

DER MIKROCHEMISCHE NACHWEIS DER ZYSTOLITHEN NACH H. MOLISCH — EIN MITTEL ZUM NACHWEIS VON DURCH UV-STRAHLEN HERVORGERUFENEN REDUKTIONSERSCHEINUNGEN AN ZYSTOLITHEN.

Von

O. RICHTER,

Brünn.

Aus dem Institut für Botanik, Warenkunde, technische Mikroskopie und Mykologie der Deutschen Technischen Hochschule in Brünn. Nr. 98.

(Eingelangt am 4. August 1936.)

Zur raschen Orientierung über die Verteilung der Zystolithen im Blatte schon bei schwacher Vergrößerung empfiehlt H. MOLISCH¹ bekanntlich, Flächenschnitte, z. B. der Brennessel, *Urtica urens*, in eine 1%ige Silbernitratlösung einzubetten und, mit einem Deckglas bedeckt, im Finstern liegen zu lassen.

„Schon nach wenigen Minuten“ ist dann „die Schwärzung der Chlorophyllkörner und alsbald auch die“ „der kugeligen, an ihrer Oberfläche rauh erscheinenden Zystolithen“ zu „beobachten“. Ähnlich wirkt schwefel- und milchsaures Silber. „Die am „Rande des Schnittes liegenden“, dem Silbersalz am leichtesten zugänglichen „Zystolithen“ „färben sich zuerst, die mehr in der Mitte befindlichen später.“ Am instruktivsten werden nach MOLISCH¹ diese Präparate, wenn man sie zunächst wie für die SACHS'sche Jodprobe vorbereitet und „das nunmehr schneeweiße Blatt in eine 1%ige Silbernitratlösung für mehrere Stunden bis einen Tag im Finstern einlegt, dann in Wasser sorgfältig auswäscht und schließlich in Glycerin einbettet“. Schon bei Lupenbetrachtung sind die Zystolithen

¹ Beiträge zur Mikrochemie der Pflanze, Nr. 12 und 13. (Nr. 12. Über Riesenkieselkörper im Blatte von *Arundo Donax*.) Nr. 13. Über das Verhalten der Zystolithen gegen Silber- und andere Metallsalze. Ber. d. deutsch. bot. Ges. Bd. 36, 1918, S. 477/8, und H. MOLISCH, Mikrochemie der Pflanze⁴. 3. Aufl., I. c., S. 52.

in einem solchen Blatte als schwarze Punkte² zu sehen, da das Blatt mit ihnen förmlich „übersät“ ist. „Auch die Brennhaare und die anderen Haare zeigen sich gebräunt oder geschwärzt“ (vgl. hiezu Fig. 2 der vorliegenden Abhandlung). Das Blatt erscheint im übrigen ziemlich hell, auch die Chlorophyllkörner sind nicht schwarz, da sie „nur im lebenden Zustande das Silbersalz reduzieren, im toten aber nicht“. Bei *Urtica dioica* sind die sich gleichfalls mit Silbersalzen schwärzenden Zystolithen „wurst- oder kurz wurmförmig“¹. Ähnlich verhielten sich¹ die Zystolithen von *Boehmeria Hamiltoniana hort.*, *B. polystachya*, *B. biloba*, *Pellionia Daveauana*, *Ficus elastica*, *F. repens*, *Humulus Lupulus*, *Parietaria officinalis*, *Celtis australis*, *Broussonetia papyrifera*, *Eranthemum*, *Goldfussia*, *Ruellia* und *Klugia*. Die Zystolithen aller dieser Pflanzen reduzieren nach MOLISCH¹, abgesehen von den im Marke von *Goldfussia isophylla* und *G. glomerata* und von *Ruellia ochroleuca* vorkommenden, ob nun die untersuchten Pflanzen „den Urticales, den Acanthaceen oder anderen Familien angehören, salpeter-, schwefel- und milchsaures Silber schon im Finsternen so stark, daß sie sich nach einiger Zeit intensiv schwärzen.“

Daß dabei das Kalkkarbonat die Silberreduktion hervorruft, schließt MOLISCH¹ daraus, daß die Zystolithen nur solange die Schwärzung zeigen, als sie CaCO_3 enthalten. Wurde durch Einlegen der Blätter in 10% HCl das CaCO_3 gelöst, so unterbleibt bei nachheriger Behandlung mit Silbersalzen die Silberabscheidung auf den Zystolithen. Auch das Hellbleiben der Markzystolithen von *Goldfussia* und *Ruellia* sei Beleg für diese Auffassung, zumal die mit CaCO_3 inkrustierten Zystolithen des gleichen Internodiums die Silbersalze prompt reduzieren.

Damit stehe auch im Einklang, daß mit CaCO_3 inkrustierte Haare, etwa „die Brennhaare von *Urtica dioica* und *U. urens*, und zwar in der Membran und im Inhalt“, „Schwärzung mit Silbernitrat“ zeigen. Auch beim Hopfen, wo die verkalkten Haare an der Basis mit einem „Wall von“ „ CaCO_3 enthaltenden Zellen“ „kranzförmig“ umgeben sind, findet ebenso wie bei den Haaren der Cucurbitaceen, Borragineen und gewisser Cruciferen die typische Schwärzung mit AgNO_3 statt, desgleichen bei den Schüppchen und Krusten von CaCO_3 an Algen und submers lebenden Wasserpflanzen. Endlich zeige reines CaCO_3 mit AgNO_3 im Finstern die gleiche Schwärzung, wenn auch viel langsamer³, was mit „der Art der Verteilung des Kalkes innerhalb der Zystolithen begründet“³ sein könnte, wenn nicht „vielleicht noch andere Stoffe an der Silberabscheidung beteiligt sein“ „mögen“³.

Obwohl also „aus einer Schwärzung mit Silbersalzen nicht ohne weiteres folgt, daß sie von Kalkkarbonat herrührt,

² Daß die schwarzen Punkte wirklich die Zystolithen sind, beweist die mikroskopische Beobachtung (vgl. hiezu Abb. 2 links oben der vorliegenden Abhandlung).

³ Von mir gesperrt.

da die verschiedensten Substanzen Silberreduktion hervorrufen können“³, so könne doch, „wenn noch auf andere Weise kohlenaurer Kalk nachgewiesen oder wahrscheinlich gemacht wurde, die Silberreaktion zur Stütze herangezogen werden“ oder man könne „in der Schwärzung einen Fingerzeig erblicken, daß Kalkkarbonat vielleicht vorhanden“³ ist“.

In ähnlich vorsichtiger Weise drückt sich MOLISCH in seiner Mikrochemie⁴, S. 52, aus: „Ob hier wirklich eine Silberreduktion vorliegt, bleibt vorläufig noch zweifelhaft, denn es könnte das Kalkkarbonat das Silberoxyd auch ausscheiden oder die reduzierende Wirkung organischer Stoffe wecken“³. Schon 1899 hat MOLISCH⁵ zeigen können, daß Zystolithen bei längerer Berührung mit FeSO_4 -Lösung rostrot werden. Durch die alkalische Reaktion des den Zystolithen inkrustierenden CaCO_3 wird nach MOLISCH⁶ „zuerst Eisenoxydulhydrat“ niedergeschlagen, „das aber in Berührung mit Luft sofort in braunes Eisenoxydhydrat übergeht“, auf das die rostrote Farbe zurückzuführen ist. Auch für Versuche dieser Art sind wieder mit Alkohol vom Chlorophyll befreite reinweiße Blätter der Brennessel besonders zu empfehlen. Nimmt man statt Eisenvitriol ein Kobaltsalz (CoCl_2 oder CoSO_4), so werden die Zystolithen lila oder rosenrot. Um diese etwas matte Verfärbung deutlicher zu gestalten, ist das Blatt nach 24stündiger Behandlung in den Kobaltsalzen für kurze Zeit in 10% KOH einzulegen, wodurch sich die Zystolithen tiefviolett färben, eine Farbe, die leider nach einiger Zeit verblaßt. Endlich färbt Nickelsulfat die Zystolithen blaßgrün und Goldchlorid rot- bis blauviolett, vermutlich infolge der Bildung von Aurohydroxyd⁶.

Die auf meine Veranlassung in Sperrdruck gesetzten Stellen des im Vorstehenden zum Abdruck gebrachten Zitates aus der Arbeit von MOLISCH über den Nachweis der Zystolithen mittelst 1% Silbernitrat, Eisen-, Kobalt- und Nickelsalzen, insbesondere der Umstand, daß im Ausfalle der Reaktion Unterschiede bemerkbar sind, je nachdem auf den Zystolithen abgelagertes oder reinstes käufliches CaCO_3 nachzuweisen war, ließ mich im Hinblick auf meine Untersuchungen⁷ über Oxydoreduktionen, insbesondere über die Photooxydation bei stärke-, bzw. zellulosehaltigen Substraten im Strahlenbereiche kräftiger künstlicher

⁴ Mikrochemie der Pflanze. 3., neubearbeitete Auflage, Jena, Verlag von G. Fischer, 1923, S. 52.

⁵ Botanische Beobachtungen auf Java. IV. Abhandlung: Über Pseudoidikan usw. Sitzb. d. Kais. Akademie d. Wiss. in Wien, Bd. CVIII, Abt. I, 1899, S. 479.

⁶ Beiträge zur Mikrochemie der Pflanze, Nr. 12 und 13, I. c., S. 480.

⁷ O. RICHTER, Neue Beiträge zur Photosynthese und Photolyse, vornehmlich an der lebenden Pflanze. Denkschr. d. Akad. d. Wiss. in Wien, math.-naturw. Kl., 103. Bd., Wien 1932, S. 181 f., bes. S. 183.

Höhensonnen vermuten, daß möglicherweise die Bestrahlung des mit der zugehörigen Membran eng verbundenen CaCO_3 für dessen vollkommenere Reduktion verantwortlich sein könnte.

Es wurden also sowohl Blätter von tagelang in der Dunkelkammer finster gehaltenen⁸ wie direkt dem Terrain unseres Versuchsgartens entnommenen Brennesseln (*Urtica dioica* L.), als auch mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lösung in der Dunkelkammer angesogene und nachher in der Dunkelkammer getrocknete Filtrierpapiere und -Kartone neben unbehandelten oder in destilliertem Wasser eingetauchten und nachher getrockneten Kontroll-Filtrierpapieren und -Kartonen unter Bedeckung mit durchstanzten Zinkblechschablonen (Zbl.Sch.) der UV-Bestrahlung mit der künstlichen Höhensonne (k.H.S.) Nr. 104.220 meines Institutes unterzogen und sie — als ganze — nachher zur Entwicklung der erwarteten Buchstaben(Bu)-Folgen in der Dunkelkammer bei den ersten Serien von Versuchen im Anschluß an die oben angeführten Rezepte von MOLISCH in 1% Silbernitrat, in allen späteren Versuchsserien im Hinblick auf das kontrastreichere Bild, das erzielt wurde, in 0,1% AgNO_3 , selbstverständlich in der Dunkelkammer, eingetragen⁹. Dabei wurden vergleichsweise gewisse Blätter von der Unterseite, andere von der Oberseite her bestrahlt, wobei sich die Bestrahlung von der Unterseite wegen der auf ihr befindlichen Spaltöffnungen und ihrer zarteren Ausbildung als vorteilhafter erwies⁷ (s. Abb. 1).

Der Erfolg war der Vermutung entsprechend, aber doch überraschend schön. Die Silberreduktion war in den bestrahlt gewesenen Flächen, den (Bu), in 1% AgNO_3 wesentlich stärker als im Subschablonengebiete, in 0,1% AgNO_3 **aus-schließ-lich** in allen UV-bestrahlt gewesenen Flächen,

⁸ Der Aufenthalt der dem Terrain entnommenen, mit ihren unterirdischen Stämmen und Wurzeln in Wasser getauchten oder in Erde mit feuchtem Moose oder dgl. feucht gehaltenen grünen Brennesseln soll nicht über drei Tage hinausgehen, weil die Brennesselblätter sonst die verschiedensten Schädigungen aufzuweisen beginnen und damit zu exakten Versuchen nicht mehr zu brauchen sind.

⁹ Für die ausgiebige Mithilfe bei diesen mühevollen Experimenten bin ich meiner damaligen lieben wissenschaftlichen Hilfskraft, Herrn Ing. G. SCHOB-**L**IK, zu großem Danke verpflichtet.

also vor allem in den (Bu)-Arealen eingetreten, wodurch sich die (Bu)-Folgen kontrastreich gegen das mattverfärbte (1% AgNO_3) oder nicht gefärbte (0,1% AgNO_3) Subschablonegebiet abhoben, Ergebnisse, die zu den instruktiven Aufnahmen der Abb. 1 u. 2 führten. Die Bestrahlungszeit war 1, 2, 3, 5, 10, 15 Minuten, $\frac{1}{2}$ oder $\frac{3}{4}$ Stunden: der Effekt je nach der angewendeten Bestrahlungszeit verschieden intensiv.

Dabei war bei den Brennesselblättern der Effekt umso kontrastreicher zu sehen, je länger die Blätter vor der Bestrahlung mit der (k.H.S.) in der Dunkelkammer geweilt hatten⁸. Es werden nämlich, wie die mikroskopische Untersuchung zeigt (s. Abb. 2), die gerade im UV-bestrahlt gewesenen Gebiete gelegenen Zystolithen ins Satt-

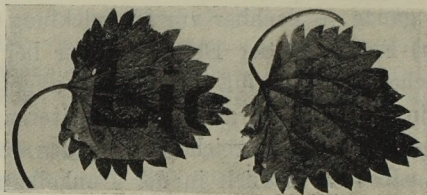


Abb. 1.

braune bis Tiefschwarze geschwärzt, wodurch bei der makroskopischen Betrachtung das einheitliche Bild der tiefbraun bis schwarz gefärbten (Bu)-Folgen der Abb. 1 zustande kommt, das allerdings auch noch durch die in der Epidermis eintretende Nekroseverfärbung⁷ verstärkt wird, die in ihrer hellbraunen Tönung natürlich bereits — bei längerer Bestrahlung — sofort nach dem Wegnehmen der Blätter vom Bestrahlungstische zu sehen ist oder sich — bei kürzerer Bestrahlung — im Laufe eines Halbtags entwickelt. Bei „Dunkel-Nesseln“ speichern nun bis zum Auftreten der (Bu)-Schwärzung die Zystolithen des Subschablonegebietes noch keine Spur von metallischem Silber, was den Unterschied in der Färbung eben so ganz besonders gut hervortreten läßt⁸. Chlorophyllentzug mit 96% Alkohol läßt die Präparate besonders instruktiv erscheinen.

Bei direkt dem Terrain (auch um $\frac{1}{2}$ 8 Uhr früh) entnommenen Brennesseln besorgten dagegen auch die Zystolithen des Subschablonegebietes eine noch recht erkleckliche Silberreduktion, die natürlich schwächer war als die in den UV-bestrahlten (Bu)-Flächen, sich aber doch als intensiv genug erwies, um sich für die Herstellung einer Kontraste herausarbeitenden photographischen Aufnahme unangenehm bemerkbar zu machen.

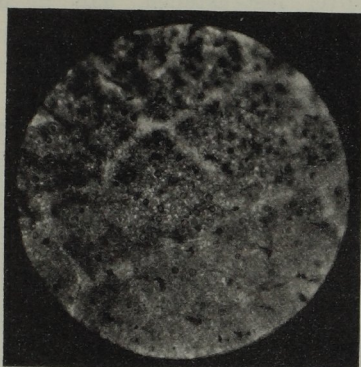


Abb. 2.

Ausdrücklich sei noch betont, daß der analoge Erfolg bei diesen Versuchsobjekten auch mit den von MOLISCH zum CaCO_3 -Nachweis empfohlenen, S. 352 erwähnten Eisen- und Kobaltsalzen zu erzielen war. Das makroskopische Aussehen der UV-bestrahlten Blattflächen ist bei Verwendung von Eisensalzen grauschwarz, bei Anwendung der Kobaltsalze blauviolettschwarz. Die Zystolithenfarbe kann in den UV-bestrahlten Flächen als rotbraun bis schwarz bei Verwendung der Eisensalze, als violett- oder bläulichschwarz nach Anwendung von Co-Salzen bezeichnet werden. Vor allem die Kobaltsalzpräparate geben in Chloralhydrat 5:2 ganz besonders instruktive Bilder, in denen die Grenzen zwischen den UV-bestrahlte gewesen dunkelgefärbten und den vollständig weiß gebliebenen verdunkelt gewesen ZY-

stolithen des Subschablonegebietes in einwandfreier Weise hervortreten (Abb. 3).

Auch lassen sich im Lichte haltbare Dauerpräparate sowohl von den Eisensalz- wie von den Kobaltsalz-Präparaten in 96%igem Alkohol in Standgläsern bzw. in Chloralhydrat 5:2 in Petrischalen herstellen, wenn man diese mit einem Glassturz überdeckt. Ich besitze solche Demonstrationspräparate nun schon seit Herbst 1934.

Bei den Filtrierpapieren und Kartonen war außerdem einwandfrei festzustellen, daß in den in $\text{Ca}(\text{OH})_2$

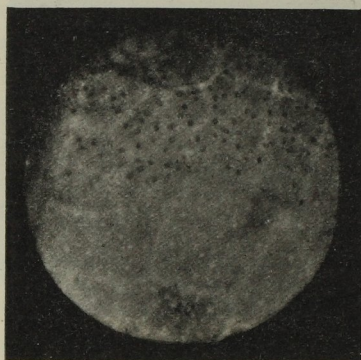


Abb. 3.

gebadeten und dann getrockneten Objekten, die sonach nach 24 Stunden mit überaus fein verteiltem CaCO_3 beladen waren, in den (Bu)-Arealen die Silbernitratreduktion viel kräftiger eingetreten war als in den Kontrollobjekten ohne $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Behandlung⁹. Der Unterschied in der Dunkelfärbung der (Bu)-Flächen ist derart ins Auge springend, daß er ohne weiteres photographisch festgehalten werden konnte (vgl. Abb. 4, Unterschied zwischen oberer und unterer Reihe).

Endlich sei noch betont, daß ich natürlich auch mit, mit Kristallen von CaCO_3 in der Dunkelkammer zur Hälfte eingeriebenen Filtrierpapieren und -Kartonen, die dann mit durchstanzten Zbl.-Sch. belegt und nachher der Bestrahlung durch die k.H.S. ausgesetzt wurden, analoge Versuche wie mit den mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ge-

tränkten Filtrierpapieren und -Kartonen in Szene gesetzt habe, durchaus mit dem analogen Erfolge, nur waren die Reduktionseffekte im AgNO_3 bei derart grob kristallinem CaCO_3 ganz in Übereinstimmung mit den Erfahrungen von MOLISCH an CaCO_3 -Kristallen wesentlich geringer, so daß die Unterschiede im Verhalten der mit CaCO_3 eingeriebenen gegenüber den von CaCO_3 freien Stellen der UV-bestrahlten Filtrierpapiere und Kartone in AgNO_3 eben gerade noch vom Auge erfaßt werden konnten, ähnlich wie bei in mehr minder konzentrierte wässrige Lösungen von CaCO_3 eingetaucht gewesenen und dann getrockneten Filtrierpapieren und -Kartonen, die der Strahlung der k.H.S. ausgesetzt worden waren.

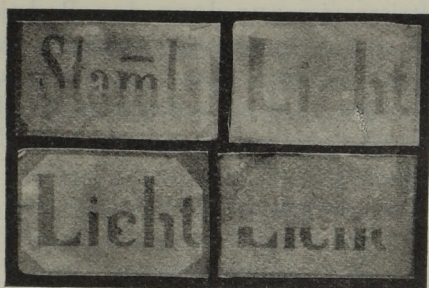


Abb. 4.

Diese photographisch kontrastreich einfach nicht wiederzugebenden Ergebnisse führten ja eben zu den oben geschilderten Versuchen mit durch Eintauchen in Ca(OH)_2 und 24stündiges Trocknen in der Dunkelkammer mit feinst verteiltem CaCO_3 beladenen Filtrierpapieren und -Kartonen.

Durch die geschilderten Versuche war zunächst in Ergänzung meiner Erfahrungen aus den Jahren 1929—32⁷ mit einem Gemisch von Ferrichlorid und Ferrizyankalium, das die UV-bestrahlt gewesenen Flächen von Kartonen, Filtrierpapieren oder Kartoffeln, also die (Bu)-Areale, in Turnbullsblaufärbung hervortreten ließ, der Beweis dafür erbracht.

1. daß in einer neuen Form, nämlich durch Reduktion von im Dunkeln gehaltenen Silbernitrat, ein weiterer

Beleg für das Auftreten einer reduzierenden Substanz in den UV-bestrahlt gewesenen, also den (Bu)-Arealen, beigebracht werden konnte;

2. daß diese Reduktion von Silbernitrat umso kräftiger vor sich geht, je dichter die Filtrierpapier- und Kartonflächen mit sehr fein verteilten, aus $\text{Ca}(\text{OH})_2$ binnen 24 Stunden gebildeten CaCO_3 -Kriställchen belegt erscheinen;

3. daß, da einerseits UV-bestrahltes und unbestrahltes CaCO_3 allein, ohne die enge Anlagerung an die Fasern des Filtrierpapiers oder der Kartone, im Silbernitrat nur eine ganz geringe Reduktion hervorruft,

da andererseits mit aus $\text{Ca}(\text{OH})_2$ gebildetem CaCO_3 dicht besetztes Filtrierpapier nur dann den Reduktionseffekt zeigt, wenn es UV-bestrahlt wurde — (Bu)-Areale —, im nicht bestrahlt gewesenen Zustande aber nicht — Subsablonegebiet —, die vorgängige UV-Bestrahlung für den Ablauf der Reaktion von grundlegender Bedeutung sein muß.

Wenden wir uns nun wieder den Versuchen mit den von UV-Strahlen der (k.H.S.) getroffenen und von ihnen nicht getroffenen Zystolithen der Brennessel (*Urtica dioica*) und dem Verhalten dieser zentripetalen exzentrischen Membranverdickungen gegenüber im Dunkeln gehaltenem Silbernitrat bzw. Eisen- und Kobaltsalzen zu, wobei die Zystolithen der im Dunkeln gehaltenen Versuchsobjekte in den UV-bestrahlt gewesenen Blattflächen die charakteristischen Reduktionsschwärzungen sehr stark, die der unbestrahlt gebliebenen nicht spurenweise, endlich die jener Blätter, die von aus dem Freien eingebrachten Nesseln gepflückt wurden, die also vom Tages- oder Sonnenlichte eine relativ kurze Zeit getroffen worden waren, auch in den künstlich von UV-Strahlen nicht getroffenen Arealen schwache Reduktionsschwärzungen zeigten, so kommen wir zu dem Schlusse, daß auch bei diesen von CaCO_3 umgebenen Membranverdickungen aller Wahrscheinlichkeit nach

I. die dichte Verteilung des CaCO_3 innerhalb der Zystolithen-Membransubstanz, wie schon MOLISCH vermutete,

II. aber auch die Bestrahlung mit UV-Strahlen womöglich $< 300 \text{ m}\mu$ — vermag doch schon ein auf das Blatt aufgelegtes Deckglas die Wirkung der von der (k.H.S.) hauptsächlich ausgesendeten UV-Strahlung fast gänzlich aufzuheben — bei dem guten Ausfall des durch AgNO_3 , Eisen- und Kobaltsalze nachweisbaren Reduktionseffektes in den mit CaCO_3 beladenen Zystolithen einen, und zwar scheinbar entscheidenden Einfluß hat, daß also

III. zu folgern wäre, **es dürften in den Laubblättern so vieler Pflanzen aus den Urticales, den Acanthaceen und anderen Familien in so ungeheurer Zahl zur Ausbildung gekommenen mit CaCO_3 beladenen Membranflächen der Zystolithen, die ausgebreitet eine riesige, mit CaCO_3 bedeckte Fläche Zellulose darstellen, unter der Wirkung der UV-Strahlen des Sonnen- und des Tageslichtes Reduktionsvorgänge induziert werden**, eine Folgerung, die uns — wenn man es heute schon wagen darf, eine derartige Ansicht auszusprechen — das erste Mal eine experimentell gestützte Erklärung für die Rolle der in ihrer Funktion bisher völlig rätselhaft gebliebenen Zystolithen¹ im Leben der Pflanze vor Augen führen würde¹⁰.

Anhangsweise

sei noch erwähnt, daß die durch die Reduktion einer im Dunkeln gehaltenen Silbernitratlösung in den durch die

¹⁰ MOLISCH sagt S. 480: „Über die Funktion der Zystolithen sind zwar verschiedene Vermutungen geäußert worden, doch ist darüber Sicheres nicht bekannt. Daher läßt sich auch sehr schwer sagen, ob ihr Reduktionsvermögen der Silbersalze mit ihrer Funktion zusammenhängt.“ Nun sehen wir, daß sie dieses Reduktionsvermögen im Lichte erwerben.

Damit würde gewissermaßen die alte, 1880—1883 von O. PENZIG vertretene, von FR. NETOLITZKY (Die Kieselkörper, die Kalksalze als Zellinhaltskörper, Lief. 25 von K. LINSBAUERS Handbuch der Pflanzenanatomie, Berlin, Verl. v. Gebrüder Bornträger, 1929, S. 56) zitierte Anschauung von der Bedeutung der Zystolithen als Beleuchtungskörper und HABERLANDTS 1908 in der Akad. d. Wiss. in Wien veröffentlichte, von K. LINSBAUER (Die Epidermis, Lief. 27 d. Handbuchs der Pflanzenanatomie, Berlin, Verl. v. Gebrüder Bornträger, 1930, S. 199) zitierte Beobachtung, daß die Zystolithen in den Zellen von *Morus alba* als lokale Lichtsinnesorgane fungieren, da der Zystolithenkörper ein Linsenbild liefert, in ganz anderer Form eine unerwartete Auferstehung feiern.

UV-Strahlen getroffen gewesenen (Bu)-Arealen neuerlich bewiesene Entwicklung einer reduzierenden Substanz in Kartonen und Filtrierpapieren, deren Bildung hauptsächlich durch die UV-Strahlen $< 300 \text{ m}\mu$ einer starken (k.H.S.) bedingt wird⁷, im Sommer 1933 im Schatzlarer Bezirks-Krankenhaus mit der dort befindlichen starken Analysen-Quarz-Lampe (A.Q.L.) Nr. 2620 ohne Filterglas bei 18 cm Distanz auch in der Weise von mir nachgewiesen wurde, daß beim Übertragen der Kartone oder Filtrierpapiere in verdünnte hellviolett gefärbte Lösungen von Kaliumpermanganat nur die bestrahlt gewesenen, also die (Bu)-Flächen, im Kaliumpermanganat fast momentan in allen Nuancen von Hell- bis Dunkelbraun verfärbt wurden, Farbentöne, die sich nach intensivem Waschen im fließenden Leitungswasser unverändert erhalten, was zur Folge hat, daß die bei der Bestrahlung verwendeten (Bu)-Folgen auf dem nach der Wäsche im Subschablonengebiete nun fast rein weiß erscheinenden Kartonen kontrastreichst hervortreten.

Auch die mit Ferrichlorid-Ferrizyankalium in den (Bu) erzielten Farbeneffekte⁷ konnten durch nachheriges gutes Auswaschen mit Leitungswasser fixiert werden. Das gebildete Turnbullsblau hebt sich dann auf dem reinweißen Karton in ganz besonders schöner Weise ab. Sehr instruktiv wirkten auch Präparate, bei denen das Filtrierpapier bzw. der Karton durch Celophanpapier ersetzt wurde. Solche UV-beschriftete Celophanpapierscheiben sind direkt als Diapositive verwendbar. Endlich ergaben Mischungen von Ferrichlorid und Ferrizyankalium mit hellbraunen 1%igen Lösungen von Tannin überaus ansprechende sattviolettblaue Färbungen der bestrahlt gewesenen Flächen, die ebenso wie die Manganbräunung und die Eisenbläunung durch längeres Waschen in Leitungswasser fixierbar, jedoch nicht so haltbar waren wie die anderen. Bei ihnen trat, allerdings erst im Laufe eines Jahres, beim Aufenthalt der beschrifteten Kartone im Dunkeln auch Blaufärbung im Subschablonengebiete ein.

Bei allen diesen Nachweisen der Bildung einer reduzierenden Substanz auf zellulose-, bzw. zellulose- und

stärkehaltigen Substraten¹¹ durch Bestrahlung mit sehr kräftig strahlenden Quarzquecksilberlampen konnte immer wieder durch Auflage von Objektträgern und Deckgläschen auf bestimmte Stellen der (Bu) der durchstanzten (Zbl.-Sch.) durch den „im Bade“ nachher sichtbar werdenden „scharfen“ (Bu)-Abschnitt⁷ bewiesen werden, daß es wieder fast ausschließlich die UV-Strahlen $< 300 \text{ m}\mu$ sind, die für die Bildung der reduzierenden Substanz verantwortlich gemacht werden müssen.

Um nun noch mit einem anderen lebenden Substrate als mit Brennesselblättern das Auftreten mit im Dunkeln gehaltenem Silbernitrat nachweisbarer reduzierender Substanzen in stärke- und zellulosehaltigen Objekten als Ergebnis einer starken UV-Bestrahlung zu überprüfen, wurden im August 1934 bei der Entfernung von 25 cm vom Brenner der (A.Q.L.) Nr. 2620 des Schatzlarer Bezirkskrankenhauses mit Messer geschnittene Scheiben frischer, gut gewaschener Kartoffeln auf einer mit tropfnassem Filtrierpapier bedeckten Glasscheibe der Bestrahlung durch die (A.Q.L.) ohne Filterglas auf $\frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$ und 3 Minuten ausgesetzt, nachdem sie mit von Objektträgern getragenen, sie also nicht berührenden durchstanzten (Zbl.Sch.) mit oder ohne Deckglas (Dgl.) bzw. Objektträger(Obj.)-Abdeckung einzelner (Bu) bedeckt worden waren, worauf sofort in der Dunkelkammer die Behandlung der bestrahlt gewesenen Kartoffelscheiben mit einer $\frac{1}{10}$ norm. AgNO_3 -Lösung erfolgte.

Taucht man also die $\frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$ und 3 Minuten UV-bestrahlt gewesenen Kartoffelscheiben in die in einer geräumigen Glasschale in der Dunkelkammer vorbereitete AgNO_3 -Lösung, so bemerkt man bereits nach $\frac{1}{2}$ Stunde Aufenthalt der Versuchsobjekte in der im Dunkeln gehaltenen Lösung beim Übertragen der Präparate ins Licht die (Bu)-Folge in schwärzlicher bis schwarzer Farbe auf den hellgelben Kartoffelscheiben als Beleg für die Bildung einer reduzierenden Substanz durch die UV-Strahlen $< 300 \text{ m}\mu$,

¹¹ Die weißen Kartone sind mit Stärke geleimt und haben eine Stärkefüllung, aber auch das gewöhnliche Filtrierpapier ist mit Kleister schwach geleimt.

die auch in diesem Falle wieder die entscheidenden Strahlenarten darstellen (s. Abb. 5)¹².

Es muß noch bemerkt werden, daß alle Versuchsobjekte sowie das nasse Filtrierpapier selbst bei der drei Minuten währenden Bestrahlung fast völlig kalt blieben und nicht die geringste Schädigung aufwiesen.

Nach diesen ergänzenden Ausführungen bilden also die mit Kartonem und Filtrierpapieren sowie mit Scheiben frischer Kartoffeln im Schatzlarer Bezirkskrankenhause in den Sommern 1933 und 1934 durchgeführten Versuche einerseits wertvolle Stützen für die auf S. 359 geäußerte Anschauung, daß

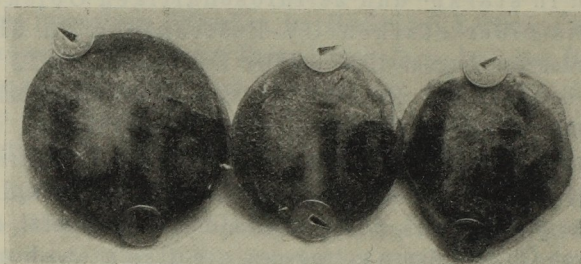


Abb. 5.

vermutlich auch die im Sonnen- und Tageslichte vorkommenden UV-Strahlen an Membranen Reduktionsvorgänge zu induzieren vermögen, die nach den Ausführungen der S. 356—359 und der Darstellung in Abb. 4 ganz besonders energisch einsetzen dürften, wenn das zellulosehaltige Substrat auch noch dicht mit CaCO_3 -Kriställchen überdeckt ist.

Andererseits erscheinen sie als entsprechende Ergänzungen der 1932⁷ veröffentlichten Untersuchungen des

¹² Man beachte besonders die Kartoffelscheibe in der Mitte und den zur Hälfte dargestellten, durch die Deckglas-Abschirmung gewissermaßen zerschnittenen i-Punkt. Daß sich diese Photographie etwas flauer darbietet, hängt damit zusammen, daß der Schatzlarer Photograph, der solche Objekte noch niemals aufgenommen hatte, eine sehr lange Zeit zum Einstellen brauchte, wobei eine leichte Silberausfällung auch auf den weißgelb gebliebenen Kartoffelscheibenpartien einzusetzen begann.

Verf. über die von UV-Strahlen hervorgerufenen Reduktionerscheinungen, insbesondere in methodischer Beziehung durch Anwendung von Silbernitrat und Kaliumpermanganat zum Nachweis der gebildeten reduzierenden Substanz.

Über den Ausbau der Methode des Nachweises auch von oxydierenden, durch UV-Strahlen in zellulose- und stärkehaltigen Objekten hervorgerufenen Substanzen und die dabei beobachteten Gesetzmäßigkeiten wird demnächst in einer Arbeit: „Neue Beiträge zur Oxydoreduktion insbesondere zur Photooxydation bei stärke- bzw. zellulosehaltigen Substraten im Strahlenbereiche kräftiger künstlicher Höhensonnen“ berichtet werden.

Zusammenfassung.

In der vorliegenden Arbeit wird das von MOLISCH zum mikrochemischen Nachweis des Kalziumkarbonats in der Pflanze vor allem zum Nachweis des CaCO_3 der Zystolithen verwendete Reagens 1% Silbernitrat, besonders in der neu angegebenen Verdünnung von 0,1% in Anwendung gebracht, um die reduzierende Wirkung von UV-Strahlen, besonders solcher $< 300 \text{ m}\mu$ auf die mit CaCO_3 inkrustierte Membran zu erweisen.

Zystolithen von Blättern von bis höchstens drei Tage^s im Dunkeln gehaltenen Brennesseln, *Urtica dioica*, zeigen nur dann die MOLISCH'sche CaCO_3 -Probe mit im Dunkeln gehaltenem Silbernitrat, wenn sie vorher kurze Zeit UV-bestrahlt wurden, dann aber überaus intensiv. Man ist also mit Hilfe der vom Verf. 1932 bei UV-Bestrahlungen weitgehendst in Anwendung gebrachten Schablonentechnik in der Lage, gerade bis zur Buchstaben(Bu)grenze bei der „Entwicklung“ der Brennesselblätter nach erfolgter UV-Bestrahlung mit im Dunkeln gehaltener 0,1% AgNO_3 -Lösung die Zystolithen tief-schwarz zu erhalten, während im Schablonengebiete kein einziger Zystolith auch nur eine Spur von Verfärbung zeigt (s. Abb. 1 u. 2).

Bei direkt dem Terrain entnommenen Brennesseln treten nur graduelle Unterschiede zwischen den Zystolithen der UV-bestrahlten und nicht bestrahlten Areale der Blätter ein, indem

die Zystolithen aus den (Bu)-Gebieten im dunkel gehaltenen AgNO_3 tiefschwarz, die anderen etwa braun gefärbt werden. Dieser Umstand und Versuche mit Deckglas- bzw. Objektträgerabschirmung machen es wahrscheinlich, daß auch in geringerem Maße UV-Strahlen $> 300 \text{ m}\mu$ an der Reaktionsförderung durch Bildung einer reduzierenden Substanz beteiligt sein können, daß aber der Hauptsache nach in den Bestrahlungsversuchen mit starken Quarzquecksilber-Lampen die UV-Strahlen $< 300 \text{ m}\mu$ für den Effekt verantwortlich zu machen sind.

In der Brennesselblattepidermis tritt in den UV-bestrahlten Flächen, also den (Bu)-Arealen, übrigens auch die schon 1932 vom Verfasser⁷ beschriebene Nekroseverfärbung auf.

Die gleichen Schlüsse wie aus den Versuchen mit AgNO_3 -Entwicklung im Dunkeln sind auch aus Versuchen mit dem von MOLISCH gleichfalls empfohlenen Kalkkarbonat-Nachweis mit Eisen- oder Kobaltsalzen zu ziehen (s. Abb. 3).

Nach Chlorophyllextraktion lassen sich mit 96% Alkohol sehr schöne, auch im Lichte haltbare Dauerpräparate der „Eisensalzwirkung“ darstellen. Für die „Kobaltsalz-Präparate“ ist Aufheben in Chloralhydrat 5 : 2 vom Vorteil. Die in der mit CaCO_3 beladenen Membran der Zystolithen durch UV-Bestrahlung wesentlich geförderte, bzw. in ihr geweckte Disposition zur Reaktion mit einer im Dunkeln gehaltenen AgNO_3 -Lösung wurde durch Versuche imitiert, bei denen mit in der Dunkelkammer in konz. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ getauchte und im Finstern bis zur völligen Trocknung 24 Stunden gehaltene, infolge der CO_2 -Aufnahme aus der Luft nun mit frisch gebildeten CaCO_3 -Kriställchen dicht besetzte Filtrierpapiere oder Kartone vergleichsweise mit nur in dest. Wasser getauchten und dann getrockneten oder überhaupt unbehandelten, aber auch 24 Stunden verfinstert gehaltenen Filtrierpapieren oder Kartonen unter Bedeckung mit Zinkblechschablonen der UV-Bestrahlung ausgesetzt wurden.

Die mit dem CaCO_3 bedeckten Papiere und Kartone zeigten nach erfolgter UV-Bestrahlung bei der „Entwicklung“

in AgNO_3 im Dunkeln eine wesentlich tiefere Schwärzung in den bestrahlt gewesenen Flächen, also den (Bu)-Arealen, als die Kontrollobjekte (vgl. Abb. 4).

Wieder sind in diesen Versuchen die UV-Strahlen $< 300 \text{ m}\mu$ die vor allem maßgebenden.

Der Nachweis der Entwicklung einer durch die UV-Strahlen in Kartonnen und Filtrierpapieren hervorgerufenen reduzierenden Substanz mittelst einer im Dunkeln gehaltenen AgNO_3 -Lösung schließt als neu an die vom Verf. 1932⁷ veröffentlichte Methode des Nachweises mit Ferrichlorid-Ferrizyankalium an und wurde noch ergänzt durch die Behandlung UV-bestrahlt gewesener Kartone und Filtrierpapiere mit sehr verdünnten Lösungen von Kaliumpermanganat, wobei die (Bu)-Folgen hell- bis sattbraun auf weißem Grunde erscheinen. Diese, sowie die „Turnbullsblau-Probe“ und eine, bei der die Mischung von Ferrichlorid-Ferrizyankalium im Verein mit einer 1%igen Tanninlösung benutzt wurde, konnte durch Waschen mit Leitungswasser fixiert werden.

Der Nachweis einer durch UV-Bestrahlung gebildeten, mit im Dunkeln gehaltener $\frac{1}{10}$ norm. Silbernitratlösung anschaulich zu machenden reduzierenden Substanz war auch bei UV-bestrahlten Kartoffelscheiben vorzüglich anwendbar (vgl. Abb. 5).