© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Zur Geschichte der botanischen Mikrochemie.

Von **Annemarie Ziegler**, Wien.

(Aus dem Pflanzenphysiologischen Institut der Universität Wien).

Sie ist ein Spezialkapitel der Botanik, die „Mikrochemie der Pflanze", wie MOLISCH diese Forschungsrichtung nannte. Ihr vornehmstes Ziel sieht sie im Nachweis der verschiedensten Stoffe im Gewebe und in der Zelle selbst und dies bei möglichst geringem Aufwand an Zeit und Material. Sie ist u. a. von Bedeutung auf dem Gebiet der systematischen Anatomie; darauf hat bereits SOLEREDER hingewiesen, da verschiedene Inhaltsstoffe systematische Gruppenmerkmale bilden können. Auch bei der Prüfung von Drogen hat sich die mikrochemische Arbeitsweise bewährt, ebenso bei der Untersuchung von Nahrungs- und Genußmitteln und auf dem Gebiet der Papier- und Faserprüfung. Aber auch dem Chemiker kann eine mikrochemische Vorprüfung der von ihm zu untersuchenden pflanzlichen Objekte oft zum Vorteil sein und kann ihn bei der Interpretierung der Ergebnisse seiner makrochemischen Analysen vor Trugschlüssen bewahren. Die Pflanzenmikrochemie kann also nicht nur dem Botaniker selbst sondern auch dem Pharmakognosten, dem Nahrungsmittelchemiker, dem Phyto- und Biochemiker und überhaupt allen, die sich mit der Untersuchung pflanzlicher Objekte beschäftigen, wertvolle Hilfe bieten.

Nun versteht man aber, wenn man von Mikrochemie schlechthin spricht, unter dem Begriff nicht mehr das, was man in der Botanik ursprünglich darunter verstanden hat und was auch wir heute noch darunter verstehen. Die Gründe dafür werden uns klar, wenn wir uns mit der Geschichte der Mikrochemie näher vertraut machen und ihren ersten Anfängen nachspüren. Es kann dies kein allzu ausführlicher Streifzug sein, und wir können nur die wichtigsten Namen erwähnen.

Die Lehre von den mikroskopischen Reagenzien war zunächst eine rein empirische Wissenschaft, denn man verdankte die meisten von ihnen dem Ausprobieren oder dem Zufall. Die ersten Mikrochemiker waren zweifellos Botaniker; die Anfänge der Mikrochemie setzten mit dem Beginn der anatomischen Forschung ein und sie entwickelte sich dann Hand in Hand mit der Anatomie und der Histologie weiter.

Die allerersten klaren Anwendungen der mikroskopischen Gewebechemie gehen unzweifelhaft auf RASPAIL (1794—1878) zurück. RASPAIL war u. a. Botaniker und Chemiker und wird heute als der Begründer der Histochemie angesehen. Er verwendete bereits 1825 die Jodreaktion zum Nachweis der Stärke in Gramineen. 1829 wandte er die Xanthoproteinreaktion zum Nachweis von Eiweißstoffen an, die auf der Gelbfärbung der Eiweißstoffe unter der Einwirkung konzentrierter Salpetersäure beruht. Ebenso geht die Methode der Mikroveraschung in der Histochemie auf RASPAIL zurück.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Auch andere Botaniker, die Zeitgenossen RASPAILs waren, wandten mikrochemische Reaktionen bei ihren anatomischen Untersuchungen an. So erschien von HUGO v. MOHL 1831 eine Abhandlung über die Jodreaktion; von SCHULTZE (aus dem Jahr 1850) stammt die bekannte Chlorzinkjodprobe zum Nachweis von Zellulose. Der erste Botaniker aber, der die hervorragende Bedeutung einer methodischen Anwendung mikrochemischer Reagenzien bei anatomischen Untersuchungen betonte, war Theodor HARTIG. Ihm gelang es, mit ihrer Hilfe viele anatomische Verhältnisse zu klären, die seinen Zeitgenossen entgangen waren. Seiner 1858 erschienenen „Entwicklungsgeschichte des Pflanzenkeims" fügt er am Schluß ein Verzeichnis der von ihm verwendeten Reagenzien an. Die Zahl der Botaniker, die weiterhin zum Ausbau der mikrochemischen Analyse beitrugen, ist groß; es können daher nur die wichtigsten Namen Erwähnung finden. An erster Stelle wäre hier NÄGELI zu nenen, dessen klassische Untersuchungen über die Einwirkung der Jodreagenzien auf Stärke, Zellulose u. s. w. (1862, 1863) mustergültige Arbeiten auf dem Gebiete der mikroskopischen Analyse darstellen. Auch SACHS, HANSTEIN und STRASBURGER verdanken wir eine Reihe von Mikroreaktionen. Schließlich dürfen wir nicht auf Julius v. WIESNER vergessen, auf den die beiden wohl bekanntesten Holzreaktionen, die Anilinsulfatreaktion und die Phloroglucin-Salzsäurereaktion, zurückgehen.

Es wurde in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zunächst sehr viel mikrochemisch gearbeitet und der Wert dieser Arbeitsrichtung immer mehr anerkannt, aber es fehlte eine zusammenfassende Darstellung aller bekannten Reagenzien bis zum Jahre 1880. Damals erschien POULSENS „Botanische Mikroskopie" zunächst in dänischer, ein Jahr darauf auch in deutscher Sprache. Sie war dazu bestimmt, Studierende bei pflanzenhistologischen Untersuchungen anzuleiten und mit den wichtigsten mikrochemischen Reagenzien bekannt zu machen. 1883 erschien von Wilhelm BEHRENS in Göttingen das „Hilfsbuch zur Ausführung mikroskopischer Untersuchungen im botanischen Laboratorium", das alles bis dahin Bekannte auf dem Gebiet der botanischen Mikrochemie zusammenfassend darstellt. Das ausführlichste Werk des vorigen Jahrhunderts ist aber die 1892 in Tübingen erschienene „Botanische Mikrotechnik" von ZIMMERMANN.

Waren es zunächst vornehmlich Botaniker, die sich bei ihren anatomischen und histologischen Untersuchungen mikrochemischer Methoden bedienten, so beschäftigten sich später auch Mineralogen und Petrographen mit mikrochemischen Untersuchungen. Die Chemiker selbst aber standen dieser mikroskopischen Arbeitsweise zunächst sehr skeptisch gegenüber. Sie nahmen sie nicht recht ernst und hielten sie für eine Art botanischer Spielerei, der man nicht gut exakte Ergebnisse zutrauen könne. Aber wie das schon so ist, bald begannen auch die Chemiker mikroskopische Methoden bei ihren Analysen anzuwenden. In den 80er und 90iger Jahren des vorigen Jahrhunderts war es neben HAUSHOFER („Mikroskopische Reaktionen. Eine Anleitung zur Erkennung verschiedener Elemente unter dem Mikroskop, als Supplement der qualitativen Analyse" 1885) vor allem Heinrich BEHRENS, der systematische Untersuchungen auf dem Gebiet der mikrochemischen qualitativen Analyse begann. Von ihm stammt die Methode der Kristallfällung, mit deren Hilfe er zeigen konnte, daß sich selbst unter Ver-

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

wendung von Spuren und Tröpfchen noch sichere Nachweisreaktionen ausführen lassen. Seine „Anleitung zur mikrochemischen Analyse" erschien 1893; sie behandelt die anorganische Chemie. 1895 folgte die „Anleitung zur mikrochemischen Analyse der wichtigsten organischen Verbindungen". H. BEHRENS war auch der erste, der ein eigenes mikrochemisches Labor einrichten konnte (1897 in Delft).

Angeregt durch die Erfolge von BEHRENS begann in Graz der Chemiker Friedrich EMICH bekannte und bewährte Methoden der analytischen Chemie auf möglichst kleine Stoffmengen zu übertragen. Ungefähr in die gleiche Zeit fallen auch die ersten Arbeiten und Veröffentlichungen des Pflanzenphysiologen Hans MOLISCH über die Mikrochemie der Pflanze. Er führte 1883 den Nachweis von Nitraten und Nitriten mit Diphenylamin in die botanische Mikrochemie ein. 1886 entdeckte er eine neue, sehr empfindliche Zuckerreaktion mit α-Naphthol, die heute in der Chemie als MOLISCH-Reaktion allgemein bekannt ist. 1891 erschien seine „Histochemie der pflanzlichen Genußmittel". MOLISCH führte auch die Berlinerblaureaktion auf Eisen in die botanische Mikrochemie ein (1892: „Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen"). Im Jahre 1889 wurde MOLISCH an die Technische Hochschule nach Graz berufen, an der ja auch EMICH wirkte. Die beiden Männer waren befreundet, und diese Freundschaft wirkte sich nun wissenschaftlich nach beiden Seiten hin befruchtend aus. 1891 war MOLISCHS „Histochemie" erschienen. Es war ihm hier erstmalig gelungen, Coffein rein darzustellen und im Schnitt mikrochemisch nachzuweisen. Nun begann EMICH, durch MOLISCHS Erfolge mit mikrochemischen Methoden bestärkt, um die Jahrhundertwende auf breiter Basis mit dem Studium der chemischen Erscheinungen und Reaktionen bei Anwendung kleinster Stoffmengen. EMICH arbeitete aber nicht nur qualitativ sondern verwendete auch bei seinen quantitativen Forschungen mikrochemische Methoden und wurde so zum Begründer der quantitativen anorganischen Mikroanalyse. 1911 erschien sein „Lehrbuch der Mikrochemie".

Fritz PREGL, der Schöpfer der quantitativen organischen Mikroanalyse wirkte ebenfalls in Graz. Er war nicht von Haus aus Chemiker sondern war von der Medizin über die Physiologie zur Chemie gekommen. 1917 erschien sein Buch „Die quantitative organische Mikroanalyse". 1923 wurde PREGL durch die Verleihung des Nobel-Preises für Chemie die höchste wissenschaftliche Anerkennung zuteil. Nun aber zurück zur Botanik. Bereits 1891, bei der Herausgabe der „Histochemie", schwebte MOLISCH der Plan zu einer „Mikrochemie der Pflanze" vor. Aber erst nachdem er 1908 als Nachfolger WIESNERS nach Wien berufen worden war, konnte er an die Verwirklichung dieses Planes gehen. Und im Jahr 1913 erschien dann sein weltbekanntes Buch „Mikrochemie der Pflanze". MOLISCH hat dazu alle bis dahin bekannten mikrochemischen Reaktionen auf ihre Brauchbarkeit in der Botanik kritisch geprüft und dadurch die Pflanzenanatomie um eine wertvolle Arbeitsrichtung bereichert; vor allem war er es aber, der den entscheidenden Schritt von der Gewebs- zur Zellenchemie, also von der Histo- zur Cytochemie getan hat. Im gleichen Jahr wie MOLISCHS vom pflanzenanatomischen Standpunkt verfaßte „Mikrochemie" erschien TUNMANNS „Pflanzenmikrochemie", die mehr von pharmazeutisch-chemischen Gesichtspunkten aus

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

geschrieben war. TUNMANN definiert im Vorwort den Begriff Pflanzenmikrochemie dahingehend: „In der Pflanzenmikrochemie werden die Mikroreaktionen direkt an oder mit pflanzlichem Material durchgeführt. Es genügt dazu ein Stück von pflanzlichem Gewebe, wie es sonst für mikroskopische Untersuchungen verwendet wird." Seine Begriffsbestimmung macht deutlich, daß es sich nicht bei jeder chemischen Arbeit mit Pflanzenmaterial bei gleichzeitiger Anwendung mikrochemischer Methoden auch um Pflanzenmikrochemie handelt. Er spricht weiters von angewandter und reiner Pflanzenmikrochemie. Das Ziel dieser reinen Pflanzenmikrochemie ist es, die einzelnen Stoffe dort nachzuweisen, wo sie in der lebenden Zelle lokalisiert sind. Sie setzt sich also den lokalisierten Nachweis der Stoffe zum Ziel. Statt von reiner Pflanzenmikrochemie spricht man heute von Histochemie und Cytochemie, und diese meinen auch wir, wenn wir in der Botanik allgemein von Mikrochemie sprechen. MOLISCHs „Mikrochemie" hat noch zwei weitere Auflagen erlebt (1921 und 1923), auch die Pflanzenmikrochemie TUNMANNs kam, neubearbeitet und erweitert von ROSENTHALER, im Jahre 1931 in zweiter Auflage heraus. Im gleichen Jahr erschien das „Handbuch der Pflanzenanalyse von KLEIN, in dessen erstem, allgemeinen Band der Histochemie ein eigener Abschnitt gewidmet ist. 2 Jahre vorher war KLEINs „Praktikum der Histochemie" erschienen, das sich vorwiegend mit der botanischen Histochemie befaßt, das aber zu MOLISCHs Mikrochemie nichts wesentlich Neues brachte. Im neuesten „Handbuch der Pflanzenanalyse" von PAECH und TRACEY, dessen erster Band im Jahre 1956 erschien, gibt es im allgemeinen Einführungsband ebenfalls einen kleinen Abschnitt über cytochemische Methoden. Er ist von WHATLEY, Californien, verfaßt, der neben den althergebrachten histochemischen Methoden auf viele neuere Methoden, besonders aber auf die derzeit vor allem in Amerika in Mode stehenden Isolierungsmethoden der einzelnen Zellbestandteile, wie Kerne, Chloroplasten, Chondriosomen u. s. w. eingeht. Diese Arbeitsrichtung hat auch schon schöne Erfolge aufzuweisen, besonders auf dem Gebiet der Enzymchemie; es fällt uns aber doch schwer, sie, ebenso wie die direkt an der Zelle unter dem Mikroskop vorgenommenen Untersuchungen, als Cytochemie zu bezeichnen. Der Name des Altmeisters der Cytochemie Hans MOLISCH wird in diesem Aufsatz allerdings überhaupt nicht erwähnt. Ebenso unerwähnt bleibt MOLISCH in der jügst erschienenen „Botanical Histochemistry" von W. A. JENSEN, Berkeley (1962), sein Name scheint auch im Kapitel 3: Mikroskopische Histochemie nicht auf. Im Gegensatz dazu ist die ausgezeichnete „Histochimie et Cytochimie animales" von LISON ganz im Sinne MOLISCHs geschrieben. Das Werk hat im Jahre 1960 bereits seine dritte Auflage erlebt. Es befaßt sich zwar naturgemäß mit der Histochemie und Cytochemie der tierischen Zelle, gibt aber auch dem Botaniker wertvolle Anregungen; ebenso die 1962 in 2. Auflage erschienene „Histochemistry" für Histologen von PEARSE. Der Autor weist in seiner Einleitung darauf hin, daß es eigentlich die Botaniker waren, die die Mikrochemie als Wissenschaft erstehen ließen und sie auch weiter ausgebaut haben. Er verweist dabei auf die grundlegenden Arbeiten von MOLISCH. — LISON spricht von 2 großen Methodengruppen in der Histochemie. Die eine Gruppe bilden die „méthodes extra situm" oder „méthodes extraktives". Bei diesen Methoden werden die

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

zur Untersuchung gelangenden zelligen Elemente für die Analyse aus ihrem Zusammenhang gebracht. Die mikroskopische Untersuchung, wenn sie überhaupt angewandt wird, dient dabei nicht direkt der Analyse sondern nur der Identitätskontrolle der zur Untersuchung gelangenden Zellen und Gewebe. Die Analyse wird dabei mit überaus empfindlichen Mikromethoden durchgeführt, weil ja die Menge des zur Verfügung stehenden Materials meist sehr klein ist. In der zweiten Gruppe von Arbeitsmethoden, den „méthodes histochimiques in situ", wird die Analyse am intakten Gewebe unter dem Mikroskop durchgeführt, und die Reagenzien sind so gewählt, daß die Struktur des untersuchten Objektes möglichst unversehrt bleibt. Diese Methoden entsprechen unserer Definition der klassischen Mikrochemie von MOLISCH. LISON führt in seiner letzten Auflage dafür den Terminus „Topochemie" ein, der von VOSS (1952) geprägt wurde. VOSS selbst unterscheidet Histochemie und Topochemie. Die Histochemie erforscht nach ihm die Zusammenhänge der Zellen und Gewebe ohne Erhaltung der Struktur und ohne Berücksichtigung der differenten Komponenten, während sich die Topochemie die Erforschung der Zusammensetzung von Geweben und Zellen bei gleichzeitiger Erhaltung der Struktur und mit Berücksichtigung der differenten Komponenten zum Ziel setzt.

Wenn wir nun die Entwicklung der Mikrochemie vom Beginn des vorigen Jahrhunderts an überblicken, können wir folgende Perioden festhalten:

1800—1829: In dieser Zeit wurden ganz vereinzelt chemische Untersuchungen zur Klärung der morphologischen Struktur von Gewebeschnitten verwendet. Mikrochemie als eigene Wissenschaft war unbekannt.

1830—1855: Die Mikrochemie beginnt eine eigene Wissenschaft zu werden. In ihren Anfängen war sie vor allem eine botanische Wissenschaft und die Mikrochemie im wahren Sinne lag dann auch für einige Jahrzehnte in den Händen der Botaniker.

1856—1892: Auch die anderen Disziplinen der Naturwissenschaften bedienen sich bei ihren Untersuchungen der mikrochemischen Arbeitsweise. In diesem Zeitabschnitt erschienen die ersten botanisch-mikrochemischen Lehrbücher.

1893—1935: Angregt durch die Botaniker begannen auch die Chemiker ihre Untersuchungsmethoden auf kleinste Stoffmengen anzuwenden. In dieser Periode entstanden die Standardwerke der Mikrochemie auf botanischem und chemischem Gebiet. PREGL erhielt 1923 den Nobel-Preis für seine quantitative organische Mikroanalyse.

1935—Gegenwart: Die Histo- und Cytochemie entwickelte sich vor allem auf zoologischem und histologischem Gebiet weiter. Es kamen neue Arbeitsmethoden hinzu (Autoradiographie, Interferenzmikroskopie, Isolierungsmethoden u. s. w.) und der Begriffsumfang wurde wesentlich erweitert. Besonders seit dem letzten Jahrzehnt nahm sie einen schwunghaften Aufstieg, was sich unter anderem im Erscheinen zahlreicher histochemischer Zeitschriften ausdrückt. Auch der erste Kongreß für Histo- und Cytochemie fällt in diese Zeit.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Dieser kurze Streifzug zeigt uns, wie sich die gesamte Mikrochemie als Wissenschaft eigentlich aus der Botanik heraus entwickelt hat. Er zeigt, was wir in der Botanik unter den Begriffen Histo- und Cytochemie im Sinne MOLISCHs verstehen und wie die Begriffe, vor allem in den letzten Jahren, an Umfang zugenommen haben. Das macht auch verständlich, warum wir, um ihren Umfang einzuengen, auch heute in der Botanik noch von der Mikrochemie sprechen.

* * *

Diese Botanische Mikrochemie, oder wie LISON vorschlägt, Topochemie, setzt es sich nun zur Aufgabe, kleine und kleinste Stoffmengen in den Orga-

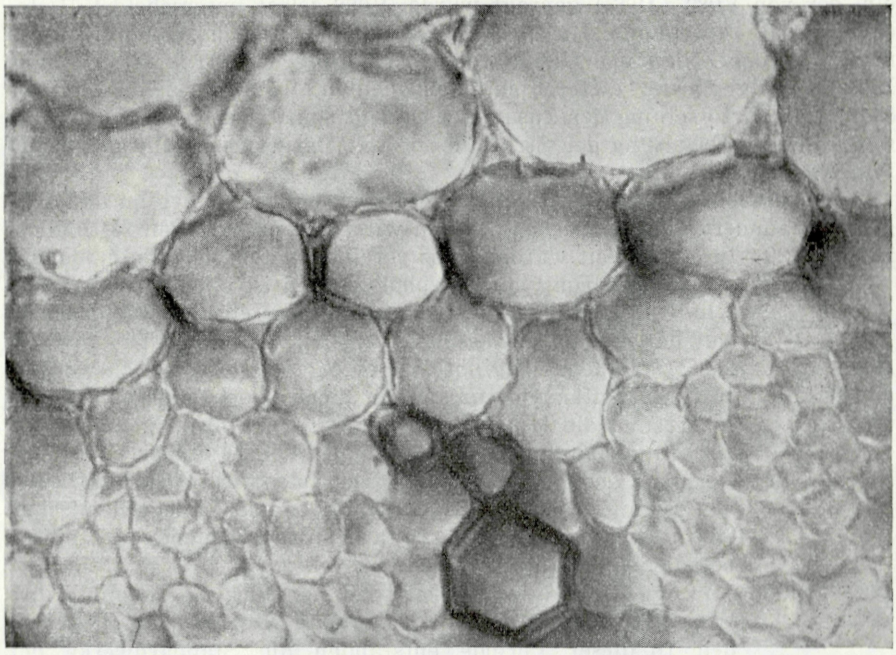

Abb. 1: *Clivia nobilis*, Ausschnitt aus einem Wurzelquerschnitt. Caspary'sche Punkte der primären Endodermis und Holzteile des Gefäßbündels erscheinen nach Behandlung mit Phloroglucin-HCl kirschrot.

nen, Geweben und Zellen nachzuweisen und womöglich auch gleichzeitig ihre Lokalisation zu ermitteln. In der klassischen Mikrochemie gibt es 2 Gruppen von Reaktionen — die Farbreaktionen und die Kristallreaktionen. Nach KISSER kennen wir drei Arten der Lokalisation. Ein Nachweis kann gewebslokalisiert sein, er kann zellokalisiert sein oder er kann absolut lokalisiert sein. Der idealste ist wohl der absolut lokalisierte Nachweis, der uns Auskunft über den Sitz eines bestimmten Stoffes in der Zelle selbst gibt. Er ist meist nur an festen Stoffen möglich, an denen das Reagens absorbiert wird und durch Färbung den Stoff anzeigt, wie das ja bei der Jod-

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Stärkereaktion oder bei der Holz- und Korkfärbung der Fall ist. Wie streng dabei die Lokalisation sein kann, sollen einige Photos zeigen. Auf der ersten Abbildung ist ein Ausschnitt aus der Wurzel von *Clivia nobilis* zu sehen. Es handelt sich hier um eine primäre Endodermis, die nur im Bereich der Casparyschen Punkte chemische Veränderungen in der Membran aufweist. Bei Anwendung der Holzreaktion mit Phloroglucin-HCl färben sich die Wände nur an diesen Stellen kirschrot an (Abb. 1). Die zweite Abbildung zeigt einen Querschnitt durch den Stengel von *Houttuynia cordata.* Im Schnitt ist ein Ölidioblast zu sehen, dessen Zellwand verkorkt ist und sich mit Sudan III rot färbt (Abb. 2). Auch die Berlinerblaureaktion auf Eisen

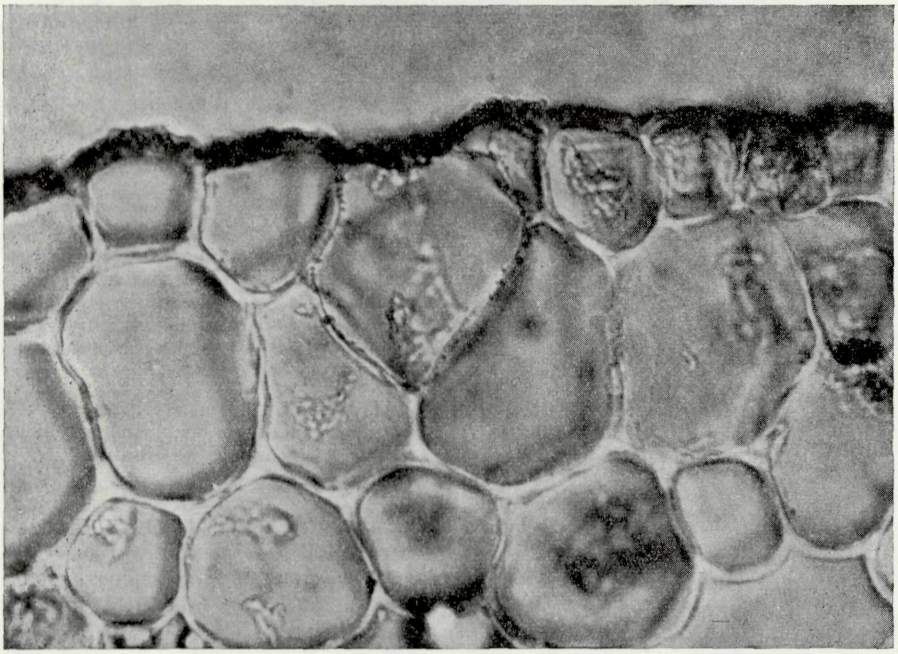

Abb. 2: *Houttuynia cordata.* Stengelquerschnitt mit Sudan III gefärbt. Die Rotfärbung der Idioblastenmembran und die ihr ansitzenden Tröpfchen sind deutlich zu erkennen.

gehört zu den absolut lokalisierten Nachweisen. Das Photo zeigt die Desmidiacee *Xanthidium armatum* kurz nach der Teilung. Die Desmidiaceen zeigen häufig in ihren Zellwänden lokale Eiseneinlagerungen (HÖFLER 1926) die hier mit Hilfe der Berlinerblaureaktion sichtbar gemacht wurden. Die ältere Schalenhälfte hat reichlich Eisen in den Spitzen eingelagert, während die jüngere Schalenhälfte noch fast keine Eiseneinlagerungen zeigt (Abb. 3). Daß auch die Kristallreaktionen zumindest zellokalisiert sein können, soll das nächste Bild veranschaulichen. Es handelt sich um einen Idioblasten aus dem Stengel von *Scrophularia nodosa,* in dem nach Behandlung mit 96% Alkohol Ca-Phosphatkristalle auftreten (Abb. 4). Wenn aber die Stoffe

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

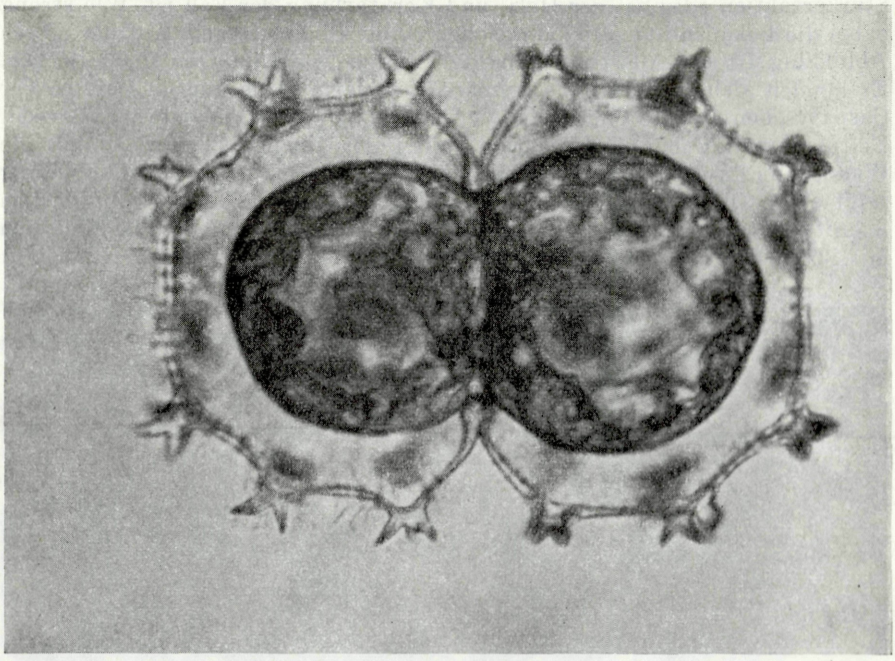

Abb. 3: *Xanthidium armatum*. Die rechte (ältere) Membranhälfte zeigt in den Stachelspitzen Fe-Einlagerungen, die sich mit gelbem Blutlaugensalz und HCl blau anfärben (Berlinerblaureaktion auf Eisen). In der linken (jüngeren) Membranhälfte gibt es noch keine deutliche Reaktion.

während der Einwirkung von Reagenzien aus den Zellen herausdiffundieren und dann im ganzen Bereich des Diffusionsfeldes in Erscheinung treten, wie das z. B. beim Nitratnachweis mit Diphenylamin oder beim Zuckernachweis mit α-Naphthol der Fall ist, kann man bestenfalls gewebslokalisierte Nachweise erzielen. MOLISCH sprach in diesen Fällen von diffusen Nachweisen im Gegensatz zu den lokalisierten.

Heute können zellokalisierte Nachweise noch mit viel größerer Präzision geführt werden, da uns ja das Elektronenmikroskop das Studium der Morphologie von Lebewesen in wesentlich kleineren Dimensionen ermöglicht, als es mit Hilfe des Lichtmikroskopes der Fall war. Es gibt bereits Versuchsansätze, die chemische Analyse auch in dieses Arbeitsgebiet einzuführen. So zeigt sich, daß die Ribonukleinsäure nicht im Grundplasma gleichmäßig verteilt ist, sondern allein oder ganz vornehmlich an die Ribosomen gebunden erscheint. Es sind dies kleine, dichte Körnchen im Grundplasma von ca. $^1/_{70}$ µ Durchmesser, die von PALADE (1954) mit Hilfe des Elektronenmikroskops entdeckt wurden und denen heute die Fähigkeit der Eiweißsynthese im Protoplasma zugesprochen wird. Für diesen neuen Zweig der Mikrochemie, der für die Zukunft noch vieles erwarten läßt, müßte allerdings der Name erst geschaffen werden.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

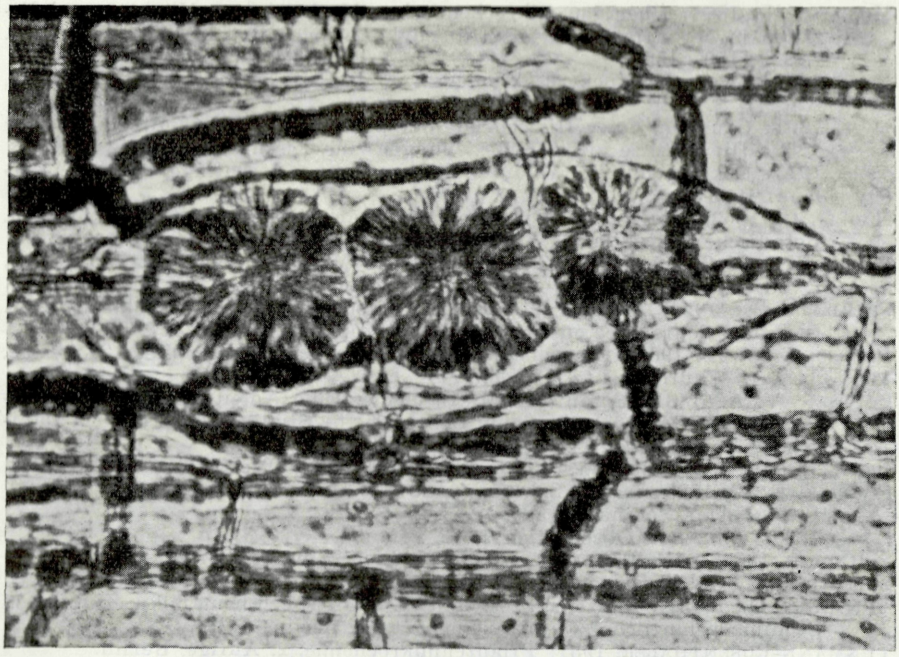

Abb. 4: *Scrophularia nodosa*. Idioblast im Stengel, behandelt mit 96%igem Äthylalkohol. Nur im Idioblasten fallen Kristalle aus.

Literaturverzeichnis.

BEHRENS, H., 1893: Anleitung zur mikrochemischen Analyse. Hamburg u. Leipzig.

— 1895/97: Anleitung zur mikrochemischen Analyse der wichtigsten organischen Verbindungen.

BEHRENS, W., 1883: Hilfsbuch zur Ausführung mikroskopischer Untersuchungen im botanischen Laboratorium. Braunschweig.

EMICH, F., 1911: Lehrbuch der Mikrochemie. Wiesbaden.

HARTIG, Th., 1858: Entwicklungsgeschichte des Pflanzenkeims, dessen Stoffbildung und Stoffwandlung während der Vorgänge des Reifens und des Keimens. Förstersche Buchhandlung, Leipzig.

HAUSHOFER, K., 1885: Mikroskopische Reaktionen. Braunschweig.

HÖFLER, K., 1926: Über Eisengehalt und lokale Eisenspeicherung in der Zellwand der Desmidiaceen. S. B. Wien. Akad. Wiss. math.-nat. Kl. *135*, 103—166.

JENSEN, W. A., 1962: Botanical Histochemistry. Principles and Practice. Freemann and Comp., San Francisco and London.

KISSER, J., 1929: Die Bedeutung der Methoden der botanischen Mikrotechnik für die pflanzliche Mikrochemie und Histochemie. Mikrochemie — Festschrift f. Pregl.

KLEIN, G., 1929: Praktikum der Histochemie. Springer, Wien—Berlin.

— 1931: Histochemische Methoden. In G. KLEIN: Handbuch der Pflanzenanalyse I. Bd. 303—324.

LISON, L., 1960: Histochimie et Cytochimie animales. Principes et méthodes. 3. Auflge, Gauthier-Villars, Paris.

MOHL, H. v., 1831: Einige Bemerkungen über die Poren des Pflanzenzellgewebes. Flora *15*, 417—448.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

MOLISCH, H., 1883: Über den mikrochemischen Nachweis von Nitraten und Nitriten in der Pflanze mittels Diphenylamin oder Brucin. Ber. dtsch. bot. Ges. *1*, 150—155.
— 1886: Zwei neue Zuckerreaktionen. S. b. d. Kais. Akad. d. Wiss. Wien, *43*, Abt. II, S. 912.
— 1891: Grundriß einer Histochemie der pflanzlichen Genußmittel. Jena.
— 1892: Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen. Jena.
— 1913: Mikrochemie der Pflanze. Fischer, Jena. (2. Auflage: 1921, 3. Auflage: 1923)
NÄGELI, C., 1863: Die Reaktion von Jod auf Stärkekörner und Zellmembranen. Botanische Mitteilungen, I. Bd. F. Straub, München.
PAECH, K. und TRACEY, M. V., 1956: Moderne Methoden der Pflanzenanalyse, I. Bd. Springer, Berlin—Göttingen—Heidelberg.
PALADE, G. E., 1954: A small particulate component of the cytoplasm. Proc. Internat. Conference on Electron Microskopy. London, S. 417.
PEARSE, A. G. E., 1960: Histochemistry — Theoretical and Applied. 2. Auflge. J. u. A. Churchill Ltd. London.
POULSEN, V. A., 1881: Botanische Mikrochemie. Eine Anleitung zu phytohistologischen Untersuchungen, zum Gebrauch für Studierende. Aus dem Dänischen übersetzt von C. MÜLLER, Th. Fischer, Cassel.
PREGL, F., 1917: Die quantitative organische Mikroanalyse.
RASPAIL, F. V., 1825 a: Ann. Sci. nat. *6*, 224.
— 1825 b: Ann. Sci. nat. *6*, 384.
— 1829: Ann. Sci. Observation *1*, 72.
SCHULTZE, 1850: nach RADLKOFER, L., 1855, Lieb. Ann. *44*, 332.
SOLEREDER, H., 1899: Systematische Anatomie der Dicotyledonen. Stuttgart.
TUNMANN, O., 1913: Pflanzenmikrochemie. Ein Hilfsbuch beim mikrochemischen Studium pflanzlicher Objekte. Borntträger, Berlin.
TUNMANN-ROSENTHALER, 1931: Pflanzenmikrochemie. 2. Auflge, Berlin.
VOSS, H., 1952: Histochemie oder Topochemie? Mikroskopie (Wien) *7*, 413—415.
ZIMMERMANN, A., 1892: Die botanische Mikrotechnik. Ein Handbuch der mikroskopischen Präparations-, Reaktions- und Funktionsmethoden. Verlag der H. Lauppschen Buchhandlung, Tübingen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien. Frueher: Verh.des Zoologisch-Botanischen Vereins in Wien. seit 2014 "Acta ZooBot Austria"

Jahr/Year: 1964

Band/Volume: 103-104

Autor(en)/Author(s): Ziegler Annemarie

Artikel/Article: Zur Geschichte der botanischen Mikrochemie 203-212