber noch sehr kleine gelblichgrüne Körnchen, aber auch nur in solch geringer Menge, dass von einer genaueren Untersuchung Abstand genommen werden musste.

Die Farbkörner des rothen Rindentheils sind nun in heissem Alkohol sehr leicht löslich, in kaltem weniger, denn in diesem verschwanden sie erst nach halbstündiger Einwirkung desselben, doch ohne einen Rückstand zu hinterlassen.

Es sind eben solide Farbkörner, die keinen besonderen Farbstoffträger haben.

Solche Verhältnisse sind äusserst selten, doch konnte ich sie mehrfach beobachten, so dass ich die Aeusserung des Herrn Weiss (Bd. 50, p. 20, Anm.), in der er das Vorkommen irgend eines Pigmentes in soliden Körnern sehr stark bezweifelt, unberechtigt finde.

Concentrirte Schwefelsäure färbt die Farbkörner blau und löst sie auf. Kalilauge und Salpetersäure zerstören den Farbstoff, dagegen wirkt Salzsäure gar nicht auf ihn ein und ebenso nicht Jod.

Ueber eine bestimmte Lagerung der Farbstäbchen ist nichts zu sagen; sowohl im radiären als auch im Längsschnitt finden sie sich neben ihren Degradationsprodukten, jenen krümlichen orangeroth gefärbten Massen.

Da hier bei Daucus Car. zum ersten Male eigentliche Farbkörner, d. h. solche ohne Farbstoffträger, aufs Deutlichste beobachtet werden konnten, so wurde ein Versuch gemacht, den Farbstoff zu isoliren.

Es wurden zu diesem Zwecke zerriebene Mohrrüben, deren Holztheil sorgsam entfernt worden war, mit Alkohol so lange digerirt, bis der grösste Theil des Farbstoffes in Lösung gegangen war.

Der Alkohol war gelb gefärbt, wurde nun filtrirt, mit Wasser versetzt und nun mit Aether ausgeschüttelt, der allen Farbstoff aufnahm und bei seinem Verdunsten an den Wandungen des Gefässes gelbe Oeltröpfchen zurückliess, die sehr bald zu kleinen nadelförmigen

Krystallen erstarrten. Ihre Quantität war leider zu gering, um durch eine chemische Analyse Aufschluss über ihre elementare Zusammensetzung zu geben. Hierzu würden vielleicht 1—2 Scheffel erforderlich sein, welche Menge mir nicht zur Verfügung stand.

Sehr kleine Farbkörner fand ich ferner bei

Arum maculatum.

Hier enthalten die Zellen der brennend rothgefärbten Früchte eine sehr grosse Menge braunroth gefärbter Farbkörner.

Diese sind so klein, dass an ihnen der Bau nicht näher ermittelt werden konnte, so dass ich mich auf chemische Reactionen beschränken musste.

Schwefelsäure färbt sie violett bis schwarzblau, dann schmutzig braungrün und löst den Farbstoff dann auf. Salzsäure färbt die Körner nur dunkler; Jod dunkel blaugrün. Salpetersäure färbt sie erst schmutziggrün und entfärbt dann. Kalilauge lässt sie aufquellen. Auch sie haben einen protoplasmatischen Farbstoffträger; denn die durch Alkohol entfärbten Körner werden durch Jod gebräunt.

Ich wende mich jetzt zu einem in Pflanzenzellen sehr selten ungelöst vorkommenden Farbstoff, dem violetten.

Ich habe ungelösten violetten Farbstoff nur einmal Gelegenheit gehabt zu beobachten.

Hildebrand bemerkt über ihn[1]):

„Die violette Farbe findet sich immer an den Zellsaft gebunden, z. B. bei Viola odorata etc, nur bei Amorpha fructicosa und in den Zellen des Blumenkronenschlundes von Gilia tricolor schwammen in dem violettgefärbten Zellsaft in jeder Zelle je ein dunkler violettes, kugelförmiges Körnchen, bei Gilia tricolor waren deren manchmal auch mehrere kleinere vorhanden; ausserdem fand ich bei einer violettgrauen, rothgestreiften Papaverblüthe in den Zellen je einen dunkel violett gefärbten Kärper mit verschwimmenden Umrissen.“

Weiss fügt noch hinzu[2]), dass „als krümliche Masse der violette Farbstoff bei vielen Passiflorabeeren, z. B. bei Passiflora

1) Jahrb. f. wiss. Botanik, III, p. 62.
2) a. a O. Bd. 54, I, p. 183 fi.

acerifolia vorkommt.“ Ferner hat er unmittelbar unter der Epidermis des Stengels von Convallaria majalis in einer Schicht gestreckter Zellen grössere und kleinere violette Farbstoffkugeln, wohl auch violett gefärbte anders gestaltete Farbstoffkonkrémente vorgefunden.

Auf diese geringe Notizen beschränkt sich unsere Kenntniss dieses Farbstoffes.

Ich fand ihn bei

Thunbergia alata (Fig. 31).

Bei dieser Pflanze ist der tellerartig ausgebreitete Rand der Blüthe durch gelbe Farbkörner gefärbt, während der röhrenförmige Grund der Korolle eine dunkelviolette Färbung zeigt. Diese wird hier bedingt durch dunkel violette, in starker Molekularbewegung begriffene Farbkörner und einem gelösten mehr bläulich scheinenden Farbstoff.

Die ungemein kleinen, sich stark bewegenden Farbkörner sind in den Zellen höchst unregelmässig vertheilt, bald haben sie sich auf einen Punkt zusammengedrängt, wo sie dann oft so dicht bei einanderliegen, dass man starke Vergrösserungen anwenden muss, um sie nicht für eine grosse Farbstoffkugel zu halten. Dann haben sie sich wieder in der ganzen Zelle verbreitet, hier und da grössere Haufen bildend.

Selbst kochender Alkohol entfärbt sie sehr langsam und die zurückbleibenden Kügelchen werden von dem sich zusammenziehenden Protoplasma derartig eingeschlossen, dass man nicht mit Bestimmtheit sagen kann, ob die durch Jod erzielte Bräunung durch die Farbstoffträger allein bedingt wird.

Kalilauge löst die Farbkörner sofort zu einer blauvioletten Flüssigkeit auf, die sehr schnell gebleicht wird. Concentrirte Schwefelsäure färbt den Saft roth und löst mit derselben Farbe die Körner auf. Jod färbt sie grünlich gelbbraun.

Näheres liess sich an den Farbkörnern ihrer Kleinheit wegen nicht beobachten. Fast möchte ich aber behaupten, dass es solide Farbkugeln sind ohne jeden Farbstoffträger.

Nicht viel mehr als von violetten Farbstoffkörnern ist uns von blauen bekannt. Ueber sie giebt Weiss (Bd. 54, p. 202) folgende Angabe:

„Der blaue Farbstoff von Blumenblättern und Früchten tritt fast immer gelöst auf. Die Fälle, wo man ihn bisher ungelöst kannte, sind sehr selten. Am längsten ist er bei Strelitzia reginae bekannt, Trécul giebt ihn bei Atropa belladonna und Solanum guineese, Hildebrand bei Tillandsia amoena an. Unger endlich macht genauer auf die blauen Farbstoffkugeln in den Zellen reifer Passiflorabeeren aufmerksam. Krümlichen, ultramarin- oder indigoblauen Farbstoff fand ich bei Passiflora acerifolia und Passiflora alata, ähnlich den strahligen Konkrementen, die man häufig in den Zellen der reifen Frucht von Solanum nigrum findet. Eine ganz eigenthümliche Gestaltung von ungelöstem blauen Farbstoff fand ich in der Blüthe verschiedener Delphinium-Arten.“

Bei Delphinium elatum hat Weiss ihn in Form von zierlichen feinstrahligen Federchen beobachtet. Ich selbst konnte blauen ungelösten Farbstoff bei zwei Pflanzen beobachten.

Delphinium tricolor (Fig. 32).

In der Blüthe dieser Pflanze herrscht eine grosse Mannigfaltigkeit von färbenden Säften in den einzelnen Zellen, indem einige hellblauen Saft enthalten, andere dunkelblauen, wieder andere hellvioletten, dann solche Zellen, die dunkelvioletten führen, kurz, es kommen fast alle Schattirungen von hellblau bis dunkelviolett vor. Die Spitzen der Blumenblätter, die sich schon äusserlich durch ihre dunkelgraue Färbung auszeichnen, enthalten in ihren Zellen graubraunen Saft und zuweilen auch eine ebenso gefärbte bräunliche Masse.

In der Mitte der Blumenblätter kann man nun in den einzelnen Zellen sehr oft äusserst kleine blaue Farbkörner beobachten, deren Durchmesser noch nicht 0,00056 mm beträgt. Sie sind immer nur in sehr geringer Menge in den einzelnen Zellen vorhanden und liegen dann zusammen. Hierdurch wird ihre Beobachtung etwas erleichtert und so kann man denn wahrnehmen, wie sie nicht nur in starker Molekularbewegung sind, sondern auch ihre Stelle in der Zelle beständig wechseln, indem sie sich langsam von einem Ende der Zelle zum andern begeben.

Diese Körnchen sind sowohl in den Zellen, die den so ver-

schieden gefärbten Saft enthalten, als auch in solchen, in denen kein gelöster Farbstoff sich vorfindet, vorhanden. An ihnen kann man selbst mit den stärksten Vergrösserungen keine Einzelheiten beobachten; sie erscheinen als massive Körner ohne jede Vacuole und sind von kugelrunder Gestalt.

Salpetersäure färbt den Saft roth und löst mit derselben Farbe die Farbkörner auf; ebenso wirkt Schwefel- und Salpetersäure. Der Kalilauge widerstehen sie längere Zeit, zerfallen darauf und werden mit grüner Farbe gelöst. Jod färbt sie nicht, sondern wirkt auf sie zerstörend. Kochender Alkohol löst sie langsam aber vollständig auf. Es sind somit Farbkörner in eigentlicher Bedeutung.

In manchen Zellen findet sich nur blaugefärbtes krümliches Protoplasma.

Bei einer verwandten Art, Delphinium consolida, beobachtete ich in den stark papillösen Zellen einen zähflüssigen, blaugefärbten Saft, der die Zellen nur theilweise erfüllt. Diejenigen Stellen, an denen man ihn besonders häufig beobachten kann, zeichnen sich schon äusserlich durch eine dunklere Färbung als die der Umgebung aus.

Endlich konnte ich ungelösten blauen Farbstoff beobachten in den Früchten von

Viburnum Tinus L. (Fig. 33).

Dieselben enthalten in der äussersten peripherischen Zellenschicht eine dunkelblaue körnige Masse, während die darunter liegenden Zellen nur Chlorophyllkörner und einen blassrothen Saft enthalten, der die Wandungen der darüberliegenden Zellen blassroth gefärbt erscheinen lässt.

Diese unregelmässig geformten, tiefblauen Massen werden schon von Wasser angegriffen. Bei längerem Liegen in Wasser kann man ein allmähliches Erblassen derselben vom Rande aus nach dem Innern der Substanz zu beobachten. Doch gelang es nicht, sie vollständig zu entfärben. Auch mit Alkohol musste längere Zeit gekocht werden, um den Farbstoff vollständig zu entfernen. Es blieb aber schliesslich eine farblose, krümlich aussehende Masse zurück, die durch Jodlösung gebräunt wurde, also wiederum Protoplasma ist. Liess man zur ursprünglichen, blaugefärbten Masse Jodlösung hinzu-

treten, so wirkte hierbei zunächst der Alkohol auflösend auf den blauen Farbstoff ein, welche Lösung nun von dem Jod rothbraun gefärbt wird. Concentrirte Schwefelsäure löst den Farbstoff auf mit orangerother Farbe.

Aehnlich wirken die anderen Säuren. Kalilauge löst den Farbstoff gleichfalls auf, zuerst zu einem blauen Saft, der bald schön smaragdgrün gefärbt wird, dann aber allmählich erbleicht.

Es erübrigen jetzt noch einige Worte über den grünen Farbstoff, der in fester Form am häufigsten von allen anderen vorkommt, gelöst dagegen ausserordentlich selten angetroffen wird.

Hildebrand führt auf Seite 66 seiner Arbeit als einzige Ausnahme die grünblühende Varietät von Medicago sativa an; Weiss fand ihn in den Haaren von Goldfusia glommerata, wo er nach ihm die Endzelle häufig erfüllen soll.

Doch meint er selbst schon, dass man hier mit verbesserten Mikroskopen auch körnige Farbstoffe finden dürfte.

Ich wende mich jetzt zum letzten in Pflanzenzellen beobachteten Farbstoffe, dem braunen. Hildebrand erwähnt in der Anmerkung p. 66 sein Vorkommen als Farbkorn und Farbspindel bei Neottia nidus avis, gelöst in den Blumenblättern von Delphinium-Arten, wie auch ich schon angegeben habe, und in denen von Vicia Faba.

Besonders aber habe ich ihn bei Seetangen beobachtet.

Fucus vesiculosus.

Dieser Tang zeigt am unteren Stammende eine dunkle, etwas ins Grünliche gehende Färbung, die mehr nach oben ins Rothbraune übergeht.

Erstere rührt von Chlorophyllkörnern (Fig. 34) her, die in ziemlicher Menge in den sonst leeren Zellen sich vorfinden. Doch finden sich auch Stellen, an denen die Zellen viele Schleimkörner neben wenig Chlorophyll enthalten.

Diese Theile machen sich durch eine hellere grünere Färbung schon äusserlich bemerkbar.

In den mehr bräunlich gefärbten Aesten finden sich nun viel kleinere Zellen, die zum Theil farblosen Inhalts, zum Theil dunkel

braune Farbkörner enthalten. Doch liegt gewöhnlich in jeder Zelle nur ein Farbkorn (Fig. 35).

Diese schon an und für sich sporadisch auftretenden Körner nehmen von der Peripherie nach dem Innern zu immer mehr ab, und je seltener sie werden, um so häufiger findet sich Chlorophyll.

Die braunen Farbkörner, die als völlig kompakte Massen in den Zellen liegen, haben einen Durchmesser von 0,0081 mm der Breite nach und von 0,0129 mm der Länge nach. Ihr Pigment ist in Wasser viel leichter löslich als in Alkohol. Anhaltendes Kochen mit Alkohol bewirkte nur ein schwaches Erblassen der Farbkörner, während beim Kochen mit Wasser die Pflanzentheile sehr bald eine grüne Färbung annahmen, und das Wasser selbst intensiv rothbraun gefärbt wurde. Es war der braune Farbstoff in Lösung gegangen und dadurch war das vorhandene Chorophyll mehr zur Geltung gekommen. Der Träger des Farbstoffes, kleine farblose Körner, wurde durch Jod stark gebräunt und auch von Salpetersäure gelbgefärbt.

Concentrirte Schwefelsäure entfärbte die Farbkörner, wie auch ihren wässerigen Auszug; doch trat bei letzterem die Färbung wieder ein, wenn die Säure neutralisirt wurde.

Salpetersäure und Salzsäure zeigen dieselbe Wirkung. Kalilauge färbte nur dunkler. Der wässerige Auszug des Farbstoffes zeigte eine sehr schwache Fluorescens von roth in blau.

Ein anderer Tang, der auch als Fuc. vesic. bestimmt wurde, sich aber durch dunklere Färbung und das Fehlen der Schwimmblasen auszeichnete, zeigte fast dieselben Verhältnisse. In den peripherischen Zellschichten fanden sich in den einzelnen Zellen viele kleine Körnchen von grünlich brauner Farbe (Fig. 36). Nach der Mitte zu werden die Körner grösser, dafür ihre Zhhl geringer. es tritt eine Verschmelzung der einzelnen Individuen zu grösseren Farbstoffkonkrementen ein (Fig. 37).

Ihre Grösse wechselt von 0,016—0,0388 mm Durchmesser. Die innersten Zellen sind lang gestreckt und enthalten Farbkörner, die sich der Form der Zelle angepasst haben.

Kalter Alkohol wirkt fast gar nicht auf die Farbkörner, kochender nur auf die kleineren, die grossen braunen wurden nicht ver-

ändert. Beim Kochen mit Wasser ging ein brauner Farbstoff in Lösung, welche auch schwach fluorescirte. Doch war nach dem Kochen, das so lange fortpesetzt wurde, bis nichts mehr gelöst wurde, eine Veränderung der grösseren Farbkörner nicht zu beobachten. Um diese zu entfärben, wurde mit Salpetersäure gekocht, worauf der Farbstoffträger durch sein Braunwerden sich bei hinzutretendem Jod als Protoplasma erkennen liess. Schwefelsäure und Kalilauge wirken ebenso wie bei Fucus vesiculosus.

Auch hier wird der wässerige Farbstoffauszug durch Säuren gebleicht, ohne dabei den Farbstoff selbst zu zerstören, denn Basen riefen ihn wieder hervor.

Endlich wurde noch untersucht

Furcellaria fastigiata, Hudson,

die mit den beiden obigen zusammengefunden worden war.

Auch hier finden sich Chlorophyll- und braune Farbkörner (Fig. 40), letztere aber in bedeutend grösserer Anzahl, als bei den eben beschriebenen Pflanzen. Der braune Farbstoff, der wieder in Wasser löslich ist, ist auch hier an Protoplasma gebunden, wie durch Jodreaktion konstatirt wurde. Die am intensivsten gefärbten Körner liegen in der Peripherie, die nach der Mitte liegenden, werden immer blasser, bis im centralen Stammtheil nur ungefärbte Körner die Zellen erfüllen (Fig. 38).

Unter den peripherischen, nur mit braunen Farbkörnern angefüllten Zellen finden sich mehrere Lagen, in denen die Zellen bald diese Körner bald Chlorophyll enthalten, das die Zellwandungen der obersten Schicht im Präparate grün erscheinen lässt (Fig. 39).

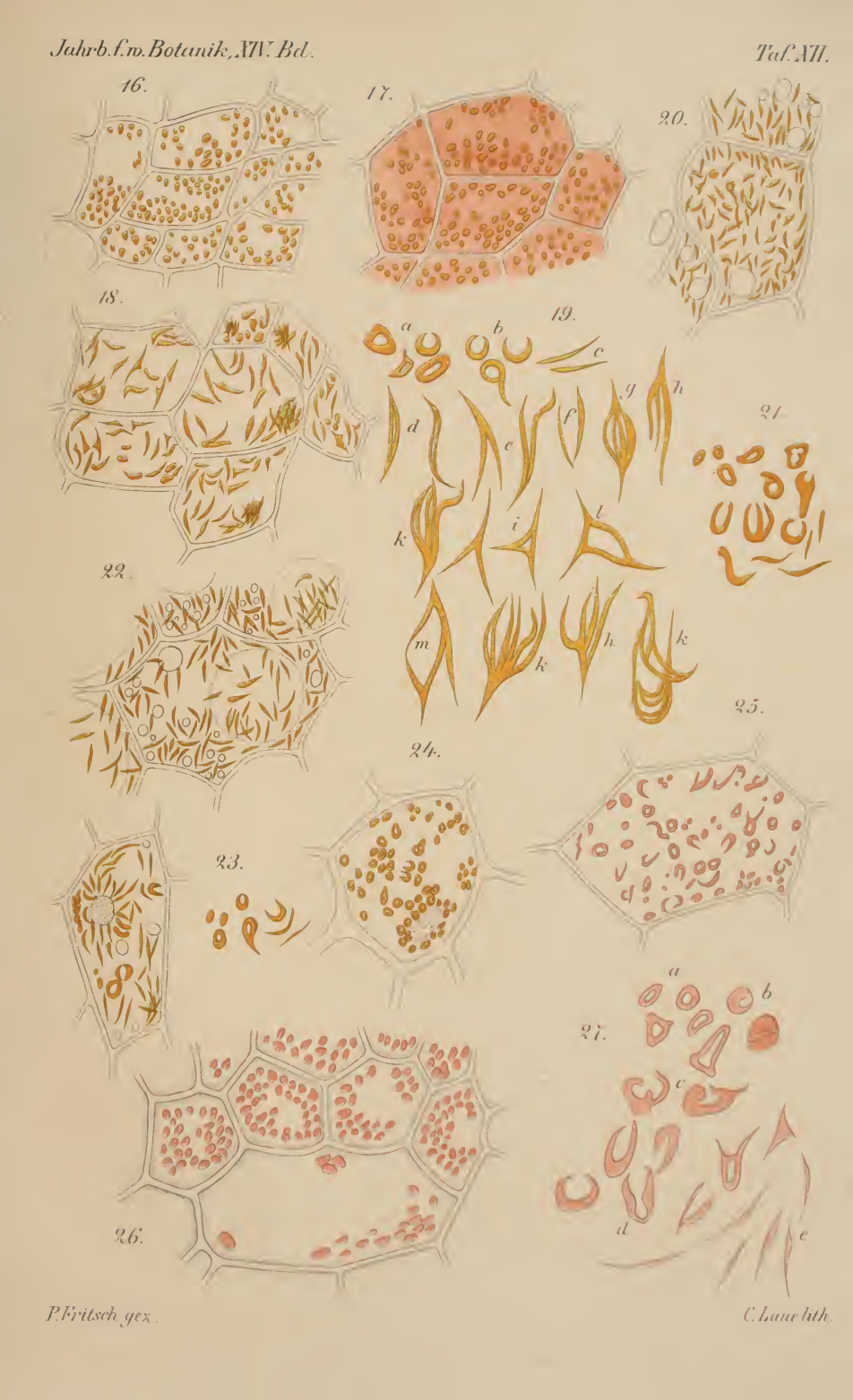
Die braunen Farbkörner haben eine mittlere Grösse von 0,0097 mm im Durchmesser, verlieren beim Behandeln mit den meisten Reagentien (H_2SO_4, HKO und HNO_3) schnell ihre Farbe. Widerstandsfähiger zeigt sich der Farbstoff der Salzsäure und selbst freiem Chlor gegenüber.

Stets nehmen aber die Schnitte hierbei eine grünliche Färbung an, indem das bis dahin verdeckte Chlorophyll zur Geltung kommt.

Das Verhältniss, in dem das Chlorophyll zu den Farbkörnern steht, konnte bei diesen letzten drei Pflanzen nicht ermittelt werden. Fast scheint es so, als wenn die braunen Farbkörner durch Umbildung der Chlorophyllkörner entstanden sind, doch bleibt es späteren Untersuchungen überlassen, dies Dunkel zu lichten.

Hervorheben will ich nur noch, dass die Chlorophyllkörner als Farbstofftrager auch Protoplasma haben. Denn nach dem Entfärben derselben mit Alkohol blieben farblose Kügelchen zurück, die von Jod gebräunt wurden.

P. Fritsch gez. C. Lane lith.



P. Fritsch gez. C. Lauer lith.

P. Fritsch gez. C. Laue lith.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik

Jahr/Year: 1884

Band/Volume: 14

Autor(en)/Author(s): Fritsch Peter

Artikel/Article: Ueber farbige körnige Stoffe des Zellinhalts. 185-231