

67. Artur Meyer: Das ergastische Organeiweiß und die vitulogenen Substanzen der Palisadenzellen von *Tropaeolum majus*.

(Mit 4 Abb. im Text.)

(Eingegangen am 16. November 1917.)

Es ist selbstverständlich, daß die Kenntnis der Morphologie der Zelle die erste Bedingung für das Verständnis der Organismen und der Lebenserscheinungen ist. Gemeint ist eine Morphologie, welche die Formelemente der Zelle und deren Lage in engster Beziehung zur Physiologie und Oekologie betrachtet. Ich habe mir die Aufgabe gestellt, die Morphologie der Zelle zu fördern. Ich habe dazu zuerst versucht, zweckmäßige, auf möglichst genauer Kenntnis des Baues der Zelle ruhende Kategorien der Formelemente der Zelle, gut umgrenzte Begriffe derselben und brauchbare Namen zu schaffen. Schon 1896 habe ich (A. M. 1896, S. 212) eine diese Prinzipien berücksichtigende Einteilung der morphologischen Bestandteile der Zelle aufgestellt. Ich stellte dort scharf gegenüber die „ergastischen Gebilde“ den „alloplasmatischen Organen“ und „protoplasmatischen Organen“. 1898 veröffentlichte ich ein morphologisches System (A. M. 1898, S. 18), welches 1915 von mir (1915, S. 20) nur wenig verändert wurde. Indem ich auf die 1915 gegebene Darstellung verweise, erwähne ich nur, daß ich in der Zelle hauptsächlich unterscheide:

- I. Den Protoplasten,
 - a) protoplasmatische Organe,
 - α. Zytoplasma,
 - β. Zellkern,
 - γ. Chromatophoren,
 - b) alloplasmatische Gebilde.
- II. Die ergastischen Gebilde,
 - α. Einschlüsse,
 - β. Ausscheidungen.

Dieses System ist ein Arbeitsprogramm, welches uns zur genauen Untersuchung der Formelemente der Zelle zwingt, wenn wir das Formelement in die Kategorien einzuordnen versuchen.

Zuerst z. B. ist die Frage zu entscheiden, ob ein Formelement zu den ergastischen Gebilden oder zum Protoplasten zu rechnen ist. Wir sind demnach gezwungen, die unterscheidenden Merkmale dieser Kategorien von Formelementen aufzusuchen. Dazu ist ein sehr genaues Studium der ergastischen Gebilde mit Hinblick auf die Eigenschaften der Organe der Zelle nötig, welches ich z. B. zuerst für die Stärkekörner (A. M. 1895), dann für die Allinante (A. M. 1916), dann für die Nukleolen (A. M. 1917) durchführte. Vorzüglich die Geschichte der Forschungen über die Allinante wird zeigen können, welche Schwierigkeiten schon der Entscheidung der Frage gegenüberstehen, ob ein Formelement der Zelle zu den ergastischen Gebilden oder zu den Bestandteilen der Protoplasten gehört.

Kehren wir zu meinem System zurück, so möchte ich weiter dazu bemerken, daß ich neuerdings (1917, S. 336 und 1916, S. 172) die Nukleolen und Allinante vom physiologischen Gesichtspunkte als Reservestoffante bezeichnet habe. Ich möchte jetzt vom physiologischen Gesichtspunkte die ergastischen Gebilde zuerst einteilen in ergastische Gebrauchsgebilde, ergastische Sekretgebilde und ergastische Stützgebilde, wie ich sie vom topographischen Gesichtspunkte schon unterschied als Einschlüsse und Ausscheidungen. Ergastische Gebrauchsgebilde sind alle diejenigen Gebilde, deren Substanz noch im Betriebsstoffwechsel der Zelle Verwendung findet, so z. B. immer die Stärkekörner; ergastische Sekretgebilde sind Gebilde wie z. B. Tropfen von aetherischem Öle, die im Plasma liegen. Selbstverständlich ändert an der Berechtigung dieser Einteilung die Tatsache nichts, daß in seltenen Fällen auch typische Sekretgebilde, wie z. B. die Oxalatkristalle in Gebrauch genommen werden können. Den Namen ergastische Reservestoffgebilde möchte ich für diejenigen ergastischen Gebrauchsgebilde reservieren, die in der Zelle für eine ganz bestimmte Leistung in Reserve gelegt werden.

Über die Organe des Protoplasten möchte ich hier weiter folgendes hinzufügen. Wie ich später zeigen werde, sind die Organe des Protoplasten durchaus optisch homogen. Alle in ihnen mittelst des Mikroskopes erkennbaren Formelemente sind ergastische Gebilde. Wir stehen also bei der weiteren Erforschung der Organe des Protoplasten an der Grenze der mikroskopischen Morphologie und gelangen in das Gebiet der amikroskopischen oder, wenn wir uns anders ausdrücken wollen, in das Gebiet der naturwissenschaftlich-metaphysischen Morphologie der Zelle, in welcher wir uns weiter mit Massenteilchen beschäftigen, die für unser Auge,

auch für das bestbewaffnete, nicht mehr sichtbar sind. Die Existenz, Größe und viele andere Eigenschaften dieser für uns nicht direkt sichtbaren Massenteilchen, wie die der Moleküle und Atome, können wir aber doch aus Eigenschaften der Substanzen ableiten, welche aus ihnen zusammengesetzt sind.

Ich werde ferner später zeigen, daß wir in den optisch homogenen Organen zwei ganz verschiedene Arten unsichtbarer Massenteilchen anzunehmen gezwungen sind, 1. Moleküle und 2. Vitüle. Ein großer Volumenteil der Organe besteht aus Substanzen, welche aus Molekülen aufgebaut sind, und ich will diese als ergastische Organstoffe (kurz ergastische Stoffe) von den aus Vitülen bestehenden Stoffen unterscheiden. Die ergastischen Organstoffe besitzen in der lebenden Zelle keine anderen Eigenschaften als die sind, welche sie uns im Reagensglase des Chemikers zeigen.

Ich will die ergastischen Organstoffe in zwei physiologische Kategorien einteilen, 1. in die der ergastischen Gebrauchsstoffe und 2. in die der ergastischen Sekretstoffe. Zu den ergastischen Organ-Gebrauchsstoffen gehören z. B. die Eiweißkörper, die in den Organen des Protoplasten in Wasser gelöst vorkommen: ich habe schon in einer früheren Mitteilung (1915, a) über sie berichtet. Wie die Moleküle der ergastischen Organstoffe sind auch die Vitüle im Wasser der Organe verteilt. Auf das Wesen dieser unsichtbaren Massenteilchen kann ich hier nicht weiter eingehen, weil ich dasselbe nur in größerem Zusammenhange richtig beleuchten kann. Das soll in meinem schon angezeigten Buche „Morphologische und physiologische Analyse der Zelle“ geschehen.

Ich muß nur hier noch sagen, daß die Vitüle nur in der lebenden Zelle existenzfähig sind und sich beim Absterben des Protoplasten in Moleküle umbilden, welche dann wahrscheinlich in der toten Zelle liegen bleiben und der chemischen Forschung zugänglich sind. Solche chemische Substanzen, welche aus Vitülen beim Absterben des Protoplasten hervorgehen, bezeichnen wir als „vitülogene Stoffe“.

Danach würden an meinem Systeme der Formbestandteile der Zellen folgende Vervollständigungen vorzunehmen sein:

I. Der Protoplast,

a) protoplastische Organe,

α. Zytoplasma,

β. Zellkern,

γ. Chromatophoren

sind optisch homogene Gemische von wässerigen Lösungen der

1. aus Molekülen bestehenden ergastischen Organstoffe,
 - α . ergastische Organgebrauchsstoffe,
 - β . ergastische Organsekretstoffe,
2. Vitüle.

II. Ergastische Gebilde

einzuteilen vom topographischen Standpunkte in

- α . Einschlüsse,
- β . Ausscheidungen,

einzuteilen vom physiologischen Standpunkt in

- α . ergastische Gebrauchsgebilde,
- β . ergastische Sekretgebilde,
- γ . ergastische Stützgebilde.

Ich denke, daß diese Auseinandersetzung zum Verständnis dessen genügen wird, was ich auf Grundlage einer von mir ange-

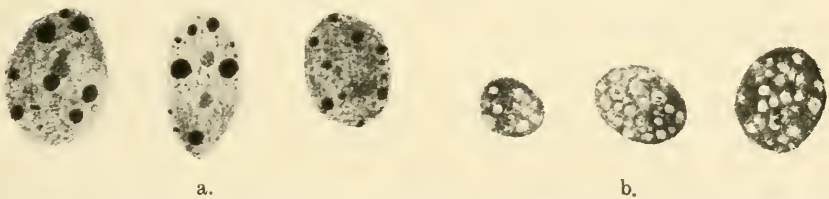


Abb. 1. a Kerne mit Nucleolen, b Chloroplasten mit Sekret aus den Palisadenzellen von *Tropaeolum majus*, mit Bendafixage behandelt und nach HEIDENHAIN gefärbt, Vergr. 2600.

stellten Untersuchung „Über den Eiweißstoffwechsel und das Vergilben der Laubblätter“, deren Resultate ich bald veröffentlichen werde, über das Verhalten des ergastischen Eiweißes und der vitulogenen Stoffe in den Assimilationszellen der Blätter von *Tropaeolum majus* berichten werde.

Der Protoplast der Palisadenzellen dunkelgrüner Blätter von *Tropaeolum majus* ist durch eine große Zentralvakuole gedehnt. Ein dünner Zytoplasmabelag der Zellwand schließt Kern und Chromatophoren ein.

Als ergastische Gebilde finden sich wenige kleine Allinante im Zytoplasma, mehrere, meist nur bei Färbung hervortretende Nucleolen in den Kernen (Fig. 1a) und zahlreiche Sekretropfen (ARTHUR MEYER 1917a) in den Chloroplasten (Abb. 1b).

Wenn man Salpetersäure oder Millons Reagens auf die mit Alkohol entfärbte Palisadenzelle einwirken läßt, so zeigt die eintretende Färbung an, daß die Chloroplasten sehr reich an ergastischem Organeiß sind. Weniger intensiv färben sich Kern, Nukleolen, Zytoplasma und Allinante.

Wenn wir diese verschiedene Stärke der Eiweißreaktion der Formelemente der Zelle berücksichtigen, so gewinnen wir einen guten Einblick in das Mengenverhältnis, in welchem die ergastischen Eiweißstoffe in der Palisadenzelle vorkommen, sobald wir das Volumen des Kernes, des Zytoplasmas und das Gesamtvolumen der Chromatophoren einer Palisadenzelle in Rechnung ziehen.

Über diese und anderes unterrichtet uns die folgende Untersuchung, welche meine Herren Assistenten Dr. FR. J. MEYER und Dr. CH. KIEHN nach von mir angegebenen Arbeitsmethoden ausgeführt haben, eine Untersuchung, welche mir auch einen meine Anschauungen berücksichtigenden Einblick in das Verhältnis bieten soll, in welchem die Masse der Trophoplasten, des Kernes und des Zytoplasmas zu einander steht.

Wir erhalten damit auch ein Beispiel für eine zahlenmäßige „Kern-Plasma-Relation“. Aus der Größe der durch ergastische Gebilde z. B. eine Zentralvakuole, gedehnten Zelle und der Flächenansicht des dazu gehörenden Kernes kann man natürlich nicht ohne weiteres auf das Verhältnis schließen, in dem ihre Massen stehen, aus dem Vergleich mehrerer solcher Verhältnisse kann man auch nur vermutungsweise den Satz ableiten, daß die Kernmasse einer Zelle mit der Zunahme der Zytoplasmamenge steigen könnte. Nur durch an verschiedenen Zellarten ausgeführte Bestimmungen gleicher Art wie die hier mitgeteilte und deren Vergleichung kann man völlige Klarheit darüber erhalten, ob wirklich die Kernmasse zu der Zytoplasmamasse in allen Fällen in einem ähnlichen quantitativen Verhältnisse steht.

Wenn wir dann das Verhältnis der Volumina vom Kern und Zytoplasma ins Auge fassen und die Beziehung zwischen Größe der Zelle und des Kernes genau beachten, so können wir auch entscheiden, ob der Kern auch wächst, wenn das Volumen der Zelle ohne Vermehrung des Zytoplasmas zunimmt. Es wäre das für unsere Vorstellung von der Wirkungsweise des Kernes von Bedeutung.

Bestimmung des Volumens des Kernes, des Zytoplasmas und der Gesamtheit der Chloroplasten.

Durchschnittliches Volumen der Kerne.

Die Kerne der Palisadenzellen sind in der Mitte der Zellen stärker gestreckt als an den Enden. Es wurden nur wandständige Kerne aus der Mitte der Zellen gemessen. Der größte Durchmesser des Kernes wurde an Querschnitten, die beiden zu ihm senkrechten an Flächenschnitten des Blattes bestimmt.

Die Kerne wurden mit dem ABBESchen Zeichenapparat, bei Anwendung der ZEISSschen Oelimmersion 1/12 und dem Kompensationsokular 12 gezeichnet. Die Vergrößerung war 2660. Die Bilder wurden mit dem Millimetermaßstab gemessen und die erhaltenen Größen auf die Objektgröße umgerechnet.

Die Messung der Zeichnungen von 20 Kernen ergab für den größten Durchmesser (L) in mm:

25,0	19,5	24,5	23,5	22,5	
22,0	20,0	23,0	29,0	21,0	
20,0	21,0	23,0	19,0	18,0	
23,0	18,5	19,0	19,0	20,0	Summa = 430,5.

Danach: Durchschnitt der Durchmesser $l = 8,1 \mu$, Größter Wert von $l = 9,4 \mu$,
Kleinster Wert = $6,8 \mu$.

Die beiden anderen Durchmesser der Kerne lieferten die Werte B und H in mm:

B	H	B	H	B	H	B	H	B	H
7,5	6	15,0	7,0	11,0	7,0	13,0	6,5	14,0	8,0
15,0	9,0	11,5	7,0	11,0	7,0	13,0	8,5	12,5	9,0
11,0	7,0	8,0	6,0	15,5	8,5	11,5	6,0	13,5	8,0
11,0	7,0	10,0	6,0	15,0	7,5	12,0	7,0	12,0	9,0

Danach: Durchschnitt der Durchmesser $b = 4,6 \mu$. Größter Wert von $b = 5,8 \mu$.
Kleinster Wert = $2,8 \mu$.

Durchschnitt der Durchmesser $h = 2,8 \mu$. Größter Wert von $h = 3,4 \mu$.
Kleinster Wert = $2,3 \mu$.

Das Volumen der Kerne wurde dann aus den 3 Durchmessern l , b , h als das eines dreiaxigen Ellipsoids nach der Formel $V = \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{h}{2}$ berechnet. Es ergab sich $54,3 \mu^3$.

Durchschnittliches Volumen der Chloroplasten.

Die Berechnung des Volumens konnte mit hinreichender Genauigkeit unter der Voraussetzung ausgeführt werden, daß die Gestalt der Chloroplasten eine Zwischenform zwischen einem dreiaxigen Ellipsoid mit den beiden größeren parallel der Zellmembran liegenden Achsen l und b und der dritten zur Zellmembran senkrecht stehenden Achse h und einem halben der Zellmembran aufliegenden Ellipsoid mit den größeren Achsen l und b und der dritten Achse $2h$ ist. Das Volumen des Ellipsoides (l , b , h) ist

$$V = \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{h}{2}.$$

das Volumen des Halbellipsoides (l , b , $2h$) ist

$$V = \frac{1}{2} \cdot \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot h.$$

Beide Volumina sind einander gleich, also darf mit einer für unsere Zwecke hinreichender Genauigkeit auch das Volumen der Chloroplasten nach der Formel $V = \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{h}{2}$ berechnet werden. Die Durchschnittswerte von l und b wurden aus 40 Messungen an Chloroplasten, welche auf der Unterseite angeschnittener Zellen lagen, gewonnen, der Durchschnittswert von h aus 20 Messungen an Chloroplasten, welche an Seitenwänden lagen.

Die gemessenen Werte der Länge (L) und Breite (B) waren in mm:

L	B	L	B	L	B	L	B	L	B
13,0	10,5	11,0	8,5	10,0	8,0	13,0	6,5	10,0	7,0
11,5	7,5	11,0	2,0	10,0	7,5	12,0	7,0	9,0	7,0
10,0	7,5	9,0	7,0	9,0	8,0	10,0	8,0	12,0	10,0
9,5	9,0	9,0	7,0	11,0	6,0	8,0	8,0	11,0	9,0
7,5	7,0	9,5	8,5	10,0	7,0	10,0	8,0	9,0	7,0
13,0	9,5	10,5	8,5	12,0	7,0	10,0	9,0	10,0	9,0
9,5	7,0	11,0	7,5	13,0	6,5	8,0	6,0	11,0	7,0
12,0	6,0	9,0	8,5	10,0	7,0	8,0	7,0	11,0	10,0

Summe von L = 413,0. Summe von B = 311,0.

Durchschnitt der Durchmesser $l = 3,9 \mu$. Größter Wert $l = 4,9 \mu$.

Kleinster Wert $3,0 \mu$.

Durchschnitt der Durchmesser $b = 2,9 \mu$. Größter Wert $b = 4,0 \mu$.

Kleinster Wert = $2,3 \mu$.

Die gemessenen Werte für H waren in mm:

6,0	4,5	4,0	5,0	5,0	4,0	4,5	4,0	4,0	3,5
5,0	4,0	5,0	3,5	4,0	3,5	5,0	4,0	3,5	3,5

Durchschnitt der Durchmesser $h = 1,6 \mu$. Größter Wert $h = 2,3 \mu$.

Kleinster Wert = $1,3 \mu$.

Das mittlere Volumen eines Chloroplasten ist nach der vorher angegebenen Formel berechnet, $9,4 \mu^3$. Da nach 10 Zählungen an lebenden Zellen die Zahl der in einer Zelle enthaltenen Chloroplasten im Durchschnitt 54 beträgt (Maximum 66, Minimum 45), so ist das Gesamtvolumen der Chloroplasten einer Palisadenzelle = $507,6 \mu^3$.

Danach verhält sich (Kern-+Nukleolen-Volumen): (Chloroplasten + Sekret-Gesamtvolumen) = 1 : 9,35.

Bestimmung des durchschnittlichen Gesamtvolumens der Nukleolen eines Kernes.

Die Nukleolen sind annähernd kugelförmig. Es wurde der Durchmesser der Nukleolen von 20 Kernen gemessen. Wir geben als Beispiel die Messungen aller Nukleolen eines Kernes:

Durchmesser in Mikromillimetern:

0,376—0,564—0,564—0,752—0,940—1,128—1,128—0,940.

Danach berechnetes Volumen: in Kubikmikromillimeter:

0,028—0,093—0,093—0,222—0,433—0,750—0,750—0,433.

Danach Gesamtvolumen der Nukleolen des Kernes 2,802.

In gleicher Weise wie dieser wurden noch 19 andere Kerne untersucht.

Die für die 20 gezeichneten Kerne berechneten Gesamtvolumina der Nukleolen waren in Kubikmikromillimetern:

2,80—1,02—4,28—2,65—3,48—1,42—3,02—1,16—1,20—2,04—1,40—1,72

1,51—0,64—1,85—1,78—1,86—1,73—1,76—2,27.

Durchschnitt des Gesamtvolumens der Nukleolen eines Kernes = $2,0 \mu^3$.

Größter Wert = $4,3 \mu^3$. Kleinster Wert = $0,64 \mu^3$.

Dieses Endergebnis hat unter der Annahme, daß beim Zeichnen und beim Messen der einzelnen Nukleolen Fehler bis zu 0,5 mm gemacht wurden, höchstens einen Fehler von 4,5 %.

Das Volumen der Kernsubstanz beträgt nun nach Abzug der ergastischen Nukleolensubstanz $54,3 - 2,0 = 52,3 \mu^3$.

Bestimmung des Volumens des in einer Palisadenzelle enthaltenen Assimilationssekretes.

Zuerst wurde das Volumen der lebenden (in diesem Falle etwas Stärke enthaltenden) Chloroplasten in gleicher Weise wie das der fixierten bestimmt. Es ergab sich als Durchschnittswert aus 40 Messungen (für l und b) bzw. aus 20 (für h) $l = 5,0 \mu$, $b = 4,0 \mu$, $h = 2,4 \mu$ und daraus als Mittelwert des Volumens eines Chloroplasten $V = 25,0$. Von diesem Volumen wurde dann das durchschnittliche Volumen der Stärkekörner abgezogen, welches als das von Rotationsellipsoiden bestimmt wurde. Als mittlerer Wert des Stärkegehaltes eines Chloroplasten ergab sich $2,0 \mu^3$. Das Volumen der Chloroplasten + Sekret war also $25,0 - 2,0 = 23,0 \mu^3$.

Der Durchmesser der Sekrettröpfchen wurde zu $0,25 \mu$ gefunden. Unter der hinreichend genau erfüllten Voraussetzung, daß die Tröpfchen alle gleich groß und gleich weit voneinander entfernt sind, kann man sich den ganzen Chloroplasten in den Raum lückenlos erfüllende regelmäßige Dodekaeder zerlegt denken, in deren Mitte sich je ein kugeliges Sekrettröpfchen befindet. Das Volumen eines solchen Dodekaeders ist — ausgedrückt durch den Abstand des Mittelpunktes von einer Seitenfläche —

$$V = 5 \cdot R^3 \cdot \frac{\operatorname{tg} 36^\circ}{\cos^2 36^\circ} = 5 \cdot 0,5^3 \cdot \frac{\operatorname{tg} 36^\circ}{\cos^2 36^\circ} = 0,69 \mu^3.$$

Das Volumen eines Sekrettröpfchens ist $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \pi \cdot \frac{1}{8^3} = 0,0081 \mu^3$.

Der Quotient aus dem Volumen eines Dodekaeders aus Chloroplastensubstanz durch das Volumen einer darin liegenden kugeligen Sekretmenge ist demnach $\frac{0,69}{0,0081} = 86$. In den gesamten Chloroplasten einer Zelle ist, da die durchschnittliche Anzahl der Chloroplasten einer Zelle 54 und das durchschnittliche

Volumen eines Chloroplasten $23,0 \mu^3$ beträgt, also $\frac{1}{86} \cdot 54 \cdot 23 = 14,4 \mu^3$ Sekret enthalten.

Unter Berücksichtigung der ergastischen Gebilde der Kerne und Chloroplasten nimmt das Verhältnis von Chloroplasten- zur Kern-Substanz den Wert an:

$$\frac{507,6 - 14,4}{54,3 - 2,0} = \frac{493,2}{52,3} = \frac{9 \cdot 4}{1}.$$

Bestimmung des Volumens des gesamten Plasmas einer Palisadenzelle.

Wir benutzten, weil das mit Benda fixierte Material nicht gut gelungen war, Alkoholmaterial zu den Messungen. Dadurch ist wohl das gefundene Volumen des Zytoplasmas etwas zu groß ausgefallen, doch wird die Zahl annähernde Brauchbarkeit behalten.

Vor dem Fixieren mit Alkohol wurden die Objekte unter der Luftpumpe mit 10 proz. Salpeterlösung injiziert und so lange behandelt, bis sich der Protoplast etwas von der Wand abgehoben hatte. Die Dicke des Zytoplasmaschlauches wurde an Flächenschnitten des Blattes, die durch die Palisadenschicht geführt waren, festgestellt. Die Schnitte waren mit Eisenhämatoxylin gefärbt. Die Messungen wurden nach der von mir angegebenen, bei VIEHÖVER (1913, S. 18) beschriebenen Methode ausgeführt. Für die Dicke des Zytoplasmaschlauches ergab sich als Durchschnitt aus 20 Messungen der Wert $0,83 \mu$. Die größten und kleinsten der gefundenen Werte betragen $0,50 \mu$ und $0,25 \mu$.

Der Durchmesser des Zytoplasmaschlauches wurde durch Messungen an Flächenschnitten des Blattes, die durch die Palisadenschicht führten, festgestellt. Im Durchschnitt betrug der Durchmesser $8,8 \mu$. Die Länge des Zytoplasmaschlauches wurde an Blattquerschnitten bestimmt; es wurden 20 Zellen gemessen; als mittlere Länge (l) wurde $26,8 \mu$ bestimmt (größter Wert 32μ , kleinster Wert 22μ).

Bei der Berechnung wurde der Zytoplasmaschlauch als ein Körper betrachtet, der aus einem Kreis-Hohlzylinder (äußerer Radius = $4,4 \mu$, Höhe = $18,0 \mu$ und zwei diesem an den Enden aufgesetzten Hohl-Halbkugeln (äußerer Radius $4,4 \mu$) besteht. Das Volumen dieses Hohlzylinders wurde gleich äußere Oberfläche. Dicke der Wandung berechnet, mittelst der Formel:

$$(2r\pi h + 4r^2\pi) \cdot d = 2r\pi(h + 2r) \cdot d = 2r\pi \cdot l \cdot d = 8,8 \cdot \pi \cdot 26,8 \cdot 0,33 = 244 \mu^2.$$

Danach verhält sich (Kern + Nukleolen): Zytoplasma = 1:4,5 und die reine Kernsubstanz: Zytoplasma = 1:4,7.

Zusammenfassung der Ergebnisse: der Untersuchung des Protoplasten der Palisadenzelle.

Gesamtvolumen der Nukleolen eines Kernes $2,0 \mu^3$.

Volumen der Kernsubstanz $52,3 \mu^3$.

Gesamtvolumen der Chloroplastensubstanz einer Zelle $493 \mu^3$.

Gesamtvolumen des Assimilationssekretes aller Chloroplasten einer Zelle $14,4 \mu^3$.

Volumen des Zytoplasmas $244 \mu^3$.

Relation der reinen Kern-Zytoplasma-Chloroplasten-Substanz 1:4,7:9,4.

Ob das Verhältnis zwischen dem Volumen des Kernes und dem des Zytoplasmas im Verlaufe des Lebens immer gleich bleibt, können wir direkt nicht sehen; wohl aber sehen wir bei Verfolg des Alters, während dem ein Hellerwerden und eine Verfärbung des Blattes eintritt, eine Änderung des Verhältnisses zwischen dem Volumen des Kernes und dem Gesamtvolumen der Chloroplasten eintreten, bei welchem die Verhältniszahl für das Kernvolumen anwächst.

Unsere Zahlen gelten für ergastische Organstoffe + Vitüle, während die Masse der Vitüle vermutlich erhalten bleibt, werden anscheinend mehr ergastische Eiweißstoffe der Chloroplasten als

des Kernes gelöst. Messungen ergaben folgende Zahlen, welche die Abnahme des Volumens des Kernes und der Chromatophoren erkennen lassen.

	Kerngröße		Chloroplasten-Durchmesser
	kleiner	großer	
Dunkelgrüner Zustand des Laubblattes, ungefähr 25 Lebenstage des ausgewachsenen Blattes, langsam übergehend (ungefähr 6 Tage grün) in den hellgrünen Zustand des Blattes, der ungefähr 12 Tage währt	4,7 μ	7,0 μ	5,8 μ
gelber Zustand b, welcher kurz vor dem Absterben des Blattes herrscht	5,0 μ	5,9 μ	4,2 μ
	3,4 μ	4,8 μ	2,5 μ

Dieses Kleinerwerden der Organe im alternden Laubblatt hat hauptsächlich darin seinen Grund, daß das ergastische Organeiweiß der Chloroplasten und Kerne gelöst wird. Die Lösung des ergastischen Organeiweißes ist durch die Abnahme der Assimilationsenergie alternder Blätter bedingt. Diese bewirkt, daß am Tage nicht so viel Eiweiß aufgebaut werden kann, als zum Ersatz des durch Atmung und Ableitung am Tage und in der Nacht verloren geht.

Das Eiweiß der Nukleolen nimmt hier nicht wesentlich ab; KIEHN (1917, S. 34) wies eine Abnahme der Nukleolensubstanz in den alternden grünen Blättern von *Galtonia* sicher nach. Hier behalten die Kerne Nukleolen fast ihr ganzes Leben lang, vielleicht sogar bis kurz nach ihrem Tode wesentlich unverändert, wo diese ergastischen Gebilde dann plötzlich in Lösung gehen so daß der Kern noch einmal zusammenfällt.

Statt der Durchmesser 3,4 und 4,8 μ des Kernes im gelben Zustande des Blattes finden wir nach dem Absterben der Zelle 3,1 μ und 4,4 μ . Die Durchmesser der Kerne des gelben Blattes betragen 4,8 μ und 3,4 μ ; berechnet man das Volumen eines derartigen Kernes als Volumen eines Rotationsellipsoides, so erhält man 28,9 μ^3 . Die Kerne der toten Blätter haben einen Durchmesser von 4,4 μ und 3,1 μ und somit ein Volumen von 22,0 μ^3 . Es bleibt ein Plus an Volumen des gelben Kernes gegenüber dem des toten von 28,9—22,0 = 6,9 μ^3 . Rechnet man das Volumen der Nukleolen von den Kernen der gelben Zellen ab, so bleibt

$28,9 - 2 = 26,9 \mu^3$; also wird auf den Verlust an anderen Substanzen und auf die Schrumpfung des Volumens nach diesem Überschlag ungefähr $4,9 \mu^3$ kommen.

Die Nukleolensubstanz ist ja (A. M. 1917) ein Reservestoff, der für heranwachsende Zellen bereit gestellt ist, und da kein Zellwachstum im erwachsenen Blatt stattfindet, bleiben die Nu-

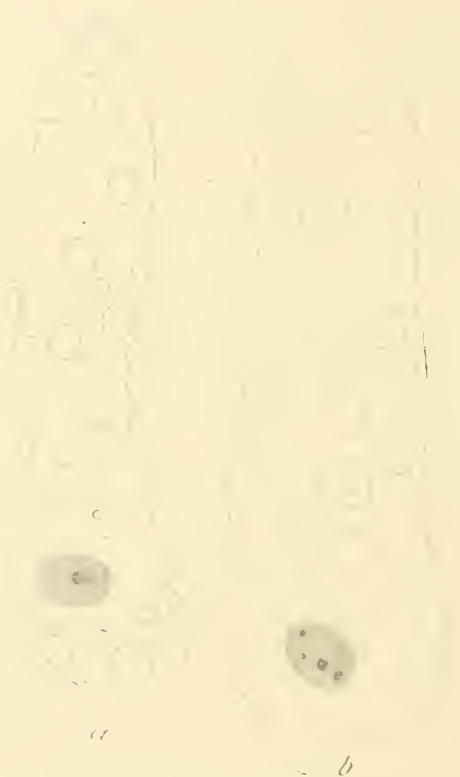


Abb. 2. Skizze der Umrisse von Palisadenzellen von *Tropaeolum majus* mit Chloroplasten, Kern und Allinanten. a nach 5tägiger Verdunkelung eines dunkelgrünen Blattes. b nach darauf folgender 14tägiger Beleuchtung.

kleolen im allgemeinen erhalten, um erst zuletzt, wenn alle Eiweißstoffe auswandern, der Auflösung zu verfallen.

Wenn man die Blätter verdunkelt, so tritt die Lösung des ergastischen Organeißes schneller ein, weil keine Assimilation mehr stattfinden kann. Die Chloroplasten können dann relativ schnell bis zur Größe des hellgrünen Zustandes kommen ($4,2 \mu$),

so daß die Schwächung der Chloroplasten durch das Altern derselben nicht so weit fortschreitet, daß sie unfähig werden, die Bildung einer genügend großen Menge von Eiweiß zu ermöglichen. Es erfolgt dann, wenn man die Verdunkelung der Blätter aufhebt, eine relativ kräftige Assimilation und ein langsames Wiederauffüllen der Chloroplasten mit ergastischem Eiweiß, wodurch sie an Volumen wachsen.

Abb. 2 zeigt in a die Zelle eines dunkelgrünen Blattes, welches 5 Tage verdunkelt war, mit den Umrissen der Chloroplasten und in b eine Palisadenzelle desselben Blattes, nachdem es wieder 14 Tage beleuchtet worden war.

Dauert die Beleuchtung länger, so tritt eine zu weit gehende Altersschwächung und Verkleinerung der Chloroplasten ein, so daß dann eine Auffüllung nicht mehr gelingt.

Das Eiweiß, welches im an der Pflanze sitzenden Blatte, wie wir sehen, mit dem Altern desselben mehr und mehr gelöst wird, wandert größtenteils in die Achsen aus und von da in die wachsenden Organe. Es wird so zuletzt auch das ergastische Eiweiß gänzlich aus den Organen des Protoplasten herausgenommen, und es bleibt dann in der Zelle von den Organen nur ein für die Ernährung der wachsenden Teile der Pflanze unbrauchbarer Rest liegen.

Betrachten wir zuerst einen Zustand der Palisadenzelle, welcher direkt vor dem Tode der Zelle liegt, den in Abb. 3a und b dargestellten Zustand (b) der Palisadenzelle des gelben Blattes, so finden wir, daß das ergastische Eiweiß der Nukleolen noch kaum angegriffen ist, während das des Organes, der Kernsubstanz, fast ganz gelöst zu sein scheint und die Chloroplasten eine große Quantität ergastisches Eiweiß abgaben. Die genauen Verhältnisse wurden durch die folgenden Untersuchungen festgestellt.

Bestimmung des Volumens der reinen Kernsubstanz, der reinen Chloroplastensubstanz, des Zytoplasmas und der ergastischen Gebilde der Palisadenzelle des gelben Blattes von *Tropaeolum majus*.

Die Messungen und Berechnungen für die Palisadenzellen des gelben Blattes (Zustand b, entsprechend Abb. 3) wurden in gleicher Weise angestellt wie bei den Palisadenzellen des dunkelgrünen Blattes und ergaben die folgenden Werte:

Durchschnittswerte für die 3 Durchmesser des Kernes	5,3	4,6	2,7 μ
Größte Werte für die 3 Durchmesser	6,2	5,6	3,0 μ
Kleinste Werte für die 3 Durchmesser	4,1	3,4	2,3 μ
Durchschnittliches Volumen der reinen Kernsubstanz	32,3 μ^3		
Durchschnittliches Gesamtvolumen der Nukleolen eines Kernes	2,1 μ^3		

Durchschnittswerte für die 3 Durchmesser der Chloroplasten	2,5	2,0	1,8 μ
Größte gemessene Werte	3,0	2,6	2,8 μ
Kleinst gemessene Werte	1,5	1,5	1,3 μ
Durchschnittlicher Durchmesser der Sekrettröpfchen . .	0,7 μ		
Abstand der Sekrettröpfchen von einander	0,27 bis 0,35 μ		
Durchschnittliches Volumen eines Sekrettröpfchens . .	0,18 μ^3		
Volumen des in einem Chloroplasten enthaltenen Sekretes	0,22 bis 0,29 μ^3		
Gesamtvolumen der reinen Chloroplastensubstanz einer Zelle	191 μ^3		
Dicke des Zytoplasmeschlauches	0,1 bis 0,12 μ		
Volumen des Zytoplasmas	90 μ^3		
Relation der reinen Kern-Zytoplasma-Chloroplasten-Substanz einer Palisadenzelle des gelben Blattes: 1 : 2,8 : 5,9.			

Vergleichen wir nun die Volumenveränderungen, die die Organe und ergastischen Gebilde der Palisadenzelle vom dunkelgrünen Zustande bis gelben noch lebenden Zustande des Blattes von *Tropaeolum* erleiden, so finden wir:

	dunkelgr. Blatt	gelbes Blatt	Abnahme
Volumen der reinen Kernsubstanz	53,3 μ^3	32,3 μ^3	38 %
Volumen der Gesamtchloroplasten-Substanz	493 μ^3	191 μ^3	61 %
Zytoplasmavolumen	244 μ^3	90 μ^3	63 %
Volumen der Nukleolen eines Kernes	2,0 μ^3	2,1 μ^3	0 $\frac{0}{10}$
Gesamtvolumen des Assimilationssekretes	14,4 μ^3	63,4 μ^3	Zunahme 343 %
Kern-Zytoplasma-Chloroplasten-Relation der reinen Organsubstanzen 1 : 4,7 : 9,4 1 : 2,8 : 5,9.			

Es zeigt sich also, daß 38 pCt. Eiweiß in der reinen Kernsubstanz enthalten und ausgewandert waren, während die beinahe 10 pCt. der Kernsubstanz betragenden Nukleolen unberührt blieben. Das ergastische Eiweiß der Nukleolen wird kurz vor oder nach dem Absterben der Zelle sofort völlig gelöst, wo auch der Rest des ergastischen Organeiweißes des Kernes, welches nun nicht mehr als Arbeitsmaterial für den lebenden Kern nötig ist, weggeführt wird. Wie wir sehen werden, bleibt aber von dem Kern ein relativ großer Rest übrig, wie der Kern schon jetzt relativ weniger Substanz abgab als die Chloroplasten, entsprechend seinem relativ geringen Gehalte an ergastischem Eiweiß. Die Chloroplasten verloren 61 pCt. Eiweiß, und konnten mit dem Reste noch leben,

ähnlich das Zytoplasma. So blieben jetzt für 1 Volumen reiner Organsubstanz des Kernes 5,9 reine Organsubstanz der Chloroplasten übrig, während im dunkelgrünen Blatte auf 1 Volumen Kernorgan 9,4 Chloroplastenorgan kamen.

Wenn die Zelle abstirbt, so nimmt die Pflanze alles ergastische Organeiß aus dem Protoplasten heraus, welches bisher die Organe des Protoplasten noch festhielten. Es zerstäubt dann das Zytoplasma, dessen Dicke schon an der Grenze des Sichtbaren lag, so daß seine Reste für uns unsichtbar werden. Bei *Tropaeolum* findet auch ein starker Zerfall der Chloroplasten statt, während der Kern hier, wie in allen untersuchten Fällen, gut erhalten bleibt, wenn die Zelle völlig abgestorben ist. In manchen Fällen bleiben auch die Chloroplastenreste besser erhalten.

Bei *Acanthus longifolius* z. B. bleiben auch die Chloroplastenreste noch längere Zeit nach dem Absterben der Zellen erhalten.



Abb. 3. Chloroplasten und Kern aus dem gelben Zustande (b) einer Palisadenzelle eines vergilbten Blattes von *Tropaeolum majus*. Bendafixage, Eisenhämatoxylin-Färbung. a schwach differenzierter Kern mit den um ihn versammelten Chloroplasten. b stärker differenzierter Kern. Vergr. 2660.

Wenn man eine Mesophyllzelle des Blattes von *Acanthus* untersucht, nachdem das Blatt ganz abgestorben ist, so daß selbst mit 50proz. Salpeterlösung keine Plasmolyse mehr zu erreichen ist, so findet man die Chloroplasten doch meist so gelagert wie es in Abb. 3 für *Tropaeolum* dargestellt ist, manchmal sind die Chloroplasten auch noch über die Zellwand zerstreut.

Man sieht bei *Acanthus* meist nur einen großen Tropfen von durch den Farbstoff der Chloroplasten nur sehr schwach gefärbtem Sekret liegen (Abb. 4a), der sich in Alkohol nur unvollständig, leicht in Chloroform löst. Hat man mittelst Chloroform und Alkohol das Sekret aus der Zelle entfernt, so sieht man (Abb. 4b) den Kernrest und die kleinen Reste der Chloroplasten, denen sich wohl kaum Reste des anscheinend in nicht mehr sichtbare Teilchen zerfallenen Zytoplasmas beimischen, in der Zelle liegen.

Man kann wohl sagen, daß die Gesamtreste der Chloroplasten kaum ein größeres Volumen zu besitzen scheinen als der Kernrest.

Die in Rede stehenden Reste sind nun sicher kein Eiweiß. Sie färben sich mit Millons Reagens kaum und würden auch sicher von der Pflanze gelöst und zurückgenommen werden, wenn sie aus Eiweiß beständen. Ich spreche sie als vitülogene Substanzen an, die in der lebenden Zelle gar nicht vorkommend, derselben Fremdkörper sind.



Abb. 4. Palisadenzellen eines gelben abgestorbenen Laubblattes von *Acanthus longifolius*. a Schnitt in Wasser, mit Kern, Chloroplasten und Sekrettöpfen. b Dieselbe Palisadenzelle mit absolutem Alkohol und dann mit Chloroform ausgezogen, nach Auswaschen mit Alkohol und Wasser mit Jodkalium gefärbt. Kern und Chromatophorenreste.

Wenn meine Anschauung richtig ist, so würde man durch Messung dieser Reste eine Vorstellung von der Masse der Vitüle erlangen, die in den Organen des Protoplasten neben den ergastischen Substanzen vorkommen.

Die Laubblätter sind ein gutes Objekt für die Beobachtung der vitülogenen Substanzen, weil, da die Blätter gänzlich absterben, die Pflanze sich nicht um sie zu kümmern braucht. Da, wo sie durch diese Reste gestört wird, wie bei den jugendlichen Tracheen, vermag sie dieselben auch durch Lösung zu entfernen.

Von großem Interesse wäre, nach meiner Anschauung, die makrochemische Untersuchung dieser vitülogenen Substanzen der eben abgestorbenen Laubblätter.

Literaturverzeichnis.

- C. KIEHN, Die Nukleolen von *Galtonia vandicans* Decsne, Marburg, Dissertation 1917.
- ARTHUR MEYER, Untersuchungen über die Stärkekörner, 1895, Jena, GUSTAV FISCHER.
- ARTHUR MEYER, Die Plasmaverbindungen und die Membran von *Volvox globator, aureus* und *tertius*, mit Rücksicht auf die tierischen Zellen Botanische Zeitung 1896, Bd. 54, S. 187.
- ARTHUR MEYER, Erstes mikroskopisches Praktikum, 1898, Jena, GUSTAV FISCHER.
- ARTHUR MEYER, Erstes mikroskopisches Praktikum, 1915, Jena, GUSTAV FISCHER, 3. Aufl.
- ARTHUR MEYER, Die in den Zellen vorkommenden Eiweißkörper sind stets ergastische Stoffe; Berichte der Deutsch. Bot. Ges. Bd. 33, 1915a, S. 373.
- ARTHUR MEYER, Die Allinante; Berichte der Deutsch. Bot. Ges., Bd. 34, 1916, S. 168.
- ARTHUR MEYER, Die biologische Bedeutung der Nukleolen; Berichte der Deutsch. Bot. Ges., Bd. 35, 1917, S. 333.
- ARTHUR MEYER, Das während des Assimilationsprozesses in den Chloroplasten entstehende Sekret; Berichte der Deutsch. Botan. Ges., Bd. 25, 1917a.
- VIEHÖEVER, A., Botanische Untersuchung harnstoffspaltender Bakterien. Dissertation Marburg, 1913 (auch Zentralblatt für Bakteriologie. II. Abteilung, 39. Bd., 1913).
- WILLSTÄTTER und STOLL, Untersuchungen über Chlorophyll, Berlin, SPRINGER 1913.
-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1917

Band/Volume: [35](#)

Autor(en)/Author(s): Meyer Arthur

Artikel/Article: [Das ergastische Organeiweiß und die vitülogenen Substanzen der Palisadenzellen von Tropaeolum majus. 658-673](#)