

„Haargebilde“

der Blätter phanerogamer Gewächse und der Anteil, den die

Kieselsäure

hierbei hat.

Morphologisch-physiologische Studien

von

Rudolf Lehbort.

Mit 9 Figurentafeln nach mikrophotographischen Aufnahmen.

Reval,

Februar 1916 bis Januar 1917.

Est. A-11759

Beilage zur Zeitschrift Pharmacia in Reval. III. Jahrgang 1923.
Nr. 2/3, 1923.

„Haargebilde“

der Blätter phanerogamer Gewächse und der Anteil, den die

Kieselsäure

hierbei hat.

Morphologisch-physiologische Studien

von

Rudolf Leibert.

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
124335

Mit 9 Figurentafeln nach mikrophotographischen Aufnahmen.

Reval,

februar 1916 bis Januar 1917.

i203781491

Vorwort.

Als Anfang 1917 diese Arbeit niedergeschrieben wurde, war die Hoffnung sie veröffentlichen zu können, noch vorhanden, sie schwand jedoch immer mehr und mehr und nun sind 6 Jahre dahingegangen, in denen auch ein Weiterarbeiten auf diesem Gebiet dem Verfasser nicht gelang.

Da erschien Mitte 1921 in Nr. 15 der „Naturwissenschaftlichen Wochenschrift“ ein Referat von *J. Moewes* über eine Arbeit „Aschenbild und Pflanzenverwandtschaft“ von Professor *Hans Molisch*, in dem ein neues und eigenartiges Verfahren beschrieben wird, das auf der Veraschung von Pflanzenteilen, insbesondere von Blättern und Blatteilen beruht.

Man kann sich vorstellen, welche Freude und neue Anregung Verfasser der vorliegenden Arbeit beim Lesen des genannten Aufsatzes empfand; ist es doch eine Genugtuung, wenn man von autoritativer Seite eine Bestätigung seiner Experimentresultate und der hierzu angewandten Methoden erfährt.

Wenn auch die Ergebnisse sich nicht völlig decken, war doch auch das Forschungsziel nicht das gleiche, so hat es sich gezeigt, daß der auf beiden Seiten eingeschlagene Weg, die Benutzung der Aschenbilder, zur Lösung vieler bisher noch offenstehender Fragen führt, und es darf der Hoffnung Ausdruck gegeben werden, daß noch viele diesen Weg mit Erfolg beschreiten werden.

Verfasser hat die vor 6 Jahren jäh abgebrochenen Untersuchungen neuerdings wieder aufgenommen und glaubt, der Lösung einiger noch unerforschener Probleme (die Kieselerde und die Verwendung von Mineralstoffen überhaupt seitens der Pflanze) Schritt vor Schritt näher rücken zu können. Dies betrifft besonders die am Blatt der *Potentilla argentea* erwähnten Vorgänge, den heftigen Widerstand der Blattmasse gegen stärkste Säuren. Es wiederholte sich dieses an anderen Pflanzen, auffallend an *Salvia silvestris*, worüber später berichtet werden soll, denn hier kommt noch vieles hinzu, was noch eingehender Prüfung und Bearbeitung bedarf.

An dieser Stelle sei es gestattet, zwei Herren zu danken, dem Herrn Dozent *E. Spohr*, jetzt in Dorpat, der 1916 von Moskau aus mit vieler Mühe die in der Schrift genannten Zitate mir zustellte und sich für meine Arbeit lebhaft interessierte. Ferner dem Redakteur der „Pharmacia“, Herrn Provisor *Rud. Wallner*, Chef des Apothekenwesens der staatlichen Medizinalbehörde in Cesti, der die Drucklegung dieser Arbeit ermöglichte.

Reval, im Mai 1923.

Der Verfasser.

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

Durch Anwendung von Oberlicht-Beleuchtung bei mikroskopischen Beobachtungen mit schwachen Vergrößerungen (7,5 bis 200 linear) gelang es mir im Herbst 1915 an Calamagrostis-Arten festzustellen, daß die „Behaarung“ der Spelzen, Ährchenstiele und Blätter nicht organischen sondern mineralischen Ursprungs ist. Die Schuppen, Borsten, Haare, Blattnerven sind nicht Zellen aus Pflanzenstoff, sondern es sind Gebilde aus Kieselsäure, ohne oder häufig mit sehr dünnem Überzug aus Zellstoff. Verbrennt und verglüht man auf Platinblech in der Bunsenflamme ein kleines Blattstück einer beliebigen Calamagrostis, so verbleibt als Asche ein weißes, durch Kohlepartikel teilweise geschwärztes Kiesel skelett, eventuell mit daran hängenden langen Kieselhaaren (z. B. bei *C. lanceolata*).

Doch über die Befunde an Vertretern des genus Calamagrostis, die Möglichkeit, nach einem kleinen Blattstück mikroskopisch (bei Oberlicht) jede reine Art bestimmen zu können, und anderes wird in einer besonderen Schrift berichtet werden*).

Diese eigenartigen, vom bisher angenommenen abweichenden Beobachtungsergebnisse gaben Veranlassung, die Blattbehaarung anderer Pflanzen bei Oberlicht-Beleuchtung mikroskopisch zu prüfen.

Hierbei wird der Mikroskop-Spiegel abgedreht und mit Hilfe einer großen konvergen Linse das Licht einer elektrischen Glühlampe auf das Objekt gerichtet.

Als erstes Objekt fiel mir ein getrocknetes Blatt von *Alyssum montanum* L. in die Hände. Die Überraschung war nicht gering, als sich die „Sternhaare“ des „Haarstülpes“ wie wunderbare aus Glas bestehende Gebilde darstellten, namentlich bei Beobachtungen mit Vergrößerungen von 100 mal und mehr.

Leider stand mir eine äußerst dürftige Literatur über diesen Gegenstand zur Verfügung: Kerner-Merilauns Pflanzenleben und eine Anzahl älterer und neuerer Lehrbücher, von denen das neueste Straßburgers vorzügliches Werk, Ausgabe 1911, war. Die Versuche, Spezial-Literatur zu beschaffen, scheiterten an den durch die Kriegslage bedingten Zuständen. So blieb es mir versagt, De Bary's vergl. Anatomie oder die Arbeiten von Mohl, Grob, Netolitzky, Zimmermann und anderen kennen zu lernen. Man darf wohl annehmen, daß in den Lehrbüchern, namentlich im letztgenannten (Straßburger) die Resultate der Spezialforschung wiedergegeben sind, wenn auch oft in lakonischer Kürze.

Die Kenntnis der einschlägigen Literatur bei Spezialstudien ist ja gewiß unerlässlich, aber andererseits kann sie auch ein Hindernis darstellen, insofern, als man leicht dazu gelangt, die Resultate früherer Forscher als absolut feststehend,

*) „Neue Ergebnisse der Calamagrostis-forschung“, 1916.

unumstößlich, zu erachten, und unwillkürlich unterläßt, subtile Nachprüfungen „ab ovo“ zu unternehmen. Diese Erfahrung mußte ich machen, als mir — lange nach Beginn meiner Studien — von einem Freunde handschriftliche Zitate aus dem vorerwähnten De Bary'schen Werk freundlichst zugestellt wurden: die wichtigsten davon sollen hier Platz finden und das darin ausgedrückte mit meinen Funden verglichen werden. Denn — um es sogleich zu sagen — meine Beobachtungen haben mich zu abweichenden Resultaten geführt.

Bevor zu Einzelheiten geschritten wird, soll hier die von mir befolgte Arbeits-Methode kurz beschrieben werden; leider vereitelte Zeitmangel die Ausführung genauer, namentlich quantitativer chemischer Analysen.

Als Hauptbedingung für einen Erfolg ist die schon erwähnte Beobachtung der Blatt-Objekte bei Oberlicht zu nennen, da die grüne Farbe der Spiegelbeleuchtung im Mikroskop schier unüberwindliche Hindernisse entgegensezt. Wohl kann dem teilweise abgeholfen werden durch Extrahieren des Chlorophylls aus den (frischen) Blättern mit siedendem Alkohol, und bisweilen gestattet ein so präpariertes Blatt auch bei Spiegelbeleuchtung sehr wertvolle Beobachtungen.

Als zweites empfiehlt es sich, die Fixierung des Erschauten durch mikrophotographische Aufnahmen, die technisch leicht auszuführen sind und wenig Zeit beanspruchen, wenn man sich etwas darauf einrichtet. Beim Aufzeichnen des Gesehenen aus freier Hand oder mit Zeichen-Apparat kann es auch bei größter Gewissenhaftigkeit geschehen, daß schematisiert wird, wodurch der Objektivität Abbruch geschehen kann.

Drittens hat es sich in jahrelanger Praxis bewährt, (fast) alle Objekte trocken (nicht wie sonst üblich in Wasser, Glycerin oder einer anderen Flüssigkeit), zwischen 2 Objektträgern fixiert, zur Untersuchung und mikrophotographischen Aufnahme gelangen zu lassen. Blätter-Ausche muß gelegentlich sogar nur auf einem Objektträger liegend, ohne Deckglas, mikroskopisch beobachtet, wenn erforderlich, auch so photographiert werden. Dagegen müssen die gleichfalls trockenen Objekte (z. B. Asche) — will man mit stärkeren Vergrößerungen arbeiten — statt mit einem zweiten Objektträger, mit dem üblichen dünnen Deckglas bedeckt werden. Letzteres wird dann mit 4 schmalen gummierten Papierstreifen angeklebt am Objektträger. Solche starke Vergrößerungen — über 200 — gestatten aber, wenigstens bei meiner primitiven Apparatur, keine Anwendung von Oberlicht, weil das Mikroskop-Objektiv zu nahe an das Objekt herangeschoben werden muß.

Als letztes sei noch die mit der mikroskopischen verbundene chemische Prüfung und technische Vorbereitung genannt.

Wer noch nie den Versuch gemacht hat, ein Pflanzenblatt, z. B. von *Urtica* oder *Alyssum*, auf Platinblech zu verglühen, wird über das Resultat erstaunt sein können: es verbleibt ein weißes Aschen-Skelett, zusammenhängend und von etwas verkleinerter Gestalt des Blattes, das man — etwas Übung vorausgesetzt — unverlezt auf einen Objektträger übertragen kann. Ein Blick durchs Mikroskop — bei Oberlicht! — auf solch ein Skelett zeigt sofort das Verhältnis der mineralischen Baustoffe der Pflanzen zu den organischen, denn letztere haben sich durch das Glühen gasförmig verflüchtigt, wobei die entstandene Kohle oft

sehr widerstrebend sich erweist. Im Alyssumblatt erkennt man nun den „Sternhaarfilz“ als aus Mineralstoff bestehend wieder, fast unverändert in der äußeren Gestalt. Ein Tröpfchen Salzsäure auf solch ein Aschen skelett gebracht, läßt es momentan scheinbar völlig verschwinden. In der salzsauren Lösung der Blatt-Asche aber gibt oxalsaures Ammon einen mehr oder weniger kräftigen Niederschlag von Calciumoxalat. Hiernach lag es nahe anzunehmen, der „Sternhaarfilz“ bestände aus kohlen saurem Kalk (oder einer anderen Kalkverbindung, die durch Glühen in Calciumcarbonat übergeht): traf das zu, so mußten die Sternhaare durch Behandeln mit Salzsäure auch ohne vorheriges Glühen restlos aufgelöst werden. Einige Blätter wurden 24 Stunden und länger in nicht konzentrierter Salzsäure (1 Teil mit 2 T. Wasser) mazeriert, abgewaschen, getrocknet und unters Mikroskop gebracht: die Sternhaare erschienen unverändert in ihrer äußeren Gestalt im Bilde, obgleich die von den entkalkten Blättern abfiltrierte Salzsäure den durch oxalsaures Ammon nachweisbaren Kalk aufgenommen hatte.

Da also die Sternhaare weder durch Feuer noch durch Salzsäure zerstörbar sind, können sie weder aus Pflanzenstoff, noch aus Kalk bestehen, sondern müssen aus einem Stoff entstanden sein, der sowohl dem Feuer als auch der Salzsäure widersteht, und dies tut die Kieselsäure. Diese ist im Alyssumblatt in weit geringerer Menge vorhanden als der Kalk. Umgekehrt im Calamagrostis-Blatt, das relativ viel Kieselsäure und nur wenig Kalk führt. Trotz dieses Gegensatzes verhalten sich beide sehr ähnlich bei folgendem Versuch: Die durch verdünnte Salzsäure entkalkten Blätter werden auf Platinblech verglüht, es hinterbleibt (vom Alyssumblatt eine sehr geringe) formlose Masse von Kieselsäure, in der keinerlei Strukturen erkennbar sind. Wir werden sehen, daß die Blätter anderer Pflanzen (z. B. der Borruginaceen) sich bei diesem Versuch anders verhalten. Dagegen zeigt die Asche unpräparierter, nicht durch Salzsäure entkalkter Blätter einen wesentlichen Unterschied: verglüht man ein Alyssumblatt, so entsteht — wie wir sahen — fast sofort ein schneeweißes Aschen skelett ohne Schwärzung durch Kohle; wird dagegen ein Calamagrostis-Blatt verglüht, so gelingt es nicht, die Asche kohlefrei zu erhalten, auch nach minutenlangem Glühen nicht, feinste Kohlenpartikel überziehen die Oberfläche der kleinsten Kieselskelett-Teilchen *). Eine Erklärung hierfür läßt sich vielleicht darin finden, daß die spiegelglatte Oberfläche des Kieselskeletts der Grasblätter bei dem geringen Kalkgehalt unverändert bleibt, die fest anhaftende Kohle daher für den Sauerstoff der Luft zu wenig Angriffspunkte bietet, daher nur sehr schwer zu Diogen verbrennt, während im Alyssumblatt die relativ große Menge Kalk mit der Kieselsäure der Sternhaare einen Kiesel-Kalk-Sinter erzeugt, wobei Oberflächen-Veränderungen oder Reduktionen stattfinden, die den entstandenen Kohle-Überzug lockern und den Zutritt des Luft-Sauerstoffs erleichtern.

*) Zum Schluß dieses Aufsatzes werden wir ein Verfahren kennen lernen, das gestattet, aus den Blättern von Calamagrostis, Carex und anderen monokotylen Pflanzen zusammenhängende Kieselskelette ohne förrende Kohlefärbung zu erhalten: Auskochen der Blätter in konzentrierter Salzsäure und nachheriges Verglühen auf Platinblech.

In der Literatur — so weit sie mir bisher zugänglich war — wird den Mineralstoffen beim Aufbau der Blatt-Organen durchweg eine nur untergeordnete Bedeutung zugesprochen, der immer wiederkehrende Ausdruck hierfür lautet: „Einlagerung“ von Kalk oder Kieselsäure in den „Zellenwandungen“. De Bary sagt: „Von feuerbeständigen Stoffen, die in der Zellmembran eingeschlossen sind, sind allgemein verbreitet: Kieselsäure, oxalsaurer und kohlenaurer Kalk.“ Weiter: „Das Calciumcarbonat durchsetzt in bedeutenden Mengen die Oberhaut vieler Haare und vorzugsweise die zapfenförmigen Wandverdickungen der Zellwände, bekannt als Cystolithen, wie man sie an den Urticaceen und Acanthaceen antrifft. Von Kieselsäure durchsetzte Epidermis beobachtete Mohl in umfangreichen Untersuchungen (Botan. Zeitung, 1861, p. 209, 305) bei 41 Pflanzenfamilien. Kieselsäure findet sich vorzugsweise in den äußersten Schichten der Außenzellen-Wände. . . . In der Mehrzahl der Fälle erstreckt sich die Verkieselung, stets auch bei glatter Epidermis, auf die ganze äußere Zellenwand und auf die äußeren Teile der Zellwand-Seiten, so namentlich bei vielen Gramineen und Cyperaceen.“ Ferner: „In den Haargebilden vieler Cruciferen (Alyssum, Cheiranthus Cheiri, Capsella und anderen) kann chemisch eine bedeutende Menge von kohlen-saurem Kalk nachgewiesen werden. Hier erscheint er nicht in Gestalt verschiedener Teilchen, er befindet sich in den äußersten Epidermis-Schichten, besonders in den Verdickungen an den Haaren, die nach außen vorragen.“ *) **)... „Andere harte Haare (Borraginaceae, Helianthus) enthalten, wie es scheint, gleichfalls kohlen-sauren Kalk in ihren Zellwänden.“ — Diesen Zitaten sollen nachher noch weitere, auf die Blätter der Borraginaceae und Urtica bezügliche folgen.

Aber aus den hier vorgeführten schon geht es hervor, daß die Spezialforscher von der Annahme ausgingen,

- 1) daß Kalk und Kieselsäure ihren Sitz nur in den äußersten Epidermis-Schichten hätten in Form von „Einlagerungen“ in den Zellwänden. „Von Kieselsäure durchsetzt“, „verkieselte Zellwände“, das sind die Bezeichnungen, die stets gewählt werden,
- 2) daß die Blatthaar-Gebilde (Alyssum etc.) lebende Pflanzenzellen darstellen, deren äußere Wandungen die Mineralien eingeschlossen enthielten.

Beide Annahmen erscheinen mir nun nach meinen bisherigen Untersuchungen als nicht völlig unanfechtbar. An Calamagrostis-Blättern kann man deutlich und zweifellos erkennen, daß das Kieselskelett, das als zusammenhängende Masse das Blatt von der Basis bis zur Spitze durchzieht, diesen Annahmen direkt widerspricht. Da kann wohl von einer „Verkieselung der äußersten Zellwand“ nicht die Rede sein. Auch das beim Verglühen eines Blattes auf dem Platinblech hinterbleibende polster-

*) Die Zitate sind nicht wörtlich abgeschrieben, sie mußten aus dem Russischen ins Deutsche (zurück-) übersetzt werden.

**) Die hervorragenden Verdickungen an den Haaren des Alyssumblattes bestehen nicht nur aus Kalk: Salzsäure läßt einen Teil davon unverändert bestehen, wie die Photographie zeigen.

artige Kalk-Kiesel-Skelett bei *Alyssum*, *Urtica* u. a. gestattet der Vorstellung, es handle sich nur um Kalkeinlagerungen in die Zellwände der äußersten Epidermisschicht, keinen Raum. Es macht viel mehr den Eindruck, als ob die Kieselsäure (*Calamagrostis*) und der Kalk (*Alyssum*) ein festes Gerüst bildeten, um das sich der Zellstoff nach außen gruppiert, vergleichbar den Wirbeltierknochen oder Fischgräten, von Fleisch umgeben.

Doch darf diese Vorstellung nicht verallgemeinert werden, bei anderen Pflanzen, z. B. *Potentilla*, ist die Menge der Mineralstoffe eine verschwindend geringe, und bei *Urtica* werden wir wieder anderes beobachten können.

Wenden wir uns nun speziell den Blatt-Haar-Gebilden zu: Die schon vorgeführten Experimente mit den Sternhaaren des *Alyssum*blattes (s. Tafel I) deuten auf die Wahrscheinlichkeit hin, daß diese Gebilde aus glasklarer Kieselsäure bestehen, mit Kalk teilweise gefüllt und mit Kalkauflagerungen außen; keineswegs aber aus (organischen) Pflanzenzellen, in deren Außenwände Kalk eingelagert ist. Schabt man von einem *Alyssum*blatt die Sternhaare mit einem Messer ab — wobei viele unverletzt bleiben — und beobachtet bei Oberlicht, so erscheinen sie wie blitzende Diamanten glasklar, bis auf die Mitte. Glüht man ein wenig von den abgeschabten Sternhaaren auf Platinblech, so behalten sie wohl ihre Gestalt, aber die Konsistenz ist völlig verändert, Bisquit-Porzellan ähnlich geworden und völlig kohlefrei. Ein Tröpfchen Salzsäure auf die abgeschabten (unverglühten) Sternhaare gebracht, läßt diese nun völlig klar werden, auch in der Mitte, in welcher nun grüne Zeichnungen sichtbar werden, von feinem Zellstoff-Überzug herrührend: die Sternspitzen bleiben durchsichtig, weil unbedeckt. Bringt man jedoch etwas Salzsäure auf die vorher verglühten Sternhaare, so werden diese nun fast momentan zerstört: der Kalk löst sich und die gasförmig entweichende Kohlenensäure sprengt die dünne Kieselhülle in kleinste Bruchstücke ohne jede Struktur. Dies läßt die Folgerung zu, daß die Kieselsäure-Sternhaare außerordentlich dünnwandig und teilweise (von der Mitte bis etwa zur Hälfte) mit kohlenurem Kalk angefüllt sind. Die Salzsäure löst den Kalk auf, wirkt aber nicht lösend auf die Kieselsäure. Der Feuerhut aber halten die dünnwandigen Kieselhaare nicht stand, sie brechen oder schmelzen zusammen, wenn vorher der Kalk entfernt war. Anders verhalten sich die Haare der *Borraginaceae*.

Schon die Betrachtung eines trocknen Blattstückes (etwa aus dem Herbar), z. B. von *Myosotis palustris*, im Mikroskop bei Oberlicht zeigt, daß gewisse Analogien mit den Sternhaaren des *Alyssum*blattes vorliegen. Die glänzenden oder milchweißen „Haare“ gewähren einen überaus zierlichen Anblick: jedes einzelne Haar ist an seiner Basis von einer Rosette umgeben, die aus leicht gewölbten Schildplatten zu bestehen scheint: diese Rosette ist mehr oder weniger tief — je nach dem Alter des Blattes — von Epidermis bedeckt, bei jungen Blättern, wie die Haare, glasartig klar, bei älteren milchweiß erscheinend. Sehr schön zu beobachten außer an *Myosotis palustris* auch an *Myos. sparsiflora* und besonders an *Myos. caespitosa*; an den anderen (baltischen) Arten nicht so deutlich, weil jedes Haar tiefer in die Epidermis eingesenkt erscheint (s. Figurentafel II).

An anderen Borraginaceen-Blättern ist diese Schildrosette teilweise schwächer teilweise viel stärker hervortretend, ganz hervorragend schön an *Lycopsis arvensis* und *Nonnea pulla*, viel schwächer an *Echium vulgare*, *Anchusa* und anderen; *Pulmonaria* zeigt ein abweichendes Bild. Uehnliche Basal-Schild-Rosetten weisen viele Compositen (z. B. *Inula*) und Labiaten (z. B. *Stachys*) auf. Wahrscheinlich noch weit verbreiteter.

Bevor über eigene Experimente berichtet wird, sollen die auf die Borraginaceen bezüglichen Zitate aus De Bary's Werk hier Platz haben. (Wie schon erwähnt, konnten sie nicht wörtlich abgeschrieben werden, doch darf gehofft werden, daß durch die zwiefache Uebersetzung keine sinntestellenden Fehler sich eingeschlichen haben): „Lokale Verkieselung der Zellwände trifft man bei einigen anderen Pflanzen Hierher gehören auch die cystolith-artigen Ausstülpungen an den Zellwänden der Borraginaceae und Compositae (*Onosma*, *Cerinthe*, *Helianthus trachelifolius*).“ ferner: „An die Cystolithen schließen sich an die Knötchen, die bei den Borraginaceen und einigen Compositen die Basis der Haare umgeben (Mohl, Botan. Jg. 1861, p. 229). Die in die Epidermis eingesenkte Basis dieser Haare zeichnet sich dadurch aus, daß sie von doppelten konzentrischen Reihen von Zellen umgeben ist, deren Zellwände an den zu den Haaren hingewandten Teilen Verdickungen aufweisen, die stark geschichtet, in das Innere der Höhlungen dieser Zellen eingedrückt sind, die Hälfte oder zwei Drittel, bisweilen die ganze Höhlung der Zellen einnehmend. Die Verdickungen der Oberhaut schließen (außer Kieselsäure-Verbindungen) viel kohlensauren Kalk ein, z. T. in Form sehr kleiner Körner oder krystallinischer Klümpchen. Beispiele: *Gerinthe aspera*, *major*, *minor*; *Onosma stellulatum*, *arenarium*; *Echium vulgare*, *fruticosum*; *Lithospermum officinale*; *Anchusa italica*; *Helianthus tuberosus*, *trachelifolius*, *macrophyllus*; *Obeliscaria columnaris*; *Heliopsis laevis* (Mohl). An mehrjährigen Haaren des *Helianthus* trifft man oft solche Verdickungen in den unteren Zellen, von der Seite her und auf der unteren Fläche der oberen Zellwand“. (Ob richtig übersetzt?) „Es ist nicht bekannt, ob die mit Kieselsäure imprägnierten Zellen-Rosetten, welche die Haare oder Haar-Rudimente der Haare an *Ulmus*, den *Dilleniaceen* und *Chrysobalanen* umgeben, auch kohlensauren Kalk enthalten.“

Aus allen diesen Zitaten geht nun hervor, daß angenommen wird, die verkieselten Rosetten gehörten der Epidermis des Blattes an und umgaben die Basis des Haares, daß also jedes Haar, als schlanker Kegel gedacht, wie eingesenkt in die Zentral-Öffnung der verkieselten Epidermis-Rosette erscheine.

Das aber ist nicht der Fall: die Kiesel-Rosette gehört nicht der Epidermis an, sondern sie gehört zum Haar, stellt dessen Basis dar, wie aus einem Guß hergestellt, dem Schalltrichter einer Trompete vergleichbar. Diese flach trichterförmige Haarbasis ist nun von Epidermiszellen mehr oder weniger überwachsen, wodurch die Befestigung am Blatt — keine starre, sondern etwas beweglich, elastisch — so wunderbar erreicht wird.

Hier soll gleich eingeschaltet werden, daß die Befestigung der einzelnen Kieselhärchen des Blütenstiels und des Kelches der *Myosotis*-Arten auf einem

anderen Prinzip beruht: da hat jedes Härchen an der Basis eine Art Kugelgelenk, der Kugelpopf seitlich, wie beim Buchstaben J. Dadurch sind auch diese Härchen in einer Richtung beweglich, bald mehr, bald weniger angedrückt an den Blütenstiel oder Kelch (s. fig. 12, Tafel II).

Das hier von den Borraginaceenblättern mitgeteilte ist leicht in folgender Weise nachzuprüfen: Durch Mazerieren in verdünnter Salzsäure, wie oben beschrieben, wird dem zu prüfenden Objekt, z. B. einem Blatt (oder Kelch) von *Myosotis palustris*, der Kalk entzogen; nach Abwaschen und Trocknen wird das entkalkte Blatt auf Platinblech verglüht, wobei ein geringes Quantum Asche hinterbleibt. Diese unter das Mikroskop-Objektiv gebracht, zeigt nun bei Spiegel- oder Oberlicht-Beleuchtung einzelne Haare mit dem trichterförmigen (resp. dem kugeligen) Basalteil. Wird ein Blatt unpräpariert verglüht, so hinterbleibt eine große Menge Asche in der Form des Blattes, schneeweiß ohne Kohle, aber — im Gegensatz zum *Alyssum*blatt — läßt sie nichts von den Haaren erkennen, alles bildet eine formlose amorphe Masse aus Kalk-Kiesel-Sinter. In der Salzsäure gelöst ist viel Kalk und Spuren von Eisen.

Ältere *Myosotis*-Blätter, sowie Blätter von *Lycopsis* und *Nonnea* haben Haar-Rosetten, die wie aus Porzellan oder Steingut hergestellt erscheinen; ebenso oft auch die Haar-Röhre selbst im unteren Teil. Das wird durch amorphen Kalk verursacht, der die Höhlungen der Kieselhaare und der Kiesel-Rosettenschilder füllt und der durch Salzsäure entzogen werden kann.

Also auch an den Borraginaceen ist ersichtlich, daß die Haare (samt Basis) aus Kieselsäure und nicht aus Zellstoff bestehen, erstere mit einem Ueberzug aus Zellstoff überzogen, was oft kleine Buckel und punktförmige Unebenheiten vor-täuscht. Leicht ist das zu beweisen: Salzsäure verändert die Oberfläche der Kieselhaare nicht, wohl aber die Glut, es bildet sich anfangs ein Kohle-Ueberzug und gelingt's, den zu vergasen, so erscheint das Haargebilde völlig glatt. Möglicherweise ist dieser Ueberzug im ersten Entwicklungs-Stadium eine feine lückenlose Membran, beim Altern (resp. beim Welken oder Trocknen) erst nebartig werdend.

Eine Anzahl Mikrophotogramme auf den beigefügten Figurentafeln soll das hier dargelegte illustrieren.

In Blattbehaarungs-Fragen bilden das klassische Beispiel die Brennhaare der *Urtica*, deren eingehende Prüfung erst jetzt (im beginnenden Frühling) mit frischem Material möglich wurde. Vorher aber seien noch Vertreter anderer Pflanzenfamilien in Wort und Bild vorgeführt. Sehr viele Cruciferen haben zusammengesetzte Kieselhaare, die von *Alyssum calycinum* sind kaum von denen des *Alyssum montanum* zu unterscheiden. Geprüft und photographiert wurden Blätter von *Erophila*, *Draba incana*, *Erysimum cheiranthoides*, *Capsella*, *Berteroa*.. Als charakteristisches Beispiel für Blattbehaarung wird in Lehrbüchern *Verbascum Thapsus* genannt. Hier sind es sehr ästige „Wollhaare“, die die Blattflächen dicht bedecken: im Mikroskop ein schöner Anblick. Wird nun ein Blattstück vorsichtig auf Platinblech verglüht, so findet man in der Asche Teile dieser ästigen „Wollhaare“ (fig. 6 auf Tafel IV), also auch diese bestehen aus

Kieselsäure mit einem sehr feinen Zellstoff-Ueberzug. Auch die gelben Kronblätter des *Verbascum Thapsus* werden von ähnlichen Wollhaaren geschmückt. Daß auch die gegliederten Haare auf den Blättern der *Centaurea Jacea* aus Kieselsäure bestehen, zeigte die Asche.

Auffallende Haargebilde hat *Sambucus racemosa*, auch *Lamium purpureum* und *Lamium album*, welche letztere schon flüchtig an die Brennhaare der *Urtica* erinnern: der untere Teil ist breiter und durch eine Querwand vom oberen, längeren getrennt, was wie ein Sockel aussieht.

Doch ist es an dieser Stelle kaum möglich, all das wunderbare aufzuzählen und im Bilde vorzuführen, was die Oberlichtbeleuchtung bei Anwendung des Mikroskops an den Blättern verschiedener Pflanzen dem Auge des Beschauers erschließt. Nur ein Beispiel für viele: heut nachmittag (8/21 Mai 1916) nahm ich im Vorübergehen einige junge Pflänzchen einer Melde — *Chenopodium glaucum* — an denen außer den beiden Cotyledonen nur das erste Blätterpaar vorhanden war, nach Hause und beschaute den schon ausgebildeten „mehligem“ oder „drüsigem“ Belag, der sich bei 50—100 — facher Vergrößerung bei Oberlicht echten Perlen ähnlich präsentierte, mattweiße vollkommen runde Kugeln. (Fig. 11 auf T. IV) *Chen. album*-Blätter sind gleichfalls mit „Mehlstaub“ bedeckt, der aus ähnlichen Kugeln besteht, nur weniger matt, etwas klarer und glänzender.

Die Blätter von *Urtica dioica* und *urens*.

Auch hier sei es gestattet, mit einigen Zitaten zu beginnen. De Bary kann nur in folgenden kurzen Notizen zitiert werden: „(Nach H. Graf zu Solms-Laubach, Bot., Jtg., 1871). Die bemerkenswerteste Ablagerung von kohlensaurem Kalk entsteht inmitten der Epidermis in Wandverdickungen, die von Weddel (Ann. p. nat., 4 Ser. II. p. 267.) Cystolithen genannt werden.“ ferner: „Hierher gehören auch die Basalteile der Cystolithen der *Urticaceae*, deren Verkieselung Payen nachgewiesen hat.“ — Im Lehrbuch der Allgem. Botanik von Dr. J. Reinke, 1880, sind auf S. 230 Brennhaare der *Urtica urens* abgebildet, „im Inneren mit Protoplasma und Zellkern“ *). — Kerner-Merilaun (II Aufl. „Pflanzenleben“, Bd. I, S. 426.) spricht von der „außerordentlichen Dünne der Zelloberfläche unter dem Köpfchen“ und von der durch die Verkieselung des oberen Teils der Brennborste erzeugten Sprödigkeit. „In der knotenförmigen Verdickung an der Basis ist die Zelloberfläche weder verkieselt noch verfalzt, sondern besteht aus unverändertem Zellstoff. (sic!) **).“ Seite 425 sagt Kerner-Merilaun von den Blatthaaren der *Borraginaceae*, die er „Stechborsten“ nennt: „die Borste selbst, welche diesem Piedestal aufsitzt, wird nur aus einer einzigen Zelle gebildet, die, vollständig ausgewachsen, ihren Plasma-Inhalt verliert und luftgefüllt ist. Die Wand dieser verlängerten Zelle ist durch Einlagerung von Kieselsäure gehärtet“). Und weiter: Die Brennborsten der *Nessel* in

*) Diese Figuren-Cliches sind in einem ganz neuen, 1914 erschienenen russischen Lehrbuch benutzt worden und daran Betrachtungen angeknüpft, die zu bestätigen mir im weiteren Verlauf meiner Untersuchungen der Brennhaare durchaus nicht gelang.

**) Der Sperrdruck von mir veranlaßt. R. L.

sind ähnlich wie die Stechborsten der Asperifoliaceae aus einzelnen großen Zellen gebildet, die nach unten kolbenförmig erweitert, nach oben lang ausgezogen sind.“ Die Abbildungen dazu (auch in Schmeil's Lehrbuch der Botanik, 1909, in Straßburgers gleichnamigem Werk, 1911) zeigen freilich nicht mehr Plasma und Kern, aber doch das nach unten abgerundete, völlig — gleichsam hermetisch-geschlossene Brennhaar, einer Glas-Ampulle ähnlich, und so in eine aus Zellen gebildete napfförmige Höhlung eingesenkt. Straßburger, S 103 und 104, sagt hierzu: „Diese Brennhaare gehen ebenfalls aus einer Epidermis-Zelle hervor, die während der Haarbildung stark aufschwillt und von benachbarten Epidermis-Zellen becherförmig umwachsen wird. Durch Zellvermehrung in dem an die Haarbasis angrenzenden Gewebe erhält das Haar gleichzeitig einen säulenförmigen Fuß. Die Haarzelle spitzt sich oben zu und in ein kleines schräg aufgesetztes Köpfchen. Unter diesem Köpfchen bleibt die Haarwandung unverdickt. Das Ende des Haares ist verkieselt, die übrigen Wandteile bis auf die untere Anschwellung, den Bulbus, verkalkt *), das ganze Haar daher sehr steif. Es bildet eine Schutzvorrichtung gegen Tiere Der Inhalt ist sehr giftig, enthält ein Toxin, das nach Haberlandt eine eiweißähnliche Substanz ist“

Soweit die Zitate; es folgen nun meine eigenen Beobachtungen. Am 17./30. April gelang es, ein junges, etwa 10 cm. hohes Exemplar von *Urtica dioica* aus einem Garten zu erhalten; gleichzeitig hatte sich in einem Blumentopf im Zimmer ein Exemplar von *Urtica urens* entwickelt, von etwas geringerer Größe. Von jeder Art wurden fast gleichgroße Blätter, etwa 2,5—3 cm. zwischen 2 Objektträger ausgebreitet und bei ganz schwacher (7,5) Vergrößerung verglichen. *U. dioica* ließ auf der Oberseite etwa 60—70 wohlausgebildete große Brennhaare zählen, *U. urens* nur 10; auf der Unterseite der *dioica* zwischen 10 und 20, der *urens* nur 4 bis 6. Beide Seiten des *dioica*-Blattes sind dicht besetzt mit kleinen Haaren ohne Sockel (Brennborsten), während an *urens* nur zerstreut solche kleine Haare auftreten. Die großen Brennhaare sind an beiden Arten ganz gleich gestaltet, 1,75 bis 2,25 mm. lang, wovon auf den Sockel 0,5 bis 0,75 mm. entfallen. Auf der oberen Blattseite entspringen die Brennhaare scheinbar an beliebigen Stellen der Epidermis, an der unteren aber ausschließlich von den Blattnerven aus, meist bajonnett-artig abgebogen **). So lange die Blätter ganz frisch sind, gibts außer Haaren und Blattnerven nicht viel zu sehen, nach einigen Tagen aber bemerkt man (deutlich an *urens*, *dioica* ist zu dicht behaart) viele runde Punkte (bei Oberlicht) durchschimmern, allerdings nur sehr schwach. Entzieht man jedoch durch siedenden Alkohol — wenigstens teilweise — das Chlorophyll, so ergibt sich ein wundervolles Bild (auch bei Spiegelbeleuchtung): die ganze Blattfläche ist durchsetzt mit weißen kugelförmigen Kalkkonkrementen, die fast so groß sind, wie der Durchmesser der Brennhaare an

*) Auch hier ist der Sperrdruck von mir veranlaßt. R. E.

***) Ganz besonders reich bewehrt mit Brennadeln sind die Blütenstände der *Urtica dioica* sowohl als auch der *urens*, vorzugsweise an der Unterseite; tatsächlich verteidigt die Brennadel ihre Blüten ganz besonders energisch. (Tafel V, fig. 5, 6).

ihrem mittleren Teil (ca. 0,06 mm.). Diese Konkremente liegen in gewissen Abständen von einander, nicht wie der Zufall es fügen könnte, zusammengehäuft hier, weit auseinander getrennt dort, sondern recht gleichmäßig verteilt, den Raum unmittelbar neben den Blattnerven beiderseits freilassend. Jede Kalkkugel hat an 2 entgegengesetzten Polen Vertiefungen, in welchen eine glänzende Masse zu bemerken ist (vielleicht ein Kieselsäure-Kern?) Diese Vertiefungen sind als helle oder dunkle — je nach der Beleuchtung — Punkte immer zu sehen, weil sie eine Achse zu bilden scheinen, die fast im rechten Winkel zu den Blattflächen steht. Aus dem Wortlaut der vorgeführten Zitate geht nicht hervor, ob diese Konkremente „Cystolithen“ genannt werden, aber es scheint doch so, denn was anders sollten die „zapfenförmigen Wandverdickungen der Zellwände, bekannt als Cystolithen, wie man sie an den Urticaceae und Acanthaceae *) antrifft“ bedeuten? Wenn aber dies die Cystolithen sind, so ist der andere Satz nicht recht verständlich: „Hierher gehören auch die Basalteile der Cystolithen der Urticaceae, deren Verfiesselung Payen nachgewiesen hat“... Unverständlich erscheint es auch, wie diese relativ großen Kalkkugeln als „Verdickungen der Zellwand“ aufzufassen sind. Mir will es scheinen, als ob diese Kalkkugeln den Raum zwischen der Epidermis der oberen und unteren Blattfläche ausfüllen, die Zellwand allein dürfte ihnen kaum Platz gewähren. Ein Querschnitt durch ein frisches Blatt (in Glycerin-Gelatin präpariert) bestätigt diese Vermutung: die Konkremente sind in verschiedener Höhe verteilt, nahe der Ober- oder Unterseite, mitten zwischen beiden oder näher zur einen oder der anderen. (Tafel VIII, fig. 6).

Schön präsentieren sich diese Kalk-Konkremente in der Asche eines frisch verglühten Blattes von *Urtica dioica*, aber noch schöner von *U. urens*. Nach Verglühen eines ganzen Blattes bleibt das Aschen skelett, wie schon gesagt, vollständig heil erhalten, während des Glühens kann man beobachten, wie die Brennharre aufrecht stehen bleiben, nicht etwa abbrechen. Rasch verschwindet der größte Teil der Kohle und es resultiert ein fast weißes Kalkskelett, das nun unterm Mikroskop bei geringer Vergrößerung (11,5) und Oberlicht einen eigenen Anblick gewährt: als dicke Stränge treten die „Blattnerven“ aus Kalk (Blattknochen“ wäre richtiger!) hervor; wie Pelzwerk sehen bei *dioica* die unzähligen kleinen Haare aus und darüber hin liegen, resp. stehen die großen Brennhaare als schlanke weiße Kegel.

Bei dieser schwachen Vergrößerung bemerkt man an *dioica* nicht, an *urens* jedoch wohl schon die Kalk-Konkremente, die bei 40 bis 50 facher Vergr. prächtig deutlich erscheinen (s. die entsprechenden Figurentafeln). In einem chlorophyllfreien Blatt erscheinen sie als runde oder ovale Körper mit netziger Oberfläche und dem besprochenen dunklen Fleck oben auf. (Oberlicht, Vergr. über 100 wie auf Tafel VIII, fig. 5 zu sehen).

Doch, verlassen wir nun diese — wie es scheint — noch etwas rätselhaften Kalk-Konkremente, resp. Cystolithen, von denen noch nachzutragen wäre, daß sie

*) Die Basis der Blattdornen an *Carduus* und *Cirsium* enthält ähnliche Kalk-Konkremente in Form von Stäbchen und ovalen Körperchen (Tafel IV, fig. 8).

sich in einem durch Salzsäure entkalkten Blatt nicht finden, und wenden wir uns nun der Hauptsache, den „Brennhaaren“ zu.

Eine Entwicklung dieser, wie sie in Reinkes Lehrbuch der allgem. Botanik, 1880, S. 230, abgebildet ist, d. h. von kleinen Gebilden ohne Sockel zu den voll ausgebildeten, konnte ich nicht beobachten, obgleich ich auch die Cotyledonblätter sorgfältig prüfte. Auch auf den jüngsten Blättern finden sich keine Uebergänge von den kleinen sockelfreien Borsten zu den typischen Brennhaaren, der Abbildung etwa entsprechend. Ebenso gelang es mir niemals, obgleich wohl hunderte von Brennhaaren von jungen und alten völlig frischen Blättern geprüft wurden, Protoplasma und Zellkern zu sehen, obschon die Brennhaare selbst bei richtiger Beleuchtung glasklar erscheinen, so daß man durch sie hindurch die Zeichnungen der Blattoberfläche erkennt.

Noch eine andere ältere Bemerkung sei hier gestreift: in De Candolle's „Anleitung zum Studium der Botanik“, bearbeitet von Prof. Dr. Alex. von Bunge, 1844, Seite 218, lesen wir: „Der salpetersaure Kalk ist beobachtet worden in der Borago, der Brennessel, der Sonnenblume, der Parietaria; der salzsaure in den Tabaksblättern, den Wurzeln des Aconitum Lycoctonum.“ Diese Angabe chemisch an der Nessel nachzuprüfen, war mir nicht vergönnt, ebenso die ältere Ansicht, die Urtica-Haare enthielten Ameisensäure, sowie die neuere, sie enthielten ein giftiges Toxin. Chemisch leicht nachzuweisen sind: Kalk (in beträchtlicher Menge), Eisen (wohl etwas mehr als nur Spuren) und die Kieselsäure.

Von der Verteilung des Kalkes und der Kieselsäure in den Brennhaaren lasen wir in Straßburgers Lehrbuch: „Unter diesem Köpfschen bleibt die Haarwandung unverdickt. Das Ende des Haares ist verkieselt, die übrigen Wandteile bis auf die untere Anschwellung, den Bulbus, verkalkt.“ Kerner-Merilaun sagt noch ausdrücklich: „in der knotenförmigen Verdickung an der Basis ist die Zellhaut weder verkieselt noch verkalkt, sondern besteht aus unverändertem Zellstoff“.

Daß dies den Tatsachen nicht entspricht, sehen wir sofort, wenn wir ein Urtica-Blatt auf Platinblech verglühen: die Brennhaare stehen während dessen aufrecht und bleiben so stehen, was unmöglich wäre, wenn der Bulbus aus unverändertem Zellstoff ohne Kalk oder Kieselsäure bestände; die organische Substanz müßte verbrannt sein und das Brennhaar, seiner Stütze beraubt, hinfallen.

Daß der Bulbus — ich möchte ihn lieber „Sockel“ nennen — mineralische Stoffe enthält, kann man am Aschen-Skelett direkt sehen, denn nach dem Verglühen sieht der Sockel im Mikroskop bei entsprechender Vergrößerung (und Oberlicht) wie eine Morchel aus (Tafel VI, Fig. 9 und 10). Auch gelang es, ein Brennhaar auf einem schon älteren dioica-Blatt zu photographieren, das gerade an der Basis vom Sockel abgebrochen, daneben lag. An der Bruchstelle erkennt man deutlich, daß auch der Sockel Mineralstoffe enthält. (Tafel VI, Fig. 5 und 6).

Diese Mineralstützen bestehen aus Kalk, denn verglüht man ein Blatt, dem vorher der Kalk durch Salzsäure entzogen wurde, dann allerdings brechen die Brennhaare ab, weil nun ein Verbindungsglied fehlt. Im nur entkalkten, nicht verglühten Blatt aber stehen die Brennhaare auch aufrecht, wenn auch das Kalk-

gerüst fehlt, da genügt der durch Salzsäure nicht zerstörte Zellstoff, wenn nicht noch was anderes.

Die in den Lehrbüchern abgebildete geschlossene Flaschenform zu beobachten wollte anfangs garnicht gelingen. Wohl trafen sich unter den hundertten mikroskopisch geprüften Brennhaaren zweimal Formen, die die Ampullenform im Epidermis-Becher erkennen ließen, beide sind photographiert auf Tafel VII, fig. 6 und 11, aber schon bei etwas veränderter Beleuchtung schwand dieser Eindruck. Es zeigte sich öfter ganz etwas anderes: der schlank-kegelförmige mit einem Köpfschen gekrönte Teil des Brennhaares sitzt häufig nicht im Sockel, sondern auf ihm, wie aufgestülpt; dadurch erscheint bei verwelkten Blättern oft der Sockel schmaler im Durchmesser als das Kieselrohr. Das ist leicht nachzuprüfen, auch an der Nische eines Blattes. Blätter, denen das Chlorophyll entzogen wurde, zeigen sehr deutlich, daß das Kieselrohr des Brennhaares unten offen ist, häufig mit einem Wulstrand versehen, wie viele Figuren, namentlich auf Tafel VII dartun. Daß dieser unten scheinbar offene Rand bei weiterer Entwicklung der Nesselpflanze von Zellen, die den Sockel bilden, überwachsen wird, das ist a priori zu erwarten; an jungen Blättern ist es noch nicht zu beobachten.

Sahen wir nun den Sockel des Brennhaares aus einem Kalkgerüst mit Zellstoff bekleidet, bestehen, so wollen wir nun versuchen, vorurteilsfrei die Frage zu beantworten, woraus nun der obere kegel-röhrenförmige Teil besteht. Den Lehrbüchern nach sei das Ende des Haares verkieselt, die übrigen Wandteile verkalkt. Und woraus bestände dann die Wand selbst?

Mazeriert man Nesselblätter in Salzsäure, wäscht aus und trocknet, bringt dann ein so präpariertes Blatt zwischen 2 Objektträgern unter das Mikroskop, so müßten nach dem eben gesagten die Brennhaare stark verändert aussehen (wie es beim Sockel tatsächlich der Fall ist), aber siehe da, die Brennhaare stehen ebenso steif und stramm, wie am unpräparierten Blatt, nur sind sie jetzt völlig klar wie Spiegelglas, von der Basis bis zur Spitze gleichmäßig lichtbrechend. Nun könnte gesagt werden: der Kalk sei wohl entzogen, aber der Zellstoff genüge, die Röhrenform zu erhalten. Verglühen wir nun ein entkalktes Blatt auf Platinblech, so dürfte doch jetzt nur das „verkieselte Ende“ nachbleiben; keineswegs, ganze Brennhaare — natürlich nun ohne Sockel — sind in der Kiesel-Nische zu finden mit dem Köpfschen daran, meist durch Kohle dunkel gefärbt (Tafel VI, fig. 12). Einen deutlicheren Beweis dafür, daß das Brennhaar-Rohr durchgängig aus Kieselsäure besteht, braucht man wohl kaum zu erbringen. Nicht die Wände des unteren Teiles sind verkalkt, sondern der untere Teil (bis etwa $\frac{2}{5}$ oder $\frac{1}{2}$) ist mit feinsten Kalkpartikeln gefüllt, die im frischen Haar in der Flüssigkeit beweglich erscheinen, beim Austrocknen aber sich an die inneren Wandungen des Kieselrohrs anlegen, dieses milchweiß färbend.

Völlig ausgeschlossen ist der Zellstoff hierbei nicht; er überzieht, ebenso wie an den Borruginaceae-Haaren die Brennhaare mit einem sehr feinen maschigen Überzug, der der Haar-Oberfläche bei starker Vergrößerung ein rauhes Aussehen erteilt, von der Glut aber verzehrt wird, entweder völlig schwindet oder als feiner Kohle-Überzug dem Feuer weiter widersteht.

So sehen wir auch an der *Urtica*, daß die lebende Pflanze zum Aufbau ihrer Organe nicht nur organischen Zellstoff verwendet und ihm (zum Schutz gegen Tiere) Mineralien (in die „Zellwände“) einverleibt, sondern daß die Pflanze **direkt** aus **Mineralien**, vornehmlich aus Kieselsäure und aus Kalk, ihre Organe formt, speziell die Organe, die man mit dem Gesamtnamen „**Haare**“ bezeichnet.

Trifft dieses zu, so erscheint es unbegreiflich, woher alle Lehrbücher das Brennhaar als eine Pflanzenzelle in Ampullenform darstellen. Sollte nun doch, durch den Sockel verhüllt, ein kolbenartiges Gefäß aus Zellstoff vorhanden sein, die bisher angewandte Prüfungs-Art, Entfernen des Kalkes und Verglühen auf Platinblech, sich jedoch unzureichend erweisen für Isolierung dieses Gebildes?

Die Angelegenheit blieb zunächst unentschieden, bis ein günstiger Zufall die unerwartete Lösung auch dieser Frage brachte.

Das Bestreben, vollkommeneren Methoden, als das Verbrennen, für Isolierung der Kieselsäure-Gebilde ausfindig zu machen, führte dazu, andere Verfahren heranzuziehen. Nach einigen Versuchen ergab es sich, daß die in der forensischen Chemie angewandte „Zerstörung der organischen Substanz“ zwecks Ermittlung der mineralischen Gifte, sich eignen könnte.

Zunächst die allbekannte Methode von Fresenius und Babo, bei welcher das Objekt mit starker Salzsäure und Kaliumchlorat erhitzt wird, wobei das entstehende Chlor die Zerstörung des organischen bewirken soll. Aber schon lange wußte man, daß Zellstoff und Fett der Zerstörung heftigsten Widerstand leisten. *) Trotz dieses Mangels war der Erfolg ein überraschender, die Ampullenform des unteren Teils der Nesselbrennhaare kam zum Vorschein, allerdings erschwert und getrübt durch die sehr störenden Reste nicht fortgeschaffter organischer Pflanzenteile. Es wurde daher noch mit einer zweiten Methode experimentiert, von der es hieß, sie wirke energischer auf Zellstoff. Hierbei wurde das Objekt eine Zeitlang mit konzentrierter Salpetersäure und Schwefelsäure erhitzt, wie in den Spezialwerken beschrieben. Tatsächlich gab diese Methode günstigere Resultate, besonders an *Urtica*-Blättern. (Wie nachher gezeigt werden soll, versagten beide Verfahren bei Grasblättern.)

Der Rückstand der nach der einen oder anderen Methode behandelten Nesselblätter (leider nur alte, da die Versuche im Winter unternommen wurden) wurde sorgfältig ausgewaschen und feucht mit etwas Glycerinwasser auf den Objektträger gebracht und, mit einem Deckglas bedeckt, zunächst bei Oberlicht im Mikroskop betrachtet:

Aus dem formlosen Detritus — vermutlich den unzerstörten Resten der organischen Zellen, vielleicht auch amorphen Kieselsäure-Partikeln, denn der Kalk mußte selbstverständlich restlos in Lösung gegangen sein — hoben sich nun scharf ab: mattglänzende Brennhaar-Kieselrohre mit nur undeutlichen Konturen der Ampulle, und wie Eiskristalle glänzende Häufchen von kleinen Brennborsten.

*) Dragendorff, „Ermittlung der Gifte“ 1876, S. 310.

Ein ganz anderes Bild zeigte sich jedoch nach Einschaltung der Spiegelbeleuchtung: die Ampulle! Doch überzeugender als Beschreibungen werden die Mikrophotogramme auf Tafel VIII die Tatsachen schildern. Auf Grund dieser und der vorher ermittelten Tatsachen lassen sich nun folgende Schlüsse ziehen:

- 1) Das (große) Brennhaar der *Urtica* stellt ein nach außen — nicht hermetisch — abgeschlossenes Gefäß dar.
- 2) Nicht nur das ganze Haar-Rohr nebst Köpfschen besteht aus Kieselsäure, sondern auch der untere kolbige, vom Sockel umschlossene Teil, letzterer allerdings ist so zart und dünn im Vergleich zum Haar-Rohr, daß er dem Feuer keinen Widerstand entgegensetzt, daher in der Asche nie gefunden wurde.
- 3) Das dickere Kieselrohr erscheint doch wie aufgesetzt auf den Halsteil des dünnen Kieselkolbens, jedenfalls handelt es sich nicht um ein einheitliches Gebilde mit lückenloser Oberfläche, also etwa eine (lebende) Pflanzenzelle.
- 4) Die bisherige Annahme, der untere Teil, der Bulbus oder Sockel, sei „weder verkieselt noch verkalkt“, kann nicht zu Recht bestehen, denn die Kugel, der Kolben selbst besteht aus dünner Kieselhaut und wird von Kalk umgeben und dann erst von Zellgewebe umschlossen.
- 5) Es wird hierdurch bestätigt, was schon vorher (beim *Alyssum*blatt) beobachtet worden war, daß äußerst feine Gebilde aus Kieselsäure beim Glühen auf Platinblech zusammenschmelzen, während dickere Kieselorgane durch die Glut nicht zerstört werden. *)
- 6) Da die Kieselhaare der Nessel nach diesem Chlor-, resp. Säure-Verfahren völlig glatt außen erscheinen, nach dem Glühen eines entkalkten Blattes aber mit feinem Kohle-Überzug versehen sind, so bestätigt das die Annahme, die Brennhaare hätten einen feinen Überzug von Zellstoff.
- 7) Zugleich erkennt man, daß das Innere der Brennhaare frei von Zellstoff und daß eine für Flüssigkeiten durchlässige Stelle vorhanden sein muß (wahrscheinlich dort, wo das Kieselrohr auf dem Kolben aufsteht), weil die Salzsäure den Kalk im Inneren des Rohres aufgelöst hat, denn letztere sind durchsichtig und glasklar (fig. 8, Tafel VIII).

Die aus dünnster Kieselmembran bestehende untere Kugel des Nesselbrennhaares ist so hinfällig, daß sie schon beim Eintrocknen (Welken) des Blattes zusammenbrechen kann, ebenso das spröde Kalkgerüst des Sockels, so daß an einem nicht frischen Brennhaar der ganze Sockel wie eine leere Hülle zusammenfällt und dann sein Querschnitt einen geringeren Durchmesser hat, als das untere Ende des Kieselrohrs. Das zeigt fig. 5 und 6 auf Tafel VI an, mit der Pincette vom Blatt abgenommenen Brennhaaren. (Auf diesem Bilde ist die äußere Membran aus Zellstoff sehr schön zu erkennen).

Um nichts zu verabsäumen, wurde nun ein wenig vom Salpeter-Schwefelsäure-Rückstand auf Platinblech verglüht, wobei es sich erwies, daß die orga-

*) Wer sich mit Glasblasen gelegentlich beschäftigt hat, wird die Erfahrung gemacht haben, daß sehr dünnwandige Glasrohr-Kugeln (Thermometer) in der Flamme sofort verschmelzen, dickere erhalten bleiben. Die Kieselsäure, aus der die Haargebilde der Pflanzen bestehen, teilt viele Eigenschaften mit der Glasmasse.

nische Substanz nur zum Teil gelöst war, der Rest sich in Nitrozellulose verwandelt hatte, denn auf dem Platinblech verpuffte er, eine schneeweiße Asche ohne Kohlen Spuren hinterlassend. Aus dieser Asche, die doch wirklich nichts anderes als Kieselsäure enthalten konnte, stammen die 4 letzten Bildfiguren auf Tafel VIII: das wohlerhaltene Köpfchen (also doch kaum „unverdickte Haarwandung“ aus Zellstoff!); in Fig. 9 und 8 sehen wir kleine Brennborsten, als stets unten offene trichterförmige Gebilde. Niemals konnte an ihnen ein Köpfchen an der Spitze beobachtet werden, niemals ein ampullenförmiger Abschluß an der Basis. Und doch kann man an ganz frischen Blättern beobachten, daß nicht nur die großen Brennhaare, sondern auch die kleinen Brennborsten häufig Flüssigkeit enthalten. (Tafel VII, fig. 5, 8). Drückt man leicht auf die Objektträger, zwischen denen ein Stück eines frischen Nesselblattes liegt, so bewegt sich der Flüssigkeits-Meniskus vorwärts; bei Nachlassen des Druckes zieht er sich zurück, oft schwindet unmittelbar darauf die Flüssigkeit völlig aus dem Rohr. Für das große Brennhaar könnte die Erklärung genügen, das die Flüssigkeit enthaltende Gefäß sei durch den Druck zertrümmert und leergelaufen. Aber wie erklärt sich die Anwesenheit von Flüssigkeit in den kleinen, unten offenen Borsten? Berücksichtigt man hierbei noch die andere, durch wiederholte Beobachtung feststehende Erscheinung, daß an einem frischen Nesselblatt der ganze Blattnerve mit Flüssigkeit erfüllt ist wie ein Schwamm, so wird die Beantwortung der Frage nach der Herkunft der Flüssigkeit etwas erschwert, zumal wenn man sich noch vorhält, daß das Brennhaar kein hermetisch geschlossenes Gefäß darstellt, wie gezeigt wurde.

Beruhet die Brennwirkung der Brennessel auf dem Vorhandensein eines giftigen Toxins, einer eiweißartigen Substanz, so dürfte die Frage berechtigt sein, wo und wie entsteht dieses Toxin und wo hält es sich auf, ohne durch Luft und Sonne in kürzester Zeit zersetzt zu werden? Daß die Brennwirkung nur auf mechanische Weise, durch das Eindringen von Fremdkörpern — feinste Kieselsäure-Splitter — in die kleine Stichwunde, Zustande kommt, ist nicht anzunehmen, es muß sich um ein Gift in flüssiger Form handeln, das ähnlich dem Sekret der — übrigens nicht aus Kieselsäure bestehenden — Drüsenhaare auf den Blattstielen der *Primula chinensis*, individuell verschieden wirken kann, da es Personen gibt, die sehr empfindlich leiden durch die Berührung mit Nesseln oder Primeln, während andere dagegen immun zu sein scheinen.

Bei dieser Gelegenheit sei daran erinnert, daß eine Varietät der *Urtica dioica* nicht selten ist (Var. *subinermis* Nechtritz oder *holosericea* Fr.) die nur sehr wenige Brennhaare besitzt; ein Blatt von 6 mal 8 cm. hatte auf jeder Seite nur 8 bis 10 solcher, während ein normales Blatt 2,3 mal 2,5 cm. deren auf jeder Seite um 60 zählte.

Die Erkenntnis, daß an den Brennhaaren der Nesseln nicht nur der ganze Rohrteil, von der Kugelspitze bis zum unteren (Wulst-) Rande aus Kieselsäure besteht, sondern sogar auch der untere gefäßartige Teil, ist das Resultat der Anwendung einer bisher für solche Zwecke schwerlich dienstbar gemachten chemischen

Methode der „Zerstörung der organischen Substanz“. Es lag nun nahe, diese Methode auch an anderen Pflanzen praktisch zu erproben.

Gute Erfolge konnten erzielt werden an den Blatthaar-Gebilden des *Alysum*, der *Berteroa*, den *Borraginaceen*. Von *Calamagrostis*-Blättern bleibt nach stundenlangem Einwirken von Chlor eine so große Menge unzerstörter Substanz nach, daß von irgendwelchen Strukturformen, Haaren, Dornen oder ähnlichem, nichts zu erkennen ist. Wurde solch ein Rückstand von der Chlorbehandlung auf Platinblech verglüht, so hinterblieb eine formlose Kieselmasse, ähnlich der nach Entziehung des Kalks durch verdünnte Salzsäure, wie eingangs berichtet.

Eine noch größere Enttäuschung erlitt ein Versuch mit einem Blattstück der *Potentilla argentea*: das Chlor blieb fast wirkungslos, nicht einmal die äußere Form des Blattes wurde wesentlich verändert; in der Säure waren kaum Spuren von Kalk nachzuweisen und nach dem Verglühen auf Platinblech verblieb so wenig Kieselsäure, daß sie sich nicht vom Platinblech auf den Objektträger überführen ließ. Deutlich trat zutage, daß hoher Mineralgehalt, spezieller, Kalk und Kieselsäure, nicht allen Pflanzen eigentümlich ist.

Noch an eines sei erinnert; zwischen den Blatthärchen, namentlich wenn es flebrige Drüsenhaare sind, kleben oft mechanisch kleine Quarzsplitter, nicht selten in beträchtlicher Menge und Größe. Sie werden vermutlich durch den Wind von der Erde aufgewirbelt als Staub und haften an der rauhen Fläche. *Silene viscosa* z. B. ist so befähigt, eine gewaltige Menge Kieselsäure äußerlich mitzuschleppen. Bei quantitativen chemischen Analysen von Blättern muß hierauf Rücksicht genommen werden. Beim Mikroskopieren mit Oberlicht stößt man fast immer auf solche winzige Quarzblöcke, gelegentlich auch auf andere als Staub vom Wind an die Blattflächen beförderte und dort haftende mineralische Partikel.

Von 13 chemischen Elementen, die (nach Straßburgers Lehrbuch der Botanik, 1911, S. 156, 157) in größerer Menge sich in der Pflanze vorfinden, werden 10 als unentbehrlich bezeichnet, nämlich C., O., N., P., S., K., Ca., Mg., Fe. und H. (S. 177). Als entbehrlich gelten somit: Na., Cl., Si.

Kieselsäure soll dem Schachtelhalm und den Gräsern entbehrlich sein können (S. 178). Professor Detmer („Das kleine pflanzenphysiologische Praktikum“, Jena 1909, S. 46 und 50) sagt: „Unbekannt ist, ob sich Diatomeen und Equiseten normal ohne Zufuhr von Si entwickeln. Für andere Pflanzen ist Si entbehrlich, auch für Gramineen.“

Weiter heißt es: „Die Nährstofflösung enthält weder Silicium noch Natrium. Trotzdem entwickeln sich die Untersuchungs-Objekte gut, womit die Entbehrlichkeit der genannten Stoffe erwiesen ist.“

Daß letzteres in Bezug auf Silicium bei allen Gräsern zutreffen sollte, dürfte nach den Befunden an *Calamagrostis* bezweifelt werden. Ja, an *Calamagrostis* könnte, wie es scheint, die Frage berechtigt sein, ob das Fortbleiben des Siliciums überhaupt als möglich denkbar wäre. Dasselbe gilt auch für *Urtica* und die *Borraginaceae*, die meisten *Gruciferen*, einige *Labiaten*, *Compositae* u. a., so weit es sich heute übersehen läßt.

Daß junge Pflanzen in einer siliciumfreien Nährstofflösung sich weiter entwickeln, d. h. nicht zugrunde gehen, dürfte doch noch nicht als vollgültiger Beweis für die Entbehrlichkeit gelten. Der Experimentiertisch ersetzt doch selten das Operationsfeld der nicht durch Kultur beeinflussten Natur. Wir wissen nicht, ob Gräser ohne Kieselsäure-Gehalt unter natürlichen Wachstumsbedingungen sich im Wettbewerb mit den normalen behaupten würden, ob nicht Witterungseinflüsse sie vernichten, oder sie ein Raub der Insekten, Schnecken etc. würden. Als Nährstoff mag Si. gewiß entbehrlich sein, ob aber auch als Baustoff?

Es will mir nach den Untersuchungen der letzten Jahre scheinen, daß Silicium in einer Anzahl Pflanzen eine außerordentlich wichtige Rolle spiele, zwar nicht als Nährstoff, sondern gerade als Baustoff, und zwar in einer gewissen Parallele zum Kohlenstoff.

Zu beweisen vermag ich diese Annahme freilich nicht, ich möchte sie lieber als ein ungelöstes Problem hinstellen und bitte, gestatten zu wollen, ausnahmsweise der Phantasie ein wenig Spielraum gewähren zu dürfen.

Kohlenstoff und Silicium sind chemisch nahe verwandte Elemente, wie jedes Lehrbuch der Chemie bekundet, sie stehen in einer Gruppe zusammen. Wir wissen, daß die 4 Halogene, obgleich verschieden in ihren Eigenschaften, doch viele Analogieen aufweisen, die es ermöglichen, eines dieser Elemente durch ein anderes in chemischen Verbindungen, sowohl in anorganischen als auch in organischen, zu ersetzen. Es liegt daher nahe anzunehmen, daß auch das Silicium als Substitut für Kohlenstoff in organischen Verbindungen, wie der Zellulose, eintreten könnte.

Da mir, wie eingangs erwähnt, keine neueste Literatur zur Verfügung stand, nur ältere, ist es wie ein freundlicher Zufall anzusehen, daß mir in einem Werk über (pharmazeutische) Chemie vom Jahre 1880 eine Notiz in die Hände fiel, die beweist, daß diese Vermutung schon früher ausgesprochen worden ist. Schwannert sagt (B. I, S. 672): „Kieselerde findet sich nicht nur im Mineralreiche, sondern auch im Pflanzen- und Tierreiche, wengleich nicht in so großer Menge, wie in jenem. Verhältnismäßig reich an Kieselerde sind namentlich Gräser, Binsen; mit Kieselerde überzogen ist Stroh, Bambusrohr, spanisches Rohr, Schachtelhalm; selbst in der reinsten Zellulose sind geringe Mengen Silikate enthalten; sie finden sich spurenweise, auch in größerer Menge, in Pflanzenaschen, in denen nach L a d e n b u r g wohl ein Teil der Kieselerde durch Verbrennung siliciumorganischer Verbindungen entsteht, in denen für Kohlenstoff—Silicium eingetreten ist.“ Möglicherweise ist diese Annahme Ladenburgs inzwischen abgelehnt, vergessen oder bestätigt worden, ich weiß das nicht, kann auch jetzt mir hierüber keinen Bescheid verschaffen, aber nach den Erfahrungen durch das Studium der „Haargebilde“ erscheint mir diese Theorie durchaus bemerkenswert und wohl wert, in dieser Richtung weitumfassende Experimente anzustellen, die ich, durch die Verhältnisse gezwungen, wohl anderen werde überlassen müssen, zu deren Gang Vorschläge zu machen wohl erlaubt sei:

- 1) Gibt es Pflanzen, die garkeine Kieselsäure enthalten, von der Bakterie bis zum Baumriesen, von der Wurzel bis zur Frucht?

- 2) In welcher Form findet sich Kieselsäure, resp. Silikate in den Pflanzen?
- 3) In welchen Teilen, resp. Organen der Pflanzen?
- 4) Welche Methode zum chemischen Nachweis der Kieselsäure, resp. des Siliciums ist die am leichtesten ausführbare und qualitativ wie quantitativ die besten Resultate erzielende?
- 5) Gibt es eine vollkommenerere Methode, Kieselsäure aus Pflanzenteilen ohne wesentliche Formveränderungen zu isolieren, als mittels Zerstörung der organischen Substanz durch chemische Agentien oder durch Verglühen?
- 6) Ist Kalk (d. h. Calcium-Verbindungen) immer oder nur häufig ein Begleiter der Kieselsäure in Pflanzen?
- 7) In welchen chemischen Zusammensetzungen befindet sich Calcium in den Pflanzen?
- 8) Sind Kalkverbindungen Nährstoffe oder Baustoffe der Pflanze oder beides?
- 9) Ist Aluminium*) tatsächlich selten in der Pflanzenasche zu finden?

Daß Silicium den Kohlenstoff in organischen Verbindungen vertreten könnte, ist ebenso wunderbar, wie die im periodischen System übliche Gruppierung von C., Si. (und anderen, unter denen das Zinn am bekanntesten ist) in eine Elementgruppe, wenn man das äußerst verschiedene Verhalten dieser Elemente zum Sauerstoff betrachtet. Kohlenoxyd, CO, und Kohlendioxyd CO₂, sind Gase; Kieseldioxyd, SiO₂, (kurzweg Kieselsäure — richtiger: Kieselsäure-Anhydrid genannt, auch Kieselerde) ist eines der härtesten Gesteine und feuerbeständig (Quarz, Bergkry stall). Seine Härte wird aber vom Element Kohle — als Diamant — übertroffen; der Diamant ist aber nicht feuerbeständig.

Während das Element Kohle durch Verbrennen organischer Substanz, z. B. Holz, Zucker, Petroleum, leicht entsteht, ist die Reindarstellung des Elements Silicium sehr schwierig und kompliziert; beim Verbrennen organischer Substanz, die Silicium in irgend einer Form enthält, resultiert immer nur Siliciumdioxyd. Allerdings entsteht dieses auch beim Verbrennen von Silicium, wie durch Verbrennen der Kohle bei Luftzutritt auch Kohlendioxyd entsteht, das sich aber als Gas verflüchtigt. Während Kohlenstoff mit den beiden Elementen des Wassers, H₂O, die Kohlenhydrate, also typisch organische Verbindungen, liefert, stellen die Verbindungen von Si mit H und O, als „wasserhaltige Kieselerde“, eine Reihe der härtesten Mineralien dar, wie Feuerstein, Jaspis, Karneol, Opal, Achat etc., die sich nicht verbrennen lassen, wohl aber dem Eisen und Stahl Feuer entlocken.

Hält man sich dies alles vor, so erscheint die Annahme, Silicium könne an Stelle von Kohlenstoff mit Wasserstoff und Sauerstoff den Kohlenhydraten analoge Verbindungen bilden, geradezu abenteuerlich.

Dennoch läßt sich vorab schwer eine andere Deutung der Tatsache, daß Pflanzenorgane, wie „Haargebilde, Blattnerven“ aus Kieselsäure bestehen, finden.

Stellt man die ganz selbstverständliche Frage, in welcher Form der Kohlenstoff beim Wachstum einer Pflanze von dieser aufgenommen und nebst H. und O.

*) Eycopodien können in ihrer Asche 10—50 % Aluminium enthalten. Wahrscheinlich auch sonst verbreitet, aber meist in den Wurzeln. (Prof. W. Rothert, Borowikow und Schimkin, „Pro-methesus“ 1907, № 941, pag. 79).

als Baustoff benutzt wird, so dürfte schon hierbei die Beantwortung nicht ganz einfach sein. Was darf als Ausgangsmaterial gelten, die Kohlensäure der Luft oder in der Erde vorhandene Carbonate? Diese Fragestellung ist beim Silicium ausgeschlossen, da gasförmige Siliciumverbindungen in der Luft nicht existieren, also nur der Erdboden als Si.-Lieferant anzusehen ist. Wie nun vermag die Pflanze die Bodensilikate in eine aufnehmbare Form zu bringen? Denn wenn auch die bisherige Theorie, Kieselsäure sei in den Zellwandungen der äußersten Epidermis „eingelagert“, zu Recht bestände, so muß doch auch diese Kieselsäure irgendwie in die wachsende Pflanze gelangt sein. Doch nicht auf mechanischem Wege? Wenn wir lasen, Stroh und Bambusrohr sei mit Kieselerde „überzogen“, so klingt das freilich nach einer mechanischen Vorstellung.

Daß dies aber nicht völlig zutrifft, lehrt folgender einfache Versuch: Strohhalme-Stücke mit starker Salzsäure ausgekocht, mit Wasser nachgewaschen und darauf auf Platinblech verglüht, geben ein zusammenhängendes Aschenskelett, das aus reiner Kieselerde besteht und das die Pflanzenzellen erkennen läßt, alles wie Glas glitzend bei Anwendung des Mikroskops mit Oberlicht.

Bei diesem Versuch gibt es noch etwas zu beobachten: nachdem die braun-gelb gewordene Salzsäure von den Strohhalmenstücken abgegossen und Wasser zum Auswaschen ins Reagenzglas gefüllt wurde, entstand viel gallertartige Kieselsäure, die in relativ großen Klumpen an den inneren Glaswandungen haftete. Daraus kann geschlossen werden, daß das Silicium nicht nur als Kieselsäureanhydrid vorhanden war, sondern auch noch in irgend einer anderen Gestalt, etwa als Alkali-Silikat, das ja in Lösung gebracht, aus der dann durch Salzsäure die Kieselerde gallertartig ausgeschieden werden kann.

Nach der Analyse von E. Wolff (s. Straßburger, Lehrb., 1911, S. 179) besteht Stroh-Asche fast zur Hälfte aus Si O_2 ; von den übrigen Asche-Bestandteilen nimmt Kalium die erste Stelle ein, dann folgen Kalk, Magnesium, Natrium, Eisen u. in viel geringeren Mengen.

Hierdurch erklärt es sich auch, daß das Kieselskelett, das man durch Verglühen auf Platinblech eines unpräparierten Stückes Stroh erhält, ein ganz anderes Aussehen zeigt: ein Teil des glasklaren Skeletts ist geschmolzen durch Sinterbildung, statt der charakteristischen Zeichnungen und scharfkantigen Linien — abgerundete Kanten und amorphe Massen.

Bis eine bessere Methode zum Isolieren des Kieselsäureskeletts aus Pflanzenteilen vorgeschlagen wird, hat sich als bestes Mittel zur Erreichung dieses Zieles (wenigstens für einen Teil der Objekte) das Auskochen in starker Salzsäure, Auswaschen und Verglühen auf Platinblech bewährt. Hierdurch werden nicht nur die Alkalien und Erdalkalien fortgeschafft, sondern auch ein Teil der organischen Substanz, so daß beim Verglühen die entstehende Kohle leichter verbrennt, als bei einem nicht mit Salzsäure ausgelaugten Stück des Objekts.

Auf diese Art untersuchte Blattstücke von *Calamagrostis lanceolata* gaben kohlenfreie Skelette, auch solche von *Carex*-Arten. (*Carex vesicaria*), die bisher resultatlos untersucht worden waren. Die Sägezähne der Blattkanten traten scharf und deutlich hervor; auch andere Gewebeteile konnten erkannt werden, viel deut-

licher als bei allen früheren Versuchen.*) Besonders schön zeigten sich an *Calamagrostis lanceolata* die Kieselhaare und die Blattkanten bei Oberlicht. Bei Spiegelbeleuchtung und starker Vergrößerung sieht man, daß jeder Sägezahn nicht aus massiver Kieselerde besteht, sondern hohl ist. Ein schönes Präparat lieferte ein Blattstück von *Calamagrostis pseudophragmites* (aus Garmisch, gesammelt von Professor Hausfnecht). Hier kamen die dicken mit dichten aufwärts gerichteten Zähnen versehenen Kieselnervenstränge prächtig zur Geltung, wie in der Schrift „Neue Ergebnisse der *Calamagrostis*-Forschung“ näher ausgeführt.

Um diese Salzsäure-Glüh-Methode weiter zu prüfen, wurden noch einige Objekte gewählt, ganz ohne Berechnung, wie der Zufall sie in die Hand gab, denn noch gibt es keine Hinweise darauf, in welchen Pflanzen reichlich Kieselsäure zu erwarten sei.

Ein erneuter Versuch mit Blättern der *Potentilla* mißlang wie der frühere. Dagegen gelang die Isolierung von viel Kieselsäure aus den Blättern einer kleinen Phoenix-Palme, die als Zimmerpflanze im Blumentopf wuchs. Ebenso wie im *Calamagrostis*blatt konnte auch hier im Salzsäure-Auszug durch Ammonium-oxalat eine recht bedeutende Menge Kalk nachgewiesen werden. Die Kieselsäure war im Palmenblatt so reichlich vorhanden, daß die Asche dicke Polster bildete, die nur bei Oberlicht beobachtet werden konnten. Es lagen jedoch viele kleinere Partikel daneben, die photographische Aufnahme gestatteten. Eigentümlich sind hier ganze Punktreihen von glasglänzenden Halbkugeln, wie es scheint. Ob diese Punktreihen den hellen Punkten entsprechen, die ein durch Alkohol chlorophyllfrei gemachtes Blattstück zeigt? Auch andere Gewebeteile kann man unterscheiden, wenn auch nicht so überraschend charakteristisch, wie bei dem Strohhalme, wo uns schon der reine Kieselpanzer der Diatomeen entgegentritt.

Der Versuch, Kieselsäure aus den Blättern der *Primula chinensis* zu isolieren, hatte geringen Erfolg: in der sehr spärlichen Asche fanden sich nur rundliche Zellen aus Kieselsäure, die wie die Schließzellen der Spaltöffnungen aussehen.

Kiefern-Nadeln (*Pinus sivestris*) gaben ein recht deutliches Kiesel skelett, das Fichtenholz dagegen hinterließ bei dieser Behandlung nur eine sehr zähe Kohle, die nur mit großer Mühe teilweise sich verbrennen ließ, eine geringe Menge dunkelgrauer Asche liefernd, die sich im Mikroskop immer noch als kohleähnlich auswies; sie ließ wohl das Zellgewebe in groben Umrissen erkennen, aber keine Einzelheiten wie beim Strohhalme, der *Calamagrostis*, der Palme, den Fichtennadeln. Ob es zu gewagt erscheint, an die Möglichkeit zu denken, daß hier (im Fichtenholz) eine halb-silicium-organische Verbindung vorliegen könnte, die aus C., Si., O., H. besteht? Wenn nur C., O., H. vorhanden wäre, müßte alles schließlich vergasen, aber ein letzter Rest will nicht verschwinden, und doch ist, was nachbleibt, keine gewöhnliche Kieselsäure. Bei einem Gegenversuch mit einem Splitter Eichenholz verblieb keine dem bloßen Auge sichtbare Aschenmenge. Die Photographie kann ja nicht alles wiedergeben, aber beim direkten

*) Was recht auffallend ist, da sowohl nach Behandeln mit verdünnter Salzsäure, als auch nach Zerstörung der organischen Substanz durch Chlor und starke Salzsäure, die Kieselsäure-Asche fast strukturlos erschien.

Schauen erscheint im Mikroskop die Kohle-Asche des Fichtenholzes (nach der Säurebehandlung) bei Oberlicht wie Graphit oder Anthrazit, nicht rein mattschwarz, sondern grau und sehr glänzend, anders als sonst bisher gesehen (z. B. auf den Brennesselhaaren nach Entkalken mit verdünnter Salzsäure und Verglühen, mattlederbraun oder mattschwarz).

Am störendsten beim Photographieren sind stark glänzende Partien, sie geben bei Oberlicht Eichthöfe und können daher nicht naturgetreu wiedergegeben werden. Bei Spiegelbeleuchtung stört dagegen oft die Dicke des Objekts, namentlich bei starken Vergrößerungen, weil die betreffenden Partikel nicht in einer Ebene liegen, einige höher, andere niedriger, was beim Schauen durch die Mikrometerschraube ausgeglichen werden kann.

Figurentafeln

zu

„Haargebilde“

der Blätter phanerogamer Gewächse und der Anteil, den die

Kieselsäure

hierbei hat.

Morphologisch-physiologische Studien

von

Rudolf Leibert.

Mit 9 Figurentafeln nach mikrophotographischen Aufnahmen.

Reval,
1916—1917.

Tafel I. Cruciferae.

fig. 1.	Alyssum montanum, Exsicc.-Blatt, „Sternhaar-filz“.	Oberl. Vergr.	15.
„ 2.	„ „ Asche eines Blattes	„ „	15.
„ 3.	„ „ Exsicc.-Blatt, einzelne Sternhaar.	„ „	130.
„ 4.	„ „ „ vom Rande.	Spiegel.	130.
„ 5.	„ „ einzelnes Haar in verd. Salzsäure.	Oberl.	100.
„ 6.	„ „ „ „ „ „	Spiegel.	100.
„ 7.	„ „ nach Zerstörung der organ. Substanz durch Chlor.	Oberl.	65.
„ 8.	Alyssum calycinum, Exsicc.-Blatt.	„ „	15.
„ 9.	Draba incana, Exsicc. Blatt, Oberseite.	„ „	15.
„ 10.	Berteroa incana, Exsicc.-Blatt, Oberseite.	„ „	44.
„ 11.	„ „ einzelnes Geweihhaar nach Zerstör. der organ. Substanz durch Salpeter- und Schwefelsäure.	Spiegel	120.
„ 12.	Capsella bursa pastoris, Exsicc.-Blatt.	Oberl.	55.

Tafel II. Borraginaceae. 1. (Myosotis).

fig. 1.	Myosotis palustris, junges Exsicc.-Blatt,	Oberl. Vergr.	35.
„ 2.	„ „ älteres „	Oberf.	28.
„ 3.	„ „ ganz altes „	„ „	28.
„ 4.	„ „ einzelnes Rosettenhaar,	„ „	100.
„ 5.	„ „ nach Behandeln mit Salzsäure und Verbrennen des Rückstandes, Asche also,	Spiegel	110.
„ 6.	Myosotis caespitosa, Exsicc.-Blatt, Oberf.	Oberl.	45.
„ 7.	„ sparsiflora, „ „	„ „	55.
„ 8.	„ silvatica, „ „	„ „	65.
„ 9.	„ „ einzelnes Haar,	Spiegel	185.
„ 10.	„ intermedia, nach Zerstörung der organ. Substanz durch Chlor,	Oberl.	120.
„ 11.	„ hispida Schleich., Exsicc.-Blatt,	„ „	44.
„ 12.	„ palustris, Kelch-Haare, nach Behandeln mit Salzsäure verascht,	„ „	120.

Tafel III. Borraginaceae, 2. (Verschiedene).

fig. 1.	Lappula Myosotis, Exsicc.-Blatt,	Oberl. Vergr.	35.
„ 2.	Anchusa officinalis, „	„ „	44.
„ 3.	Echium vulgare, „	„ „	45.
„ 4.	„ „ einzelnes Haar,	Spiegel	185.

fig. 5.	Nonnea pulla, Exsicc.-Blatt	Oberl.	Vergr. 28.
" 6.	Symphytum officinale, Exsicc.-Blatt	"	" 28.
" 7.	" " einzelnes Haar	"	" 100.
" 8.	Lithospermum arvense, Exsicc.-Blatt	"	" 80.
" 9.	Lycopsis arvensis, Exsicc.-Blatt	"	" 45.
" 10.	" " Basis eines Haares	"	" 130.
" 11.	" " Mittlerer Teil desselben	Spiegel	" 185.
" 12.	" " durch schwache Salzsäure unvollkommen entkalkt	Oberl.	" 55.

Tafel IV. Verschiedene Pflanzen.

fig. 1.	Lycopsis arvensis, Asche nach d. Auskochen eines Blattes in Salzsäure u. Verbrennen des Rückstandes	Oberl.	Vergr. 55.
" 2.	" " ebenso (eine Rosette)	"	" 100.
" 3.	" " ebenso "	Spiegel	" 100.
" 4.	Primula chinensis, ebenso (das Drüsenhaar besteht nicht aus Kieselerde)	"	" 500.
" 5.	Verbascum Thapsus, Exsicc.-Blatt	Oberl.	" 55.
" 6.	" " Blatt verascht, ein Haar,	Spiegel	" 55.
" 7.	Sambucus racemosa, Exsicc.-Blatt, Oberseite	Oberl.	" 100.
" 8.	Carduus crispus, Exsicc.-Blatt (Cistolithen) der Dorn besteht nicht aus SiO_2	"	" 45.
" 9.	Lamium purpureum, Exsicc.-Blatt (am Rande)	Spiegel	" 185.
" 10.	" album, Exsicc.-Blatt (Fläche)	Oberl.	" 65.
" 11.	Chenopodium album, ganz junges frisches Blatt	"	" 80.
" 12.	Hieracium setigerum, Exsicc.-Blatt, Unterseite mit zweierlei Haargebilden, kleine Sternhaare aus SiO_2 u. lange Borsten, die beim Kochen in Salzsäure zerfallen.	"	" 28.

Tafel V. Urtica dioica 1.

fig. 1.	Junges chlorophyllfreies Blatt, Unterseite.	Oberl.,	Vergr. 11,5.
" 2.	Asche eines unpräparierten Blattes, Unterseite.	"	" 11,5.
" 3.	" " " " Oberseite.	"	" 11,5.
" 4.	Stück eines frischen Blattes, Oberseite.	"	" 44.
" 5.	Blütenstand, Exsicc. } starke Bestachelung.	"	" 11,5.
" 6.	" " " " " "	"	" 44.
" 7.	Mittelrippe der Unterseite (welches Blatt)	"	" 44.
" 8.	" " " (abgebrochenes Brennhaar)	"	" 44.
" 9.	" " " (frisches Bl., chloroph. frei)	"	" 65.
" 10.	Stück eines durch Salzsäure entkalkten Blattes.	"	" 55.
" 11.	Zellstoff-Bekleidung eines Brennhaares.	"	" 120.
" 12.	Ganz junges unpräpariertes Blatt (sich kreuzende Haare auf der Unterseite).	"	" 55.

Tafel VI. *Urtica dioica* 2.

fig. 1.	Welches Blatt, Rohr-Ansatz deutlich hervortretend.	Oberl.	Vergr.	100.
" 2.	Brennhaar mit Sockel, den Rohransatz zeigend.	"	"	65.
" 3.	Dasselbe vergrößert	"	"	230.
" 4.	Am Rande eines welken Blattes (1 Haar gebogen)	Spiegel	"	55.
" 5.	Beim Abschaben vom Blatt zerbrochenes Haar	Oberl.	"	100.
" 6.	" " " " " " " " " " " "	Spiegel	"	100.
" 7.	Asche eines frisch verglühten Blattes.	Oberl.	"	44.
" 8.	" " " " " " " " " " " "	"	"	100.
" 9.	Asche, photographiert ohne Deckglas, Haare aufrecht.	"	"	65.
" 10.	desgl., der kalkhaltige Sockel deutlich.	"	"	80.
" 11.	desgl., mit Kohle-Belag auf d. Kieselrohr.	"	"	80.
" 12.	desgl., nach Entziehung des Kalkes mit Chlor, (Spitze des Brennhaares mit Köpfchen).	Spiegel	"	120.

Tafel VII. *Urtica urens*.

fig. 1.	Frisches chlorophyllfreies Blatt, Oberseite.	Oberl.	Vergr.	11,5.
" 2.	" " " " " " " " " " " "	"	"	11,5.
" 3.	Junges unpräpariertes Blatt, Oberseite.	"	"	55.
" 4.	Stück eines frischen Blattes, Unterseite.	"	"	28.
" 5.	Blattnerv der Unterseite mit 2 kleinen Brennhaaren, wovon eines mit Flüssigkeit.	"	"	100.
" 6.	Sockel eines gr. Brennha. mit scheinbarer Ampulle.	"	"	100.
" 7.	desgl., ohne diesen Eindruck.	"	"	120.
" 8.	desgl., mit Flüssigkeit im Rohr.	"	"	100.
" 9.	Brennhaar a. Sockel, Einschnürung zwischen beiden,	"	"	65.
" 10.		Spiegel	"	65.
" 11.	Sockel mit Brennhaar, scheinbare Ampulle.	Oberl.	"	65.
" 12.	Durch Kalk getrübbtes Rohr (altes Blatt)	"	"	65.
" 13.	desgleichen, andere form des Ansatzes	"	"	65.
" 14.	desgleichen, wieder anderer Ansatz	"	"	65.
" 15.	Glasflares Rohr mit Kugelspitze, Blattrand.	"	"	65.
" 16.	Rohr mit langem Sockel, altes Blatt.	"	"	44.

Tafel VIII. *Urtica urens* und *dioica*.

fig. 1.	<i>U. urens</i> . Kalkkonkremente, Bl. frisch, chlorophyllfrei,	Oberl.	Vergr.	28.
" 2.	" dasselbe mit 1 Brennhaar,	"	"	65.
" 3.	" dasselbe	Spiegel	"	65.
" 4.	" Blattstiel mit Kalkkonkrementen.	Oberl.	"	55.
" 5.	" Einzelne Konkremente.	Spiegel	"	185.
" 6.	" Querschnitt durch ein frisches Blatt.	Oberl.	"	65.
" 7.	" Kopfende eines Brennhaares (nach Zerstörung der organischen Substanz)	Spiegel	"	350.
" 8.	" Zwei kleine Brennborsten (nach Zerstörung der organischen Substanz)	"	"	185.

Fig. 9.	U. urens.	Anhäufung kleiner Brennborsten (nach Zerstörung der organischen Substanz)	Spiegel	Vergr.	100.
" 10.	"	Isolierte Ampulle, gekreuzt mit einer anderen	"	"	80.
" 11.	"	desgl., (die schwarze Querlinie Plattenfehler)	"	"	100.
" 12.	"	Kolbenende einer Ampulle (n. J. d. o. S.)	"	"	185.
" 13.	U. dioica.	Ampulle, nach Zerstörung der organischen Substanz	"	"	80.
" 14.	"	dieselbe	Oberl.	"	80.
" 15.	"	Eine andere Ampulle desgl.	Spiegel	"	80.
" 16.	"	dieselbe	Oberl.	"	80.
" 17.	"	Ampulle nach Zerstörung der organischen Substanz mit Salpeter- und Schwefelsäure	Spiegel	"	55.
" 18.	"	dieselbe	Oberl.	"	55.
" 19.	U. urens.	Ampulle n. J. d. o. S. mit Chlor	Spiegel	"	55.
" 20.	"	dieselbe	Oberl.	"	55.

Tafel IX.

- 1) Wirkung der kochenden konzentr. Salzsäure auf unbehaarte Pflanzenteile.
- 2) Haargebilde orientalischer und westeuropäischer Borraginaceae.

Fig. 1.	Strohalmstück mit Salzsäure ausgekocht, darnach auf Platinblech verglüht	}	Oberl.	Vergr.	100.
" 2.			Spiegel	"	100.
" 3.	Mittlerer Teil mit den ovalen Zellen	"	"	"	350.
" 4.	Stück Stroh direkt verascht, gibt einen Sinter	Oberl.	"	"	100.
" 5.	Blatt einer Zimmerpalme (Phoenix-Art), nach dem Kochen in Salzsäure wurde der Rückstand auf Platinblech verascht	}	"	"	100.
" 6.			Spiegel	"	100.
" 7.			"	"	300.

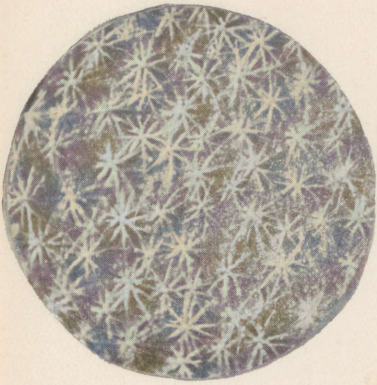
Blattoberseite von:

" 8.	Onosma viride (Borb.) Jav. aus dem Banat	Oberl.	"	28.
" 9.	" aleppicum Boiss. xanthotrichum v. Antilibanon	"	"	22.
" 10.	" bulbotrichum Boiss. v. Elbrusgebirge	"	"	18,5.
" 11.	" stenosepton Boiss. aus Persien	"	"	18,5.
" 12.	Anchusa strigosa Lab. aus Damascus	"	"	18,5.
" 13.	" calcarea Boiss. aus Spanien	"	"	18,5.

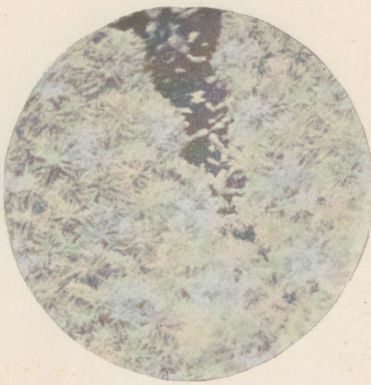
Die Blätter dieser 6 Borraginaceen rechtfertigen den älteren Namen der Familie, Asperifoliaceae, in drastischer Weise; schon dem unbewaffneten Auge erscheinen die Kiesel-Rosetten bis zu Stecknadelkopfgroße. Merkwürdig ist, daß sie dem Auskochen in Salzsäure schon geringen Widerstand entgegensetzen und bei dem alsdann erfolgten Veraschen völlig vergehn. Verascht man ein solches Blatt direkt, so hinterbleiben wohl röhrenförmige Haare, aber da ist es der reichliche Kalkbelag (innen) der das bei einigen verursacht. An unserer einheimischen *Lycopsis* sind auch die Kieselhaare wesentlich dickwandiger, wie aus der Tafel III, Fig. 12, ersichtlich ist.

Tafel I. Cruciferae.

1



2



3



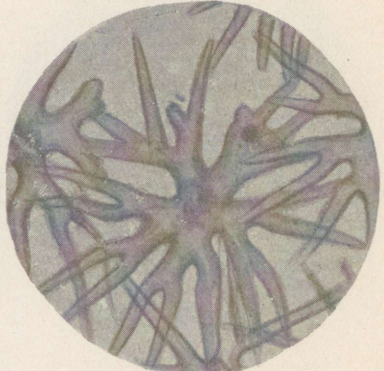
4



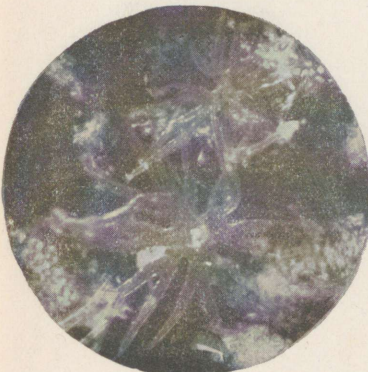
5



6



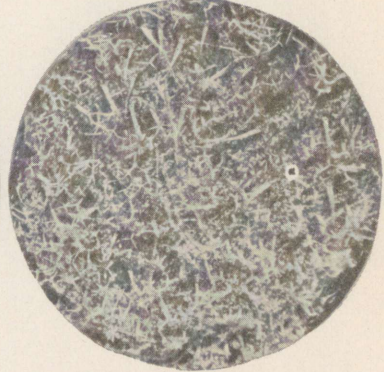
7



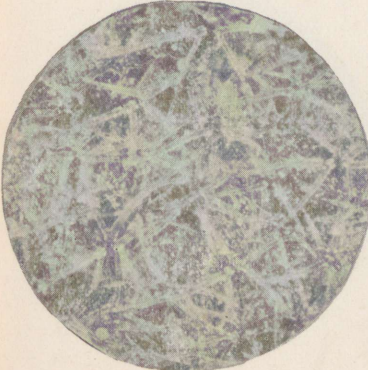
8



9



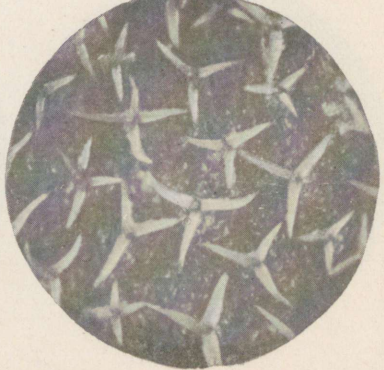
10



11



12



Tafel II. Borriginaceae 1. (Myosotis).

1

2

3

4

5

6

7

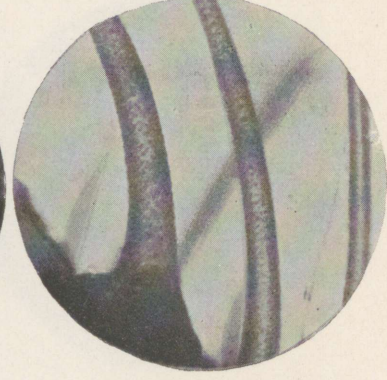
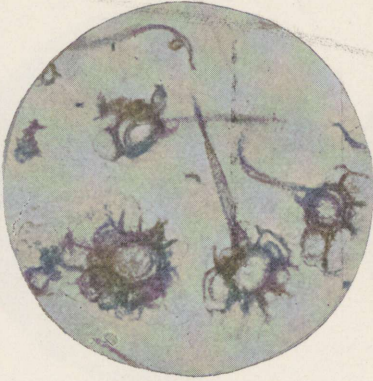
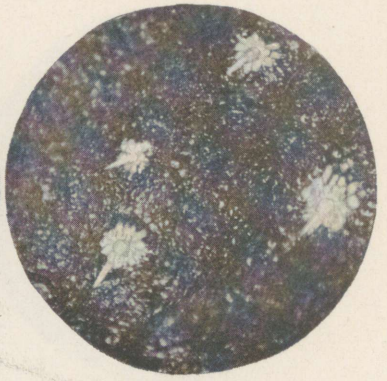
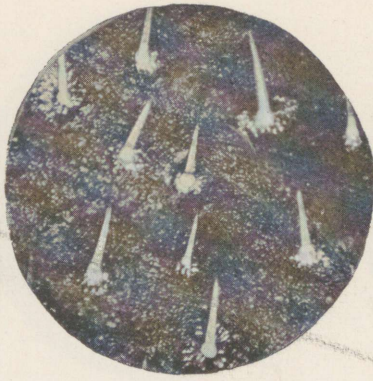
8

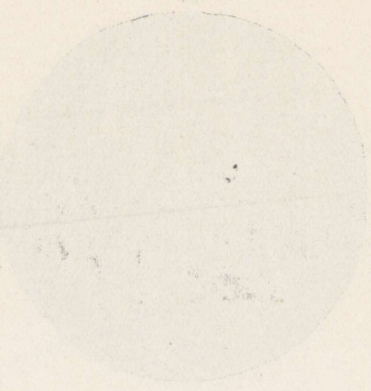
9

10

11

12





Tafel III. Borriginaceae 2.

1

2

3

4

5

6

7

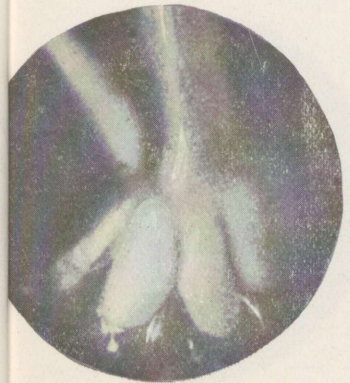
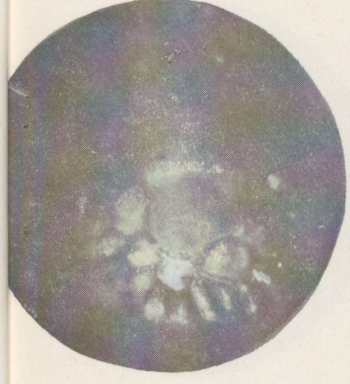
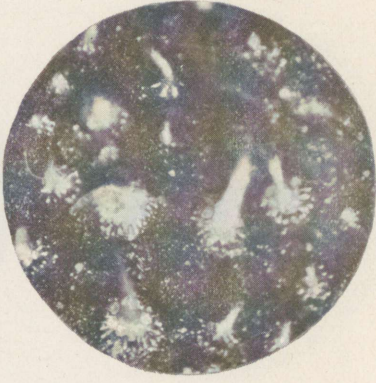
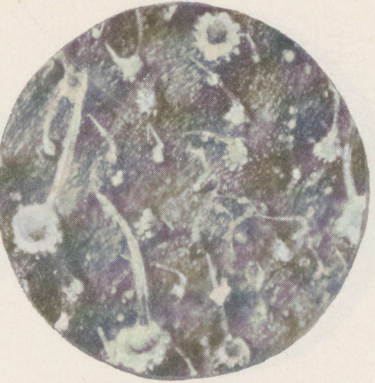
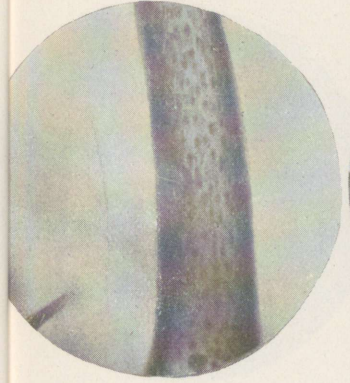
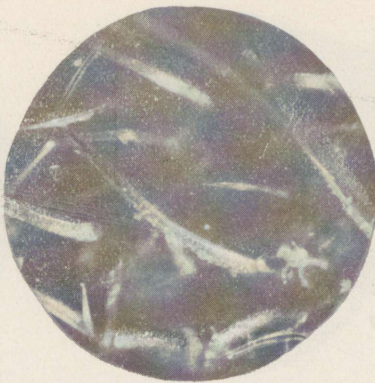
8

9

10

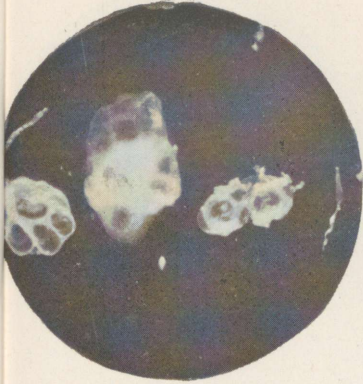
11

12



Tafel IV. Verschiedene Pflanzen.

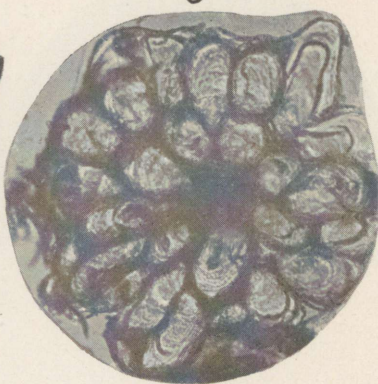
1



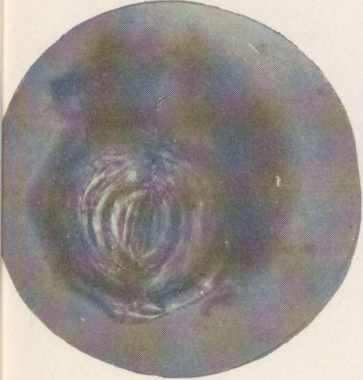
2



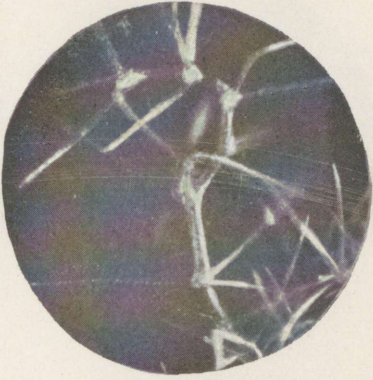
3



4



5



6



7



8



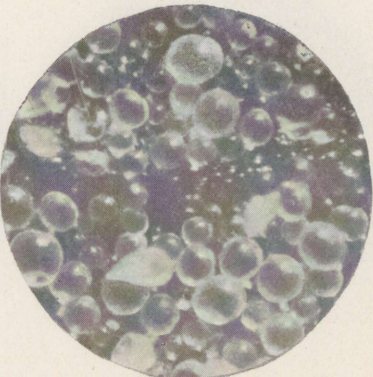
9



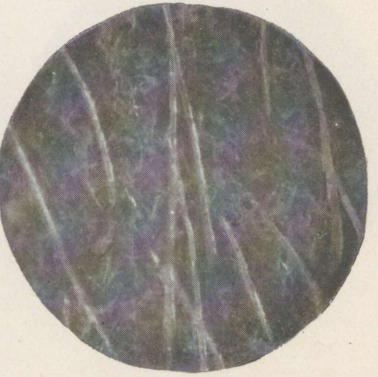
10



11



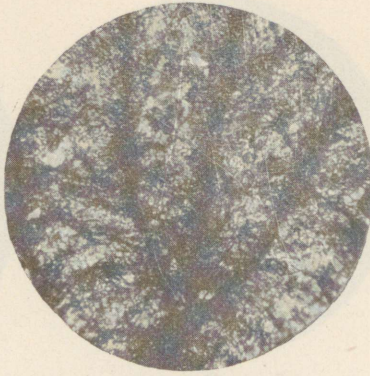
12



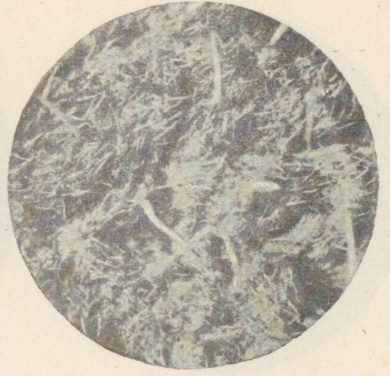
Tafel V. *Urtica dioica* 1.



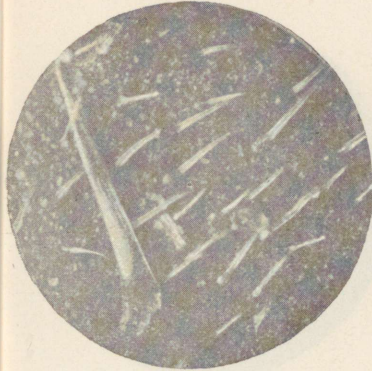
1



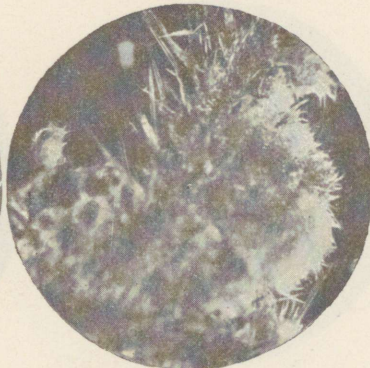
2



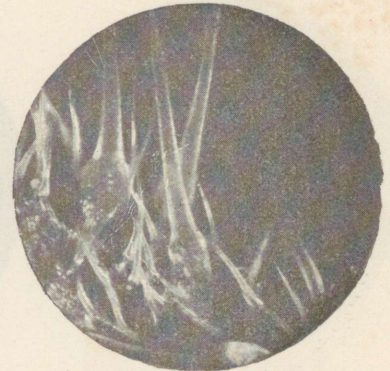
3



4



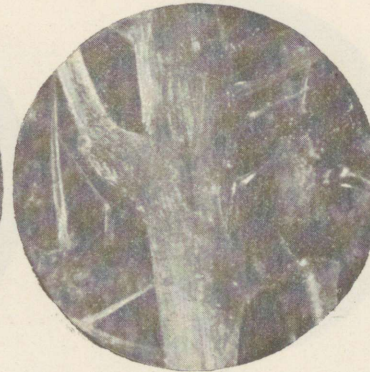
5



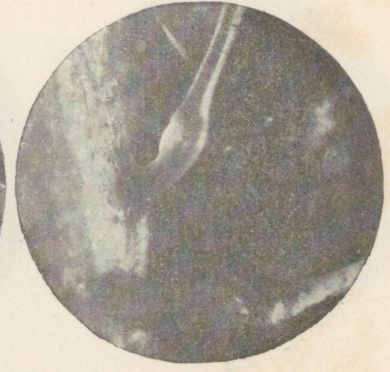
6



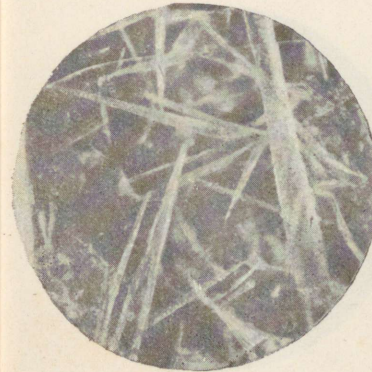
7



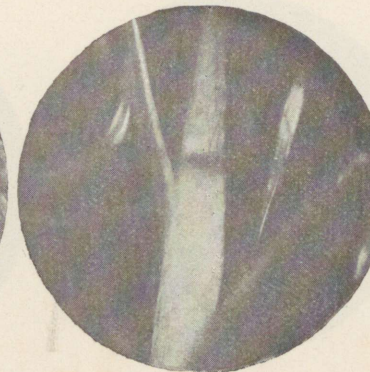
8



9



10

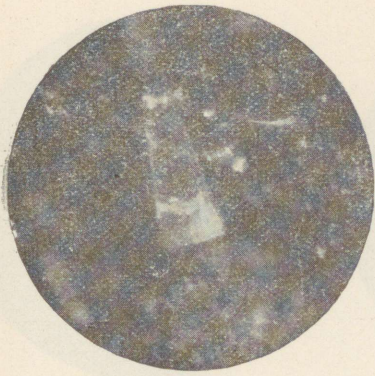


11

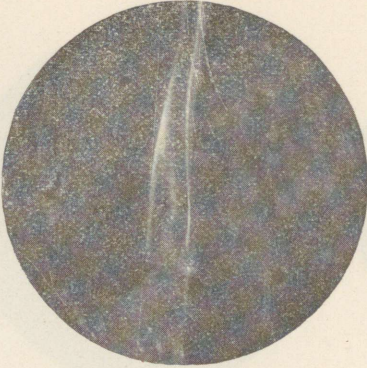


12

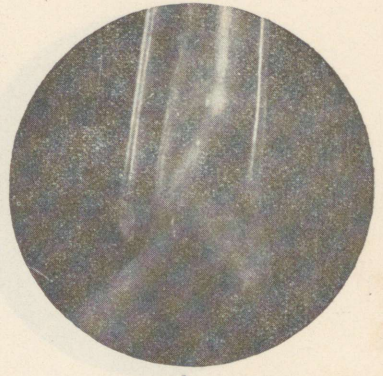
Tafel VI. *Urtica dioica* 2.



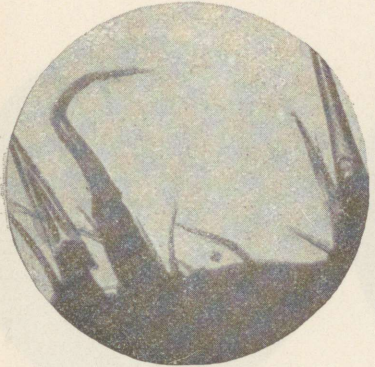
1



2



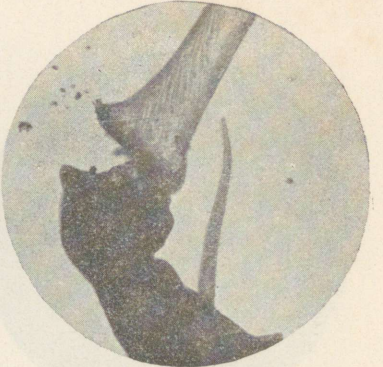
3



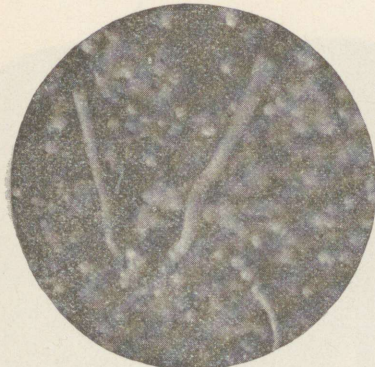
4



5



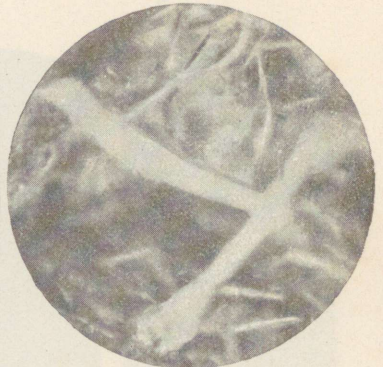
6



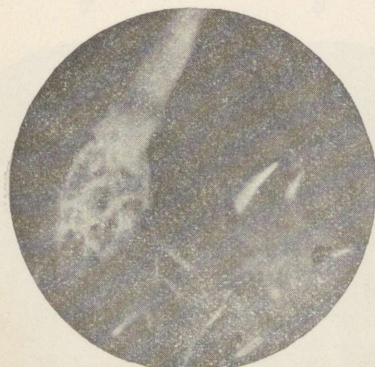
7



8



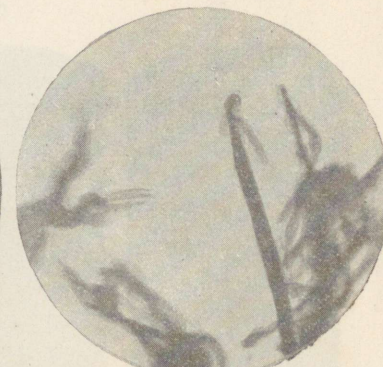
9



10

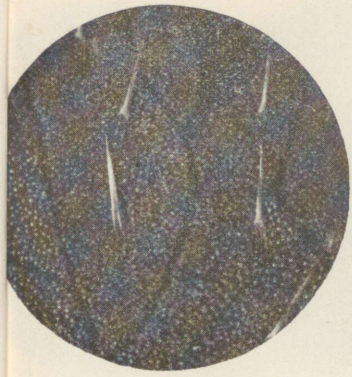


11

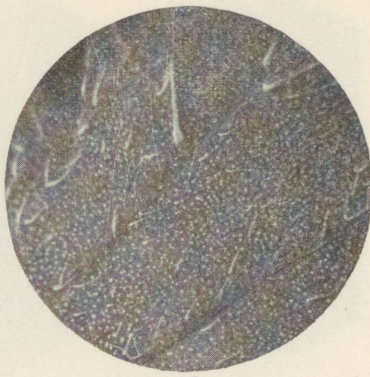


12

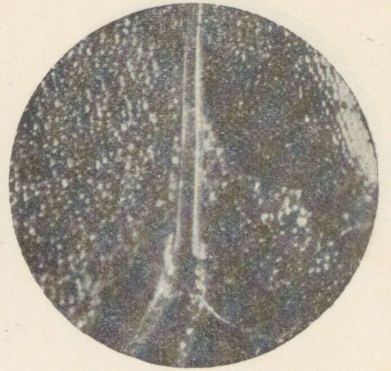
Tafel VII. *Urtica urens* 1.



1



2



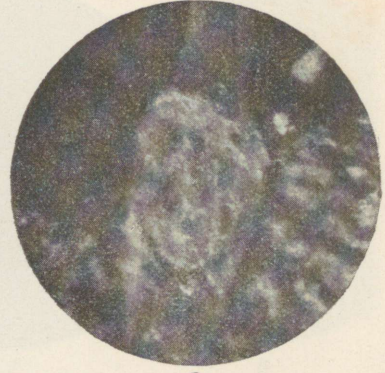
3



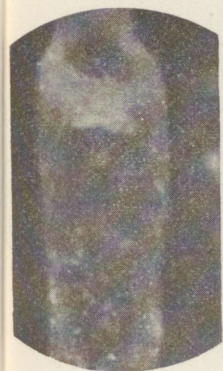
4



5



6



7



8



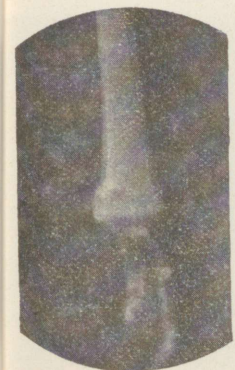
9



10



11



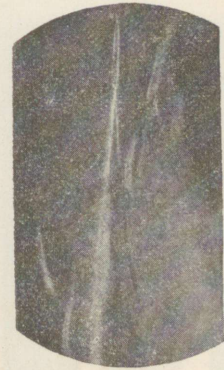
12



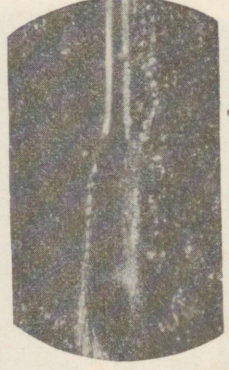
13



14



15



16

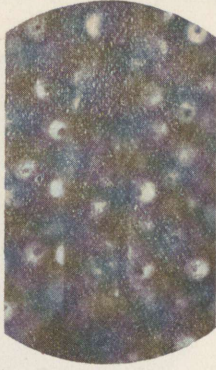
Tafel VIII. *Urtica urens* und *dioica*.



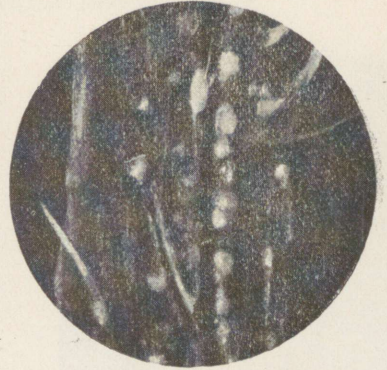
1



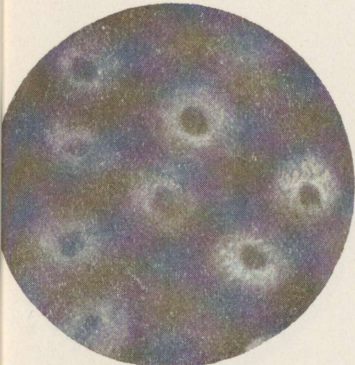
2



3



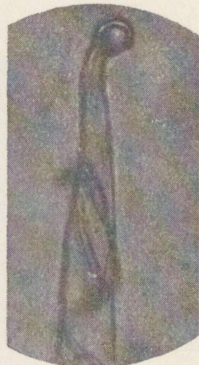
4



5



6



7



8



9



10



11



12



13



14



15



16



17



18



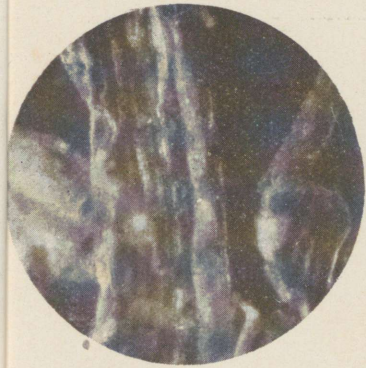
19



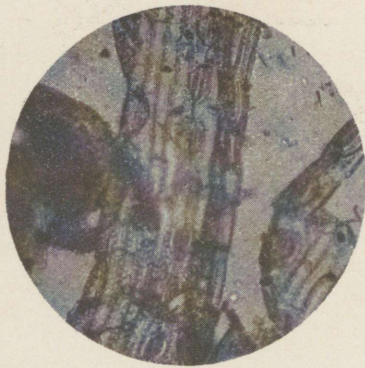
20

Tafel IX.

- 1) Wirkung der kochenden Salzsäure auf unbehaarte Pflanzenteile.
2) Haargebilde orientalischer und westeuropäischer Borriginaceae.



1



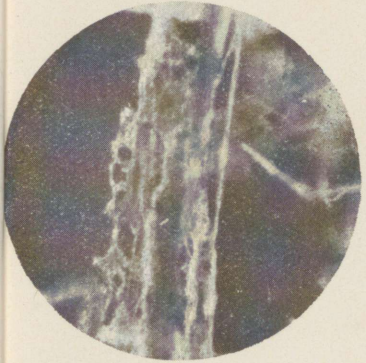
2



3



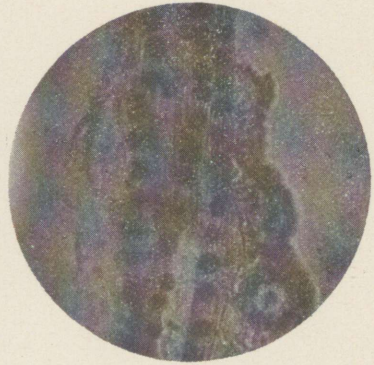
4



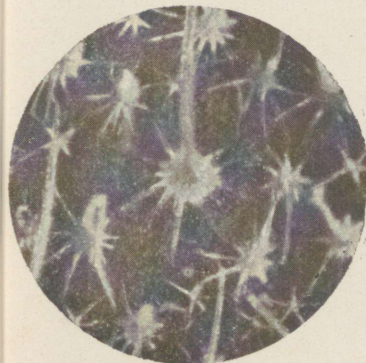
5



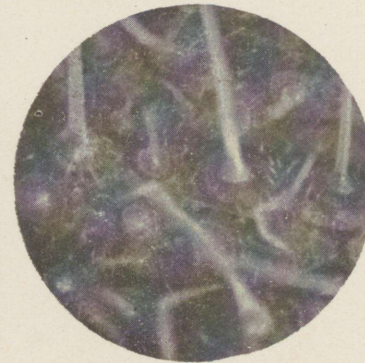
6



7



8



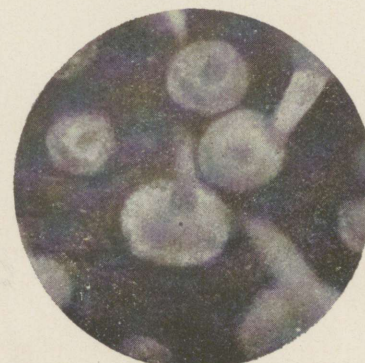
9



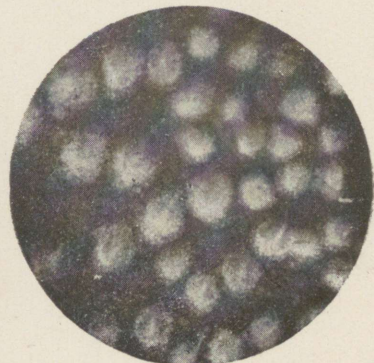
10



11



12



13

