

Elektronenmikroskopische Untersuchung der Milchröhren von *Ficus elastica*

GEORG HEINRICH

Institut für Allgemeine Botanik der Universität Hamburg, BRD

Mit 8 Abbildungen

Eingegangen am 11. April 1970

Summary

Electron Microscope Observations in the Latex Vessels of *Ficus elastica*

In contrast to the view hold in literature that rubber particles originate in plastids, in *Ficus elastica* rubber particles are synthetized in the cytoplasm of the latex vessels. The globules are surrounded by a more or less distinct envelope. In the latex vessels only a few plastids occur, they produce starch. Dictyosomes are to be found but in a small distance from the tip of the vessel. The mitotic activity of the nuclei in latex vessels seems to be confined to apical zones as well. In latex vessels filaments occur similar to those in sieve elements.

Zusammenfassung

Die Kautschukkügelchen von *Ficus elastica* entstehen entgegen den Literaturangaben im Zytoplasma und nicht in den Plastiden der Milchröhren. Sie sind von einer mehr oder weniger ausgeprägten Hülle umgeben. Es kommen nur wenige Plastiden in den Milchröhren vor, diese erzeugen Stärke. Nur in geringer Entfernung von der Milchröhrenspitze findet man Dictyosomen. In älteren Milchröhren befinden sich Filamente, die ähnlich aussehen wie die Plasmafilamente der Siebröhren.

1. Einleitung

E-mikroskopische Untersuchungen zeigen zwei Möglichkeiten der Kautschuklokalisation in polyterpenerzeugenden Pflanzen auf. Bei den meisten bisher untersuchten Pflanzen wird der Kautschuk im Zytoplasma abgelagert, z. B. in *Taraxacum* (SCHULZE, SCHNEFF und MOTHES 1967, HEINRICH 1967), bei *Hevea* (ANDREWS und DICKENSON 1961) und in *Papaver* (SCHULZE *et al.* 1967).

In den Milchröhren der *Euphorbia*-Arten treten die Kautschukkügelchen, die von einer Membran umgeben sind, zuerst ebenfalls im Zytoplasma auf. Später gelangen aber die kleinen Kautschukvakuolen in größere Vakuolen und in

die Zentralvakuole. Jedes Kautschukteilchen besitzt dann noch seine individuelle Hülle, stellt also eine kleine Vakuole in einer größeren dar (SCHNEPF 1964, MORITZ 1967, SCHULZE *et al.* 1967). Eine Kautschukentstehung in den Plastiden der Milchröhren konnte bisher nicht festgestellt werden. Ich untersuchte *Ficus elastica*, weil VRATAR (1949) für diese und andere *Ficus*-Arten plastidäre Kautschukentwicklung beschreibt und weil auch sonst zahlreiche Literaturangaben über Kautschukentstehung in Plastiden vorliegen (vgl. ULMAN 1951, MILANEZ 1949, 1954, PROKOVJEV 1946).

2. Material und Methode

Samen von *Ficus elastica* Roxb. der Fa. Schenkel (Hamburg) keimten in größeren Petrischalen auf über Erde liegendem feuchtem Filtrierpapier (Jacobsen-Keimapparat, 8 Stunden dunkel, 20° C; 16 Stunden hell, 30° C). 3–4 Wochen alte, 5–20 mm lange Keimpflanzen wurden in gepuffertem 1% OsO₄ fixiert und in Vestopal eingebettet.

3. Ergebnisse und Diskussion

In der Keimlingswurzel liegen in der Nähe der Milchröhren-(MR-)Enden meist mehrere aktive Dictyosomen (Abb. 1), in den älteren Teilen der MR fehlen sie. Die Zellwände der MR sind in Keimpflanzen etwa 2–4 nm dick, während sie im unteren Teil eines 10 mm dicken Stammes einer dreijährigen Pflanze etwa 10–20 nm messen. Es unterbleibt hier im Gegensatz zu vielen *Euphorbia*-Arten die Ausbildung mächtiger sekundärer Zellwandlamellen. Die Teilung der MR-Zellkerne konnte nur in nicht allzu weiter Entfernung vom MR-Ende beobachtet werden. Ausführliche karyologische Untersuchungen liegen bisher nur für die MR von *Nerium oleander* (MAHLBERG 1959) vor. Auch in *Nerium* ist die mitotische Aktivität auf die Spitzen der MR beschränkt, die in meristematischen Zonen der Pflanze liegen.

Bei *Ficus* geht die Differenzierung entlang der MR rasch vor sich. In kurzer Entfernung von der MR-Spitze entstehen zahlreiche Vakuolen etwa in der Größe eines Mitochondriums (Abb. 2). Es kommt aber nie zu der engen polydispersen Vakuolanordnung wie in den MR-Initialen von *Taraxacum bicorne* (HEINRICH 1967). Im Löwenzahn grenzen die Tonoplasten benach-

Abb. 1. Schräger Längsschnitt durch eine Milchröhre (MR) nahe deren Spitze. Nur in dieser Zone liegen Dictyosomen, in älteren MR-Teilen sind sie abgebaut. 54 000×

Abb. 2. Zwei längsgeschnittene MR. Die Organellen sind in der linken MR bereits weitgehend abgebaut, in der rechten liegen ein Zellkern und eine Plastide mit Thylakoiden. Um die Kügelchen aus dem jüngeren MR-Teil sind keine Hüllen zu bemerken, die aus der linken MR liegen in einer Vakuole. 5400×

Abb. 3. Schnitt durch eine ältere MR aus der Wurzel. Eine stärkehaltige Plastide und mehrere Kautschukkügelchen sind von Tonoplastenresten umgeben. 12 600×

Abb. 4. Querschnitt durch eine MR des Stengels. Die Plastiden enthalten weniger Stärke als die der Wurzel und mehr Thylakoide. 11 700×

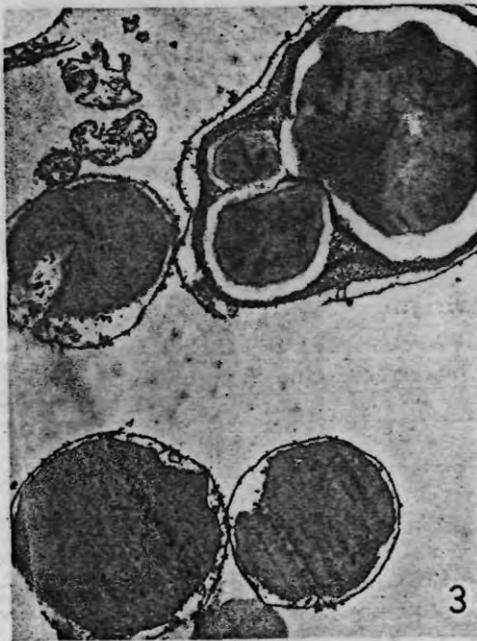
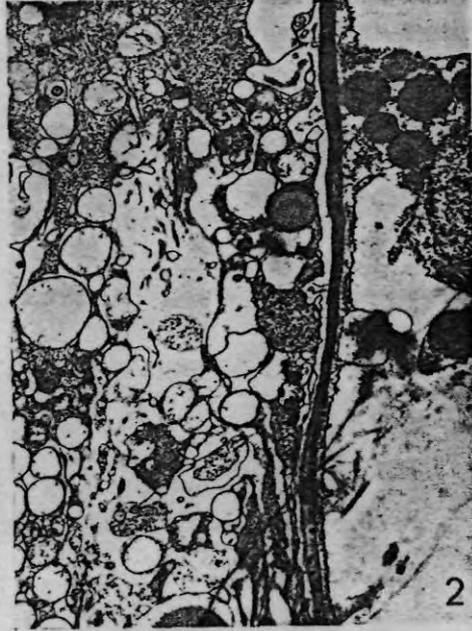


Abb. 1—4

barter Vakuolen, falls sie nicht von dazwischengelagerten Polyterpenkügelchen daran gehindert werden, aneinander. Es wäre zu prüfen, ob einige Vakuolen hier ebenso wie bei *Hevea brasiliensis* (PUJARNISCLE 1968) mit lysosomalen Enzymen ausgestattet sind, so daß sie als Kompartimente der intrazellulären Verdauung fungieren (vgl. MATILE 1969).

Es ist schwer festzustellen, ob die Kautschukkügelchen des Gummibaumes von einer Membran umgeben sind. In älteren MR findet man manchmal einen Plasmaschlauch, der Organellen und Kautschuk umschließt. Einzelne Kautschukkügelchen liegen in der Zentralvakuole, sie sind von einer Membran umschlossen. Zwischen dieser und den Terpenkügelchen liegen eventuell die Reste der Einzelhülle. Man erhält also ein ähnliches Bild wie bei *Euphorbia* (SCHNEPF 1964). Bei den Euphorbiaceen erfolgt aber das Auswandern der Einzelvakuolen, in die der Kautschuk eingeschlossen ist, sehr frühzeitig und bei gutem Allgemeinzustand der MR. Bei *Ficus* ist das als eine Alterserscheinung aufzufassen, was neben dem Kautschuk liegende, von Tonoplastenresten umschlossene Organellen andeuten (Abb. 3).

In den MR der Wurzel treten Plastiden auf, die häufig einige in ein lockeres Stroma eingelagerte Thylakoide und mehrere große Stärkekörner besitzen (Abb. 3). Plastiden aus den MR des Stengels zeigen eine dichte Grundsubstanz und mehr Thylakoide. Die Stärkekörner sind weniger zahlreich und kleiner als in den Plastiden der Wurzel (Abb. 4).

In jungen MR-Anschnitten sind neben homogenen dichten Kügelchen nicht-homogene mit flockigem Inhalt anzutreffen (Abb. 5). Man könnte sich vorstellen, daß die seitliche Vernetzung der Polyterpenketten unterschiedlich stark stattgefunden hat. Für *Taraxacum* ist außerdem bekannt, daß der Polymerisationsgrad des Kautschuks von 900 auf ca. 3600 ansteigt und entsprechend dazu das Molekulargewicht von 60 000 auf etwa 250 000 zunimmt. Ähnliches ist für *Ficus elastica* zu erwarten. Eventuell sind die nichthomogenen Kautschuktröpfchen aus jungen MR durch niedere Polymerisationsgrade charakterisiert. Im Phasenkontrast erscheinen neben strahlend gelben Kautschukpartikeln auch weniger leuchtende braun-grünliche Teilchen. Erstere könnten die im EM dicht gepackt erscheinenden sein.

Abb. 5. Querschnitt durch eine junge MR. Neben homogenen dichten Kautschukkügelchen liegen solche mit flockigem Inhalt. 4400×

Abb. 6. Liegen zahlreiche Kautschukkügelchen nebeneinander, so werden manche stark verformt. 13 500×

Abb. 7. Schräger Querschnitt durch eine MR. Die Kautschukkügelchen liegen in einer „protoplasmatischen Mischphase“. Es ist anzunehmen, daß der Austritt der Kügelchen in die Vakuole zusammen mit anderem protoplasmatischem Material nicht unmittelbar an der angeschnittenen Stelle erfolgt ist. 6800×

Abb. 8. Ausschnitt aus Abb. 7. Zwei Kautschukkügelchen sind von fibrillärem Material umgeben. Ob die Membran um das eine Kügelchen die Individualhülle darstellt oder erst sekundär gebildet wurde, ist nicht zu beantworten. 17 100×

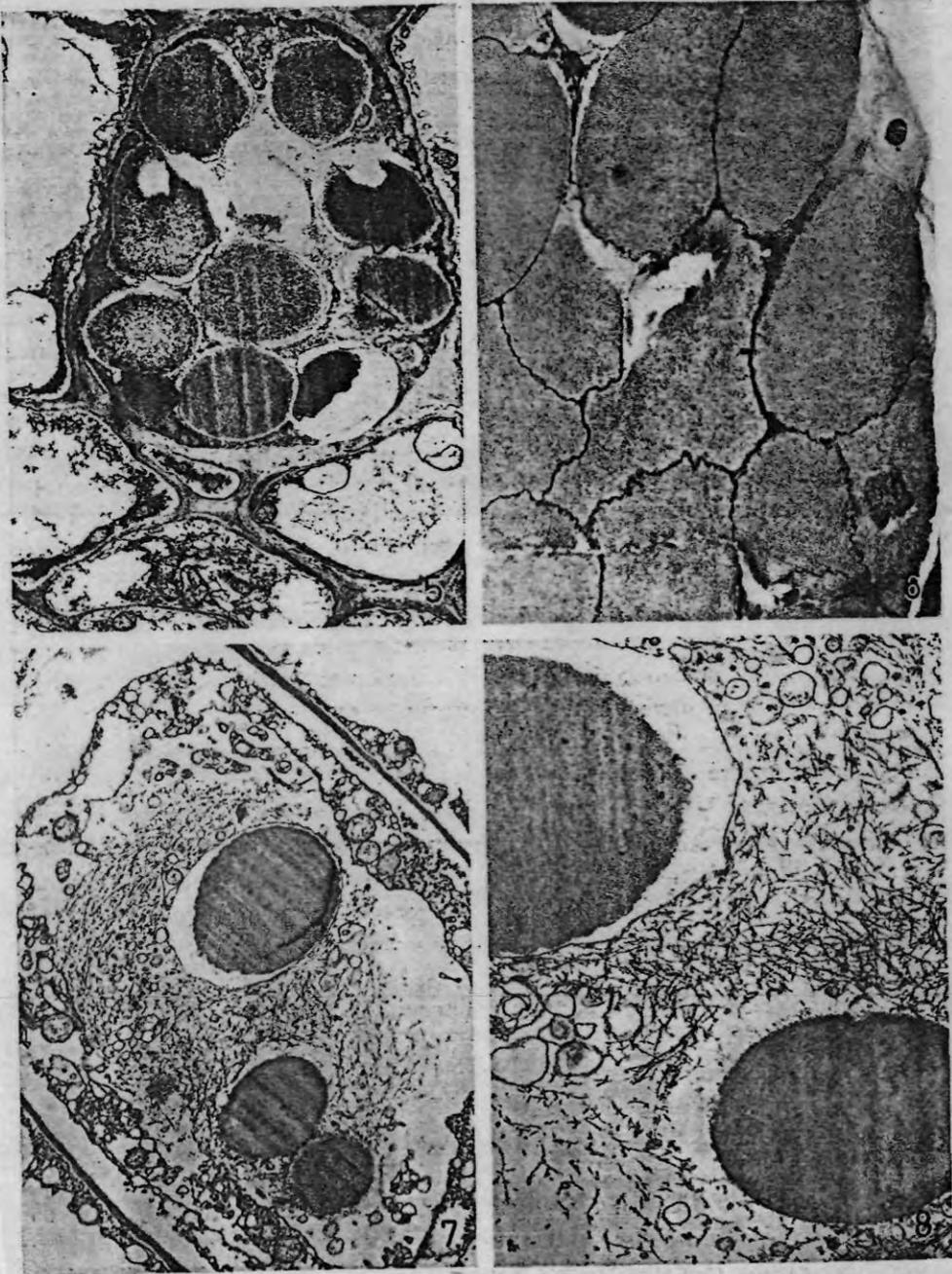


Abb. 5—8

Liegen in einer MR sehr viele Kautschukteilchen nebeneinander, so werden manche stark verformt, so daß neben kugeligen auch langgestreckte Gebilde vorkommen (Abb. 6). Das war wohl der Grund für die Annahme, daß die Terpenkügelchen in den manchmal ebenfalls langgestreckten Plastiden der MR entstehen. Die Teilchen behalten ihre Form bei, auch wenn sie nicht mehr so dicht gepackt liegen; leicht polygonale Umrisse sind für viele Kautschukteilchen charakteristisch. Haben sie genügend Platz zu ihrer Entwicklung, so nehmen sie annähernd kreisförmige oder elliptische Umrisse an.

In älteren MR-Teilen bleiben nach weitgehender Desorganisation des Zellinhaltes „Filamente“ zurück (Abb. 7, 8). Es ist unsicher, ob sie mit den Plasmafilamenten der Siebröhren identisch sind (KOLLMANN 1960, BEHNKE und DÖRR 1967). Es ist zu vermuten, daß sie im Zytoplasma entstanden sind, dafür sprechen die mit ihnen zusammen in der Vakuole liegenden Kautschukkügelchen. Das Aufreißen des Tonoplasten in Abb. 7 dürfte eine Folge der Präparation sein, so daß ihr Einwandern in die Vakuole wahrscheinlich an einer anderen Stelle der MR erfolgt ist.

Eine Entstehung der Polyterpenkügelchen in Plastiden konnte niemals beobachtet werden. VRATAR (1949) hat eventuell die Vakuolenmembran oder wahrscheinlicher jene Membran, bei der es sich um Tonoplastenreste handeln dürfte, für eine Plastidenmembran gehalten. Es ist anzunehmen, daß auch die übrigen Pflanzen, bei denen man bisher plastidäre Entstehung der Kautschukkügelchen beschrieb, Kautschuk im Zytoplasma synthetisieren. Wären die Polyterpene in *Ficus* plastidären Ursprungs, so würden wesentlich weniger Polyterpenkügelchen erzeugt, weil viel weniger Plastiden als Kautschukkügelchen anzutreffen sind.

Der ausströmende Milchsaft von *Ficus* ist ein Gemisch von Zellsaft mit zahlreichen Polyterpenkügelchen, mit geringem Zytoplasmaanteil und Organellen. Neben Zellkernen sind Plastiden und Mitochondrien anzutreffen. Je älter der angeschnittene MR-Teil ist, desto weitgehender sind die Organellen abgebaut. Der Milchsaft eines dreijährigen Stammstückes, das mit zwei gleichzeitigen Schnitten entnommen wurde, um das Nachströmen des Milchsaftes aus den jungen Teilen der MR zu unterbinden, läßt noch einige Zellkerne erkennen. Eventuell werden in die alten MR-Teile immer wieder neue Zellkerne eingeschleust. Weiter licht- und e-optische Untersuchungen an *Ficus* müßten zahlreiche unbeantwortete Fragen klären. Es fehlen ausreichend Beobachtungen über die Entstehung der MR, über ihren Verlauf in der Keimpflanze und über ihre Lage nach Einsetzen des sekundären Dickenwachstums. Nach MILANEZ (1954) sollen die MR von *Ficus retusa* var. *nitida* ebenso entstehen wie die von *Euphorbia pulcherrima* (MILANEZ und MONTEIRO NETO 1956), nämlich durch die Fusion meristematischer Zellen. Erst diese Fusionszelle wächst dann in den jugendlichen Teilen als sog. „ungegliederte“ MR weiter. Karyologische Untersuchungen fehlen. Auch die Frage, ob MR in Dauergeweben wachsen können oder ausschließlich in embryonalen bzw. meristematischen Pflanzen-

teilen, ist zumindest für *Ficus* ungelöst. Interessant sind in diesem Zusammenhang Pfropfversuche an Euphorbiaceen (SCHAFFSTEIN 1932). Sie zeigen, daß die an der Wundstelle neugebildeten MR, sobald sie vom Reis auf das Dauer- gewebe der Unterlage stoßen, ihr Wachstum einstellen.

Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Literatur

- ANDREWS, E. H., and P. B. DICKENSON, 1961: Preliminary electron microscope observations on the ultra-structure of the latex vessel and its contents in young tissues of *Hevea brasiliensis*. Proc. Nat. Rubb. Res. Conf. Kuala Lumpur, 756—765.
- BEHNKE, H.-D., und I. DÖRR, 1967: Zur Herkunft und Struktur der Plasmafilamente in Assimilatleitbahnen. *Planta* (Berl.) 74, 18—44.
- HEINRICH, G., 1967: Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen der Milchröhren von *Taraxacum bicorne*. *Flora*, Abt. A, 158, 413—420.
- KOLLMANN, R., 1960: Untersuchungen über das Protoplasma der Siebröhren von *Passiflora coerulea*. II. Mitt. Elektronenoptische Untersuchungen. *Planta* (Berl.) 55, 67—107.
- MAHLBERG, P. G., 1959: Karyokinesis in the non-articulated Laticifers of *Nerium oleander* L. *Phytomorph.* 9, 110—118.
- MATILE, P., 1969: Enzymologie pflanzlicher Zellkompartimente. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 82, 397—405.
- MILANEZ, F. R., 1949: Segunda Nota sobre os laticíferos. *Lilloa* 16, 193—211.
- 1954: Sobre os laticíferos foliares de *Ficus retusa*. *Rodriguésia* 16—17, 159—180.
- e H. MONTEIRO NETO, 1956: Origem dos laticíferos do embrião de *Euphorbia pulcherrima*, Willd. *Rodriguésia* 18—19 (30—31), 351—395.
- MORITZ, O., 1967: Einführung in die Pharmazeutische Biologie. 4. Aufl., 1967. Stuttgart: G. Fischer.
- PROKOFJEV, A. A., 1946: *Botanicheskii Zhurnal SSSR* (J. Bot. USSR) 31, (2) 5—9. Zit. nach *Biol. Abstr.* 21, 7, 18261 (1947).
- PUJARNISCLE, S., 1968: Caractère lysosomal des laticides du latex d'*Hevea brasiliensis* (Müll.-Arg.). *Physiol. Vég.* 6, 27—46.
- SCHAFFSTEIN, G., 1932: Untersuchungen an ungliederten Milchröhren. *Beih. Bot. Centralb.* 49, Abt. 1, 197—220.
- SCHNEPF, E., 1964: Zur Cytologie und Physiologie pflanzlicher Drüsen. 5. Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Cyathialnektarien von *Euphorbia pulcherrima* in verschiedenen Funktionszuständen. *Protoplasma* 58, 193—219.
- SCHULZE, CH., E. SCHNEPF und K. MOTHEs, 1967: Über die Lokalisation der Kautschukpartikel in verschiedenen Typen von Milchröhren. *Flora*, Abt. A, 158, 458—460.
- ULMANN, M., 1951: Wertvolle Kautschukpflanzen des gemäßigten Klimas. Berlin: Akad. Verlag.
- VRTAR, B., 1949: Morfologija i plastidogeni postanak kaučukovih zrnaca kod smokve (*Ficus carica*) i gumijevca (*Ficus elastica*). *Acta bot. Croat.* 12/13, 165—193.
- Anschrift des Verfassers: Dr. G. HEINRICH, Institut für Allgemeine Botanik der Universität Hamburg, Jungiusstraße 6, D-2 Hamburg 36.