

MBL/WHOI



0 0301 0013874 9

1

UNTERSUCHUNGEN
UBER
BAU, KERNTHEILUNG UND BEWEGUNG
DER
DIATOMEN

VON
ROBERT LAUTERBORN

AUS DEM ZOOLOGISCHEN INSTITUT DER UNIVERSITÄT HEIDELBERG.

MIT 1 FIGUR IM TEXT UND 10 TAFELN

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1896.

2

SEINEM HOCHVEREHRTEN LEHRER

HERRN GEH. HOFRAT PROFESSOR DR. O. BÜTSCHLI

IN DANKBARKEIT

GEWIDMET

VOM VERFASSER.

Inhalts-Verzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
Untersuchungsmethoden	6
I. Über einige Strukturverhältnisse der verkieselten Zellmembran	10
A. Frühere Beobachtungen über den Bau der Raphe und Riefen von <i>Pinnularia</i> sowie der Flügel von <i>Surirella</i>	10
B. Eigene Untersuchungen	11
II. Das Protoplasma und seine Einschlüsse	17
A. Anordnung und Struktur des Protoplasmas	17
B. Die Chromatophoren und Pyrenoide	24
C. Fettes Öl	30
D. Die Bättschischen „roten Körnchen“	30
III. Der Kern	43
Lage und Gestalt des Kerns	43
Struktur des ruhenden Kerns	48
IV. Das Centrosoma	54
V. Die Kern- und Zellteilung	58
A. Frühere Beobachtungen über Kern- und Zellteilung der Diatomeen	58
B. Eigene Untersuchungen	59
1. Kern- und Zellteilung von <i>Surirella calcarata</i>	60
2. Kern- und Zellteilung von <i>Nitzschia sigmoidea</i> , <i>Pleurosigma attenuatum</i> , <i>Pinnularia oblonga</i> und <i>Pinnularia viridis</i>	75
Allgemeine Bemerkungen über Kern- und Zellteilung	85
Centrosoma	85
Spindel	88
Centrosom, Centralspindel und Mikronucleus	100
VI. Die Bewegung der Diatomeen	113
Nachschrift	133
Litteratur-Verzeichnis	139
Tafel-Erklärungen	145

Einleitung.

Unter dem gewaltigen Heere jener mikroskopischen Lebewesen, welche in einer fast unerschöpflichen Formenfülle die Gewässer unseres Erdballs bevölkern, nehmen die Diatomeen oder Bacillariaceen sowohl durch die Zahl ihrer Arten als auch insbesondere durch die Schönheit ihrer Gestalt gewiss eine der ersten Stellen ein. Wo nur immer in der Natur die Anwesenheit von Wasser eine reichere Entfaltung organischen Lebens ermöglicht, dürfen wir auch fast stets mit Sicherheit darauf rechnen ihre Vertreter zu finden. In schäumenden Gebirgsbächen, in den grossen Strömen der Ebene, in vegetationsreichen Sümpfen, Teichen und Seen — überall erscheinen die charakteristischen schlüpfrigen Diatomeenrasen, entweder an Steinen oder Wasserpflanzen festgeheftet oder den Schlamm am Grunde streckenweise mit einer goldbraunen Decke überziehend. Einen noch weit grösseren Reichtum an Formen als unsere süssen Gewässer birgt das Meer in seinem Schosse. Hier beleben zahlreiche Arten die seichteren Gründe oder bekleiden festgewachsen die felsigen Klippen und flutenden Tangwälder. Wieder andere, ausgerüstet mit wundervollen Anpassungen an das umgebende krystallene Element, schweben in gewaltiger Individuenzahl frei in den klaren uferlosen Gewässern der Hochsee; nach ihrem Tode sinken ihre der Verwesung widerstehenden Kieselpanzer hinab in die Tiefe, wo sie, stellenweise zu mächtigen Lagern angehäuft, selbst die ungezählten Jahrtausende geologischer Epochen ohne Veränderung überdauern.

Es liegt auf der Hand, dass Organismen von einer derartig universellen Verbreitung wie die Diatomeen, welche dem bewaffneten Auge schon in ihrer äusseren Gestalt einen solchen Reichtum und Wechsel an Formenschönheit darbieten, stets ein Lieblingsobjekt mikroskopischer Betrachtung bilden mussten. Seit jenen Zeiten, wo Leeuwenhoek die erste *Synedra* entdeckte und Baker die erste *Navicula* als „Hafertier“ beschrieb, bis herab auf unsere Tage, wo nach De Tonis verdienstvoller Zusammenstellung (30) die Zahl der beschriebenen Arten 5700 übersteigt und mehr als

2500 Arbeiten sich mit ihnen befassen, ist ihnen ein stetig zunehmendes Interesse entgegengebracht worden, und zwar nicht nur von seiten der zünftigen Forscher, sondern in ganz hervorragendem Masse auch von jenen, welche in die Geheimnisse der kleinsten Lebewelt lediglich zur eigenen „Gemüts- und Augenergötzung“ einzudringen versuchen.

Es wäre indessen verfehlt, wollte man aus dem gewaltigen Umfang der Diatomeenlitteratur auch auf eine eingehende Kenntnis des inneren Baues sowie der Entwicklung unserer Organismen schliessen. Die überwältigende Mehrheit der Forscher hielt und hält leider auch heute noch eigentlich nur die verkieselten Wandungen der Diatomeenzelle einer eingehenden Untersuchung wert, wogegen sie den lebendigen plasmatischen Inhalt derselben in den meisten Fällen kaum beachtet, ja ihn mit allen Mitteln zu entfernen sucht, um dadurch die zierlichen Skulpturen des Panzers desto deutlicher hervortreten zu lassen. Wenn nur auch einerseits durchaus nicht verkannt werden darf, dass diese jedenfalls recht einseitige Art und Weise der Forschung in Bezug auf Schalenstruktur, Systematik und geographische Verbreitung bereits viel des Interessanten und Wertvollen zu Tage gefördert hat, so leuchtet doch auch andererseits ohne weiters ein, dass zu einem vollen Verständnis der Morphologie, sowie zu einer natürlichen Klassifikation der Diatomeen eine eingehende Kenntnis des inneren Baues, des Plasmas und seiner Einschlüsse, sowie der Entwicklung unbedingt erforderlich ist. Gerade nach diesen Richtungen hin ist aber unser gegenwärtiges Wissen in vielen Punkten noch recht lückenhaft und entspricht noch keineswegs den Anforderungen, die man in einer Zeit so intensiver Zellforschung, wie es die unsrige doch ist, eigentlich zu stellen berechtigt wäre.

Die Zahl der Arbeiten, auf welchen unsere Kenntnis des inneren Baues der Diatomeen basiert, ist eine relativ sehr geringe im Vergleich zu der Flut jener Schriften, welche ausschliesslich die Struktur der Schale sowie Systematik behandeln. Es liegt nicht in meiner Absicht, diese Arbeiten hier möglichst vollständig aufzuzählen, da ich später bei der Schilderung meiner Beobachtungsergebnisse ja oft Gelegenheit haben werde, auch der Arbeiten meiner Vorgänger auf diesem Gebiete zu gedenken und die in ihnen niedergelegten Befunde mit den meinigen zu vergleichen. Ich beschränke mich hier vielmehr darauf, in aller Kürze auf diejenigen Werke hinzuweisen, welche die allmähliche Entwicklung unseres Wissens vom inneren Bau der Diatomeen illustrieren dürften.

Ehrenbergs (34) klassisches Buch: „Die Infusionsthierchen als vollkommene Organismen“ (1838) bildet wie bei so vielen Gruppen mikroskopischer Lebewesen auch hier die Grundlage. In ihm sind die Diatomeen mit den Desmidiaceen und den Acineten zur Familie der „Bacillaria“ oder „Stabthierchen“ vereinigt, von denen zahlreiche Vertreter aus dem süssen und salzigen Wasser in trefflichen, zum Teil auch heute noch brauchbaren farbigen Abbildungen nach dem Leben vorgeführt werden. Allerdings haben sich die Vorstellungen, welche der grosse Mikrograph von der inneren Organisation seiner „Stabthierchen“ hegte, längst als unhaltbar erwiesen: wir können

nicht mehr, wie einst er, die Diatomeen als „vollkommene“ Organismen mit Magenblasen, Eierstöcken etc. betrachten, seitdem erkannt worden ist, dass die vom Kieselpanzer umschlossene plasmatische Substanz in all ihren verschiedenartigen Differenzierungen doch niemals den morphologischen Wert einer einzigen Zelle überschreitet. Noch vielfach im Banne der Anschauungen Ehrenbergs steht G. W. Focke (47), der in seinen „Physiologischen Studien“ II. Heft (1854) neben Desmidiaceen, Flagellaten etc. auch den „Stabthierchen“ einen besonderen Abschnitt widmet. Ihn dürfen wir wohl als Entdecker des Zellkerns der Diatomeen betrachten, da er im Innern von *Navicula* (*Pinnularia*) *viridis* ein Gebilde wahrnahm, „welches an den bei *Closterium* beobachteten Zellkern erinnert“ (l. c. pag. 27) und das er auch bei der von ihm sehr eingehend untersuchten *Navicula bifrons* (*Surirella biseriata*) wiederfand. Von weiteren Forschern, die dem inneren Bau ihre Aufmerksamkeit zuwandten, wäre ferner noch Max Schultze (125, 126) zu nennen, dem wir neben Untersuchungen über die eigenartige Ortsbewegung der Diatomeen auch solche über Bewegungserscheinungen im Innern der Zelle verdanken. Nicht ohne Interesse sind schliesslich noch die Angaben, die J. Lüders (88) über den Bau verschiedener Arten macht.

Eine neue Epoche in der Erforschung des inneren Baues der Diatomeen inauguriert Pfitzers „Untersuchungen über Bau und Entwicklung der Bacillariaceen (Diatomaceen)“ (101) (1870). In dieser inhaltsreichen Arbeit erhält das wichtige Gesetz von der Zweischaligkeit der Diatomeen-Membran, die bereits Wallich (144) erkannt hatte, seine wissenschaftliche Begründung; ausserdem wird hier unter kritischer Sichtung der früheren Litteratur die Anordnung des Plasmas und seiner Einschlüsse, die Teilung der Zelle, sowie die Bildung der Auxosporen bei zahlreichen Vertretern aus allen Familien auf das eingehendste geschildert und dadurch eine sichere Basis für alle ferneren Untersuchungen geschaffen. Pfitzer gebührt auch das unbestreitbare Verdienst, den Grund zu einem wirklich natürlichen System der Diatomeen gelegt zu haben, zu einem System, das nicht wie bisher einzig und allein auf der Struktur der toten Schalen, sondern in erster Linie auf dem inneren Bau, sowie auf der Entwicklung basiert.

Es muss wirklich als eine auffallende Erscheinung betrachtet werden, dass Pfitzers ebengenanntes, an interessanten und anregenden Beobachtungen so reiches Werk in den Kreisen der Botaniker so wenig zu ähnlichen Studien angeregt hat. Wenn man bedenkt, wie intensiv in den letzten fünfundzwanzig Jahren gerade die Erforschung des Baues und der Entwicklung der Einzelligen von botanischer und zoologischer Seite in Angriff genommen ist und wenn man sich dabei vergegenwärtigt, welche Summe von hochinteressanten und auch für das Verständnis der komplizierten Lebensvorgänge höherer Organismen bedeutungsvollen Thatsachen durch diese vereinten Bemühungen bereits zu Tage gefördert worden ist — so begreift man kaum, wie hierbei die Diatomeen, die doch allenthalben so leicht und mühelos zugänglich sind, derart stiefmütterlich behandelt werden konnten. Die Zahl der Arbeiten aus dieser jüngsten Periode ist eine verschwindend geringe; fast alles, was wir aus ihr besitzen, knüpft sich an die Namen

Pfitzer, Schmitz und Schütt. Dem ersten verdanken wir eine sehr ansprechende kurze Zusammenfassung alles dessen, was bis zum Jahr 1882 über Bau und Leben der Diatomeen bekannt geworden ist (102); Schmitz (123, 124) hat im Anschluss an seine Studien über die Chromatophoren der Algen auch die Chromatophoren und Pyrenoide einer Anzahl Diatomeen in den Kreis seiner Untersuchungen gezogen. Schütt (128-130) endlich gab in mehreren Abhandlungen wertvolle Aufschlüsse über den Bau und die Entwicklung pelagischer Formen des Meeres, deren vielgestaltige und wundervolle Anpassungen an ihre eigenartigen Lebensverhältnisse er uns erst kürzlich wieder in einem prächtigen Werke (128) erschlossen hat.

Nach vorstehendem bedarf das Erscheinen einer Arbeit, die wie die meinige das Hauptgewicht auf die Schilderung des plasmatischen Baues, sowie der bis jetzt noch nie eingehender untersuchten Kernteilung der Diatomeen legt, wohl kaum einer besonderen Rechtfertigung. Indessen sei es mir gestattet, mich in Kürze über die Entstehung, sowie über den Plan dieser Arbeit auszusprechen, da hierdurch die etwas ungleichmässige Behandlung der einzelnen Abschnitte ihre Erklärung finden dürfte. Im Sommer 1891 machte mir mein hochverehrter Lehrer, Herr Professor Dr. Bütschli, den Vorschlag, die Beziehungen des von ihm bei *Surirella calcarata* Pfitzer entdeckten Centrosomes zur Teilung des Kerns einer eingehenden Untersuchung zu unterziehen. Ich entsprach diesem Wunsche um so lieber, als ich selbst diese grosse und prächtige Form bei Gelegenheit meiner faunistischen Studien in den Altwässern des Rheins entdeckt hatte und infolgedessen die Beschaffenheit eines genügenden Materials für mich mit keinerlei Schwierigkeiten verknüpft war. Als jedoch gegen den Winter hin *Surirella* allmählich seltener zu werden begann und schliesslich ganz verschwand, zog ich, um die einmal begonnenen Arbeiten nicht unterbrechen zu müssen, nach und nach auch andere Formen, wie *Nitzschia*, *Pleurosigma*, *Pinnularia*, *Navicula* etc. in den Kreis meiner Untersuchungen, wodurch die bei *Surirella* gewonnenen Ergebnisse nach mehreren Richtungen hin noch ergänzt und erweitert werden konnten. Das Auffinden der grossen *Pinnularia maior* und *nobilis* im Altrhein bei Roxheim liess den Wunsch entstehen, auch etwas zur Erkenntnis jener Kräfte beitragen zu können, welche bei der rätselhaften Ortsbewegung der Diatomeen wirksam sind; was hierüber von meinem Lehrer und mir ermittelt wurde, hat Professor Bütschli bereits im wesentlichen bekannt gemacht. Die hauptsächlichsten Ergebnisse meiner Untersuchungen über den inneren Bau, sowie über die Kernteilung habe ich dann in einem Vortrage zusammengefasst, der bereits im Juli 1893 im Naturhist.-Med. Verein zu Heidelberg gehalten wurde und welcher, von einer Tafel begleitet, in Form einer vorläufigen Mitteilung in den Verhandlungen des genannten Vereines zum Abdruck gelangte (81).

Es liegt keineswegs in meiner Absicht mit vorliegender Arbeit eine vergleichende Darstellung des Baues und der Kernteilung der Diatomeen überhaupt zu geben; ich habe mich vielmehr auf jene Formen beschränkt, welche mir wegen ihrer Grösse zu Studien über Plasmastruktur, Kernteilung etc. in erster Linie geeignet erschienen. Besondere Sorgfalt wurde auf die Abbildungen, sowie auf die sie

begleitenden Erklärungen verwendet und der eigentliche Text möglichst kurz gehalten. Wer wie ich genötigt war, sich durch eine so umfangreiche und so weit zerstreute Litteratur hindurchzuarbeiten und hierbei so oft Gelegenheit hatte, die ermüdende Weit-schweifigkeit mancher Autoren beim Mitteilen ihrer Beobachtungen kennen zu lernen, wird eine derartige Beschränkung jedenfalls nicht tadeln.

Wenn meine Arbeit nur etwas dazu beiträgt, dass diejenigen, welche sich Diatomeen-Forscher nennen, auch dem lebendigen Inhalt der Diatomeenzelle die nämliche liebevolle Sorgfalt und bewunderungswürdige Ausdauer zuwenden wie der Auflösung feinsten Strukturen des Kieselpanzers, so will ich damit zufrieden sein.

Am Schlusse dieser Einleitung ist es mir ein wirkliches Bedürfnis, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Bütschli, meinen innigsten und aufrichtigsten Dank auszusprechen, sowohl für das lebhafteste Interesse, das er meinen Arbeiten stets entgegenbrachte, als auch für die mannigfache Belehrung und Anregung, die mir im Verlauf der vorliegenden Untersuchungen von seiner Seite in reichlichem Masse zu Teil geworden ist.

Für Unterstützung bei Beschaffung der Litteratur bin ich auch meinem hochverehrten Lehrer der Botanik, Herrn Geh. Hofrat Prof. Dr. Pfitzer, sowie Herrn Prof. Dr. Askenasy zum Danke verpflichtet.

Dem hohen badischen Ministerium für Justiz, Kultus und Unterricht, welches die Herstellung der Tafeln meiner Arbeit durch eine Subvention von fünfhundert Mark ermöglicht hat, spreche ich an dieser Stelle meinen ehrfurchtsvollen Dank aus.

Untersuchungsmethoden.

Das den vorliegenden Untersuchungen zu Grunde liegende Material stammt fast ausschliesslich aus den Altwässern des Rheins bei Ludwigshafen und war es hier in erster Linie der Altrhein bei Neuhoften, welcher mir zu allen Jahreszeiten eine überaus reiche Ausbeute gewährte. Eine Darlegung der von mir beim Sammeln, Konservieren, Färben etc. angewandten Methoden dürfte besonders für diejenigen nicht überflüssig erscheinen, die ähnliche Studien wie ich zu machen gedenken.

Das Sammeln der Diatomeen verursachte keine Schwierigkeiten. An jenen Stellen, wo sie in geringen Tiefen (0,3–1 m) den Schlamm am Grunde mit einer braunen Decke überzogen, liessen sie sich ohne weiteres mit einem an einem Stocke befestigten Löffel abheben; bei Arten, die wie *Surirella calcarata* grössere Tiefen bewohnen, leistete ein kleines Schleppnetz beim Heraufholen des Schlammes gute Dienste. Zu Hause wurde das gesammelte Material in grosse flache Glasschalen gebracht und diese an einen hellen, dem direkten Sonnenlichte jedoch unzugänglichen Orte aufgestellt; nach etwa zwölf Stunden Ruhe konnte man darauf rechnen die Diatomeen in grossen Massen an der Oberfläche des Schlammes angesammelt zu finden. Von hier liessen sie sich leicht mit einer Pipette rein absaugen und in die Fixierungsflüssigkeit überführen¹⁾.

Als Fixierungsflüssigkeiten habe ich 45% Jodalkohol²⁾, Pikrin-Schwefelsäure mit oder ohne Zusatz von Überosmiumsäure, Sublimat in wässriger und alkoholischer Lösung, Chrom-Osmium-Essigsäure, sowie schliesslich 1% Osmiumsäure verwendet. Welcher von diesen Lösungen der Vorzug zu geben ist, hängt ganz von dem ab, was gerade mit besonderer Deutlichkeit zur Anschauung

¹⁾ Um die verschiedenen Stadien der Kern- und Zellteilung zu erhalten, ist es gut, möglichst frisch gesammeltes Material daraufhin zu untersuchen, da in älteren Kulturen die Vermehrung gewöhnlich viel weniger lebhaft vor sich geht.

²⁾ Wird dadurch hergestellt, dass man dem 45% Alkohol einige Tropfen Jodtinktur zusetzt, bis die Mischung einen gesättigt weingelben Farbenton annimmt.

gebracht werden soll. 45% Jodalkohol empfiehlt sich besonders für das Studium der Bütschli'schen „roten Körnchen“, die in ihm fixiert sich besonders intensiv mit Hämatoxylin färben. Pikrin-Schwefelsäure giebt bei nachträglicher Tinktion mit Hämatoxylin sehr deutliche Bilder der chromatischen Elemente des Kerns; Pikrin-Schwefelsäure mit einigen Tropfen 1% Osmiumsäure oder auch nur letztere allein, eignen sich vorzüglich zu Präparaten, die ungefärbt die Anordnung des Plasmas, die Chromatophoren und sonstige Einschlüsse im Innern der Diatomeenzelle zeigen sollen. Zum Studium der Kernteilung erwies sich die Flemmingsche Chrom-Osmium-Essigsäure am geeignetsten, da durch sie (ebenso wie durch Sublimat) selbst die feinsten Strukturverhältnisse des Kerns und des Plasmas ausgezeichnet konserviert wurden¹⁾.

Nur die grösseren Diatomeenarten wie *Pinnularia major* und *nobilis* sowie *Surirella calcarata* wurden unter dem Präpariermikroskop mit Hilfe eines Kapillarröhrchens einzeln aus dem Schlamme herausgefischt und auch einzeln weiter behandelt; die kleineren Formen wurden stets en masse fixiert und gefärbt, wobei sich folgendes Verfahren am besten bewährte. Von der Oberfläche des Schlammes wurde mit einer Pipette vorsichtig eine Portion Diatomeen abgehoben und dann rasch in ein kleines Reagenzröhrchen gespritzt, welches die Konservierungsflüssigkeit enthielt. Hier verweilen die Diatomeen durchschnittlich etwa zehn bis fünfzehn Minuten; sobald sie sich alle am Boden des Glases angesammelt hatten, wurde die darüberstehende Fixierungsflüssigkeit abgegossen und dann mit Wasser gut ausgewaschen. Dann wurde 35% Alkohol zugefügt und dieser nach und nach durch 70%, 95% und schliesslich durch absoluten Alkohol ersetzt, in welchem die Diatomeen so lange blieben, bis aller Farbstoff aus den Chromatophoren extrahiert und die selten fehlenden Fettkugeln vollständig gelöst waren. Durch Zusatz von einigen Tropfen Schwefeläther sowie durch mässige Wärme liess sich dieser Prozess beschleunigen. Sobald die Diatomeen dann vollständig farblos geworden waren, erfolgte ihre Überführung in 95%, hierauf in 70% und endlich in 35% Alkohol, aus dem sie wiederum in destilliertes Wasser und von diesem in die Färbungsflüssigkeit gebracht wurden.

Zur Tinktion des ruhenden Kerns sowie dessen Teilungsstadien bediente ich mich fast ausschliesslich des Delafield'schen Hämatoxylins, welches von allen versuchten Farbstoffen die schönsten und klarsten Bilder gab. Man darf es indessen nur in sehr verdünnter Lösung einwirken lassen und muss hierbei gleichzeitig den ganzen Verlauf der Färbung unter dem Mikroskop kontrollieren, damit nicht, was sehr leicht geschehen kann, eine Überfärbung eintritt. Ausser Hämatoxylin habe ich auch Alaunkarmin sowie Boraxkarmin versucht, doch war ich mit den damit erzielten Resultaten nicht sehr zufrieden. Mit Hämatoxylin färbt sich das Centrosom sowie besonders

¹⁾ Neuerdings habe ich auch mehrere Male das gegenwärtig so viel verwandte Formol zur Konservierung von Diatomeen benutzt. Kern und Plasma erschienen durch dasselbe leidlich gut fixiert, doch wird der braune Farbstoff der Chromatophoren bald ausgezogen. Grüne Flagellaten und Algen lassen sich mit Formol besser konservieren.

das Plasma nur schwach; will man diese beiden Zellbestandteile stärker hervortreten lassen, so empfiehlt es sich, ein von Henneguy (61) zuerst angegebenes Verfahren in Anwendung zu bringen, welches mir besonders beim Verfolgen der Entstehung der „Centralspindel“ gute Dienste geleistet hat. Das Wesentliche desselben besteht darin, dass die in Flemmings Gemisch fixierten Objekte vor der Färbung 10 Minuten in einer 2% Lösung von Kaliumbichromat und dann noch 5 Minuten in einer 1% Lösung von hypermangansaurem Kali gebeizt werden, worauf die eigentliche Tinktion in einer alkoholischen Safraninlösung erfolgt. Hier bleiben die Diatomeen so lange, bis sie vollständig überfärbt, d. h. im Innern gleichmässig rot erscheinen, was gewöhnlich schon nach kurzer Zeit eintritt. Das Ausziehen des überschüssigen Farbstoffes erfolgt in Nelkenöl und muss fortwährend unter dem Mikroskop kontrolliert werden, da ein zuviel oder zuwenig sehr leicht den ganzen Erfolg der Färbung in Frage stellen kann. Gelungene nach dieser Methode hergestellte Präparate von *Surirella calcarata* zeigten das Centrosom (und ebenso die Nukleolen) intensiv rot gefärbt, während das Kerngerüst sowie das Plasma viel schwächer tingiert erschienen.

Die in der oben angegebenen Weise mit Hämatoxylin gefärbten Diatomeen wurden in ihren Reagenzgläsern gut mit destilliertem Wasser ausgewaschen, dann nacheinander mit 35%, 70%, 95% und schliesslich absolutem Alkohol behandelt, in Nelkenöl aufgeheilt und in Damarlack eingeschlossen. Bei grossen Formen wie *Surirella* muss das Deckgläschen ausser durch vier „Wachsfüsschen“ noch durch zwei darunter gelegte feine Glasfäden gestützt werden, falls man Wert darauf legt die Zelle vollständig unverletzt zu erhalten.

Ich mache schliesslich noch besonders darauf aufmerksam, dass sowohl nach der Fixierung als auch nach der Färbung der Wechsel des Alkohols nur sehr allmählich erfolgen darf, widrigenfalls störende Schrumpfungen des Plasmaschlauches unausbleiblich sind.

Eine gleichzeitige Fixierung und Färbung des Zellinhaltes lässt sich mit Pfitzers (103) Gemisch von Nigrosin- und Pikrinsäure erzielen. Bezüglich des hierbei einzuschlagenden Verfahrens verweise ich auf die Originalarbeit Pfitzers oder auf die Angaben, die sich in Zimmermanns „Botanische Mikrotechnik“ und Strasburgers „Botanisches Praktikum“ finden.

Beim Studium der feineren Strukturen des Kerns von *Surirella calcarata* bin ich auch öfters in die Lage gekommen, den Kern isolieren zu müssen. Zu diesem Behufe wurde die gefärbte Diatomee in Damarlack unter einem mit Wachsfüsschen versehenen Deckglase (jedoch ohne stützende Glasfäden) aufgestellt, dann das Deckglas so lange angedrückt, bis der Kieselpanzer gesprengt wurde. Durch weiteres vorsichtiges Klopfen mit einer Präpariernadel liess sich dann bei einiger Geduld der Kern oft vollständig vom umgebenden Plasma lösen, doch blieb hierbei bei *Surirella* das Centrosom durch das von ihm zum Kern hin ausstrahlende Plasma in der Regel mit diesem in Verbindung.

Die Diatomeen vertragen im allgemeinen auch sehr gut eine Lebendfärbung mit Methylenblau, wie ich bereits in meiner vorläufigen Mitteilung (83) gezeigt habe. Der Farbstoff wird in dem Wasser gelöst, in welchem die Diatomeen kultiviert werden und zwar im Verhältnis 1 : 100000 (0,001 %); in einer solchen Lösung können die Diatomeen Tage lang leben. Bringt man sie von hier in eine stärker konzentrierte Lösung (etwa 0,01 %), so färben sich nach einiger Zeit gewisse Einschlüsse der Zelle in sehr charakteristischer Weise, wie später des näheren ausgeführt werden wird. Sobald jedoch auch der Kern anfängt Methylenblau zu speichern, so kann man ziemlich sicher sein, dass die „Lebenskraft“ der Zelle gebrochen ist, selbst wenn die Diatomee sich noch langsam fortbewegt. Eine wässrige Lösung von Methylenblau eignet sich übrigens auch sehr gut zur Sichtbarmachung des so lang bezweifelten Kerns der Cyanophyceen¹⁾, der sich in ihr bei richtiger Behandlung genau ebenso färbt wie der typische Zellkern der Diatomeen²⁾.

Natürlich darf schliesslich in keinem Falle die Beobachtung der Diatomeen im Leben unterlassen werden, denn eine ganze Reihe von Erscheinungen lassen sich überhaupt nur am lebenden Objekte verfolgen. Das Anbringen von „Wachsfüsschen“ an den vier Ecken des Deckglases ist hier unumgänglich notwendig; grosse Arten — vor allem *Surirella calcarata* mit ihren abstehenden vier flügelartigen Fortsätzen — bedürfen ausserdem noch einer Stützung durch dünne Glasfäden, da schon beim allergeringsten Druck der zarte Kieselpanzer an irgend einer Stelle zerspringt und dann der gesammte plasmatische Inhalt sich innerhalb weniger Sekunden zu einer formlosen Masse zusammenzieht.

¹⁾ Ich habe auf diese Thatsache schon 1893 aufmerksam gemacht. Unabhängig von mir hat auch Palla (98) um dieselbe Zeit die Färbbarkeit des Centrakörpers der Cyanophyceen mit Methylenblau beobachtet.

²⁾ Bei Infusorien, die einer Lebendfärbung mit Methylenblau unterworfen wurden, konnte nur eine intensive Färbung des Inhalts der Nahrungsvakuolen erzielt werden. Bei lebenden Rotatorien färbten sich besonders die Eier und Embryonen, sowie die Zellkerne der Hypodermis lebhaft. Exemplare von *Rotifer vulgaris* lebten in der Methylenblau-Lösung längere Zeit.

I. Über einige Strukturverhältnisse der verkieselten Zellmembran.

Obwohl es ursprünglich nicht in meiner Absicht lag, auch die verkieselte Zellmembran der Diatomeen in den Kreis meiner Untersuchungen zu ziehen, sah ich mich doch beim Studium der Ortsbewegung genötigt, mir auch über gewisse Strukturverhältnisse der Schale möglichste Klarheit zu verschaffen. Meine Beobachtungen erstreckten sich hierbei in erster Linie auf den Bau der sogenannten „Raphe“ und der „Riefen“ von *Pinnularia* sowie auf die Struktur der flügelartigen Fortsätze von *Surirella*; sie basieren hauptsächlich auf einer Reihe Querschnitte, die mit Hilfe des Mikrotoms durch fixierte und gefärbte Exemplare der genannten Diatomeenarten hergestellt wurden.

A. Frühere Beobachtungen über den Bau der Raphe und Riefen von *Pinnularia* sowie der Flügel von *Surirella*.

Die „Längslinie,“ „Naht“ oder „Raphe,“ welche den mittleren Teil jeder Schale von *Pinnularia* durchzieht, ist seit langer Zeit von der Mehrzahl der Forscher für einen Spalt gehalten worden, welcher den Kieselpanzer durchsetzt und so eine direkte Kommunikation des Zellinnern mit der Aussenwelt ermöglicht; auch Pfitzer hat sich dieser Anschauung angeschlossen und sie durch eine Reihe von Gründen zu stützen gesucht. (Vergl. 101, pag. 49–50.)⁴⁾ Im Gegensatz hierzu wurde 1883 von Flögel (46) auf Grund zahlreicher Schalenquerschnitte und Collodiumabdrücke derselben eine wirkliche Durchbrechung des Kieselpanzers in Abrede gestellt, da der Spalt gegen das Zellinnere durch eine zarte Membran abgeschlossen sei. Den Ausführungen Flögels

⁴⁾ Von späteren Beobachtern wurde eine durchgehende spaltenförmige Raphe noch von M. Prinz (100) beschrieben und abgebildet.

pflichtete O. Müller, welcher diesen Gegenstand zuletzt (1889) in einer gründlichen Arbeit behandelt hat (93), im wesentlichen bei, bemerkt jedoch ausdrücklich, dass er zwar den inneren Abschluss trotz sorgfältigen Suchens nicht hat wahrnehmen können, ihn aber dennoch für wahrscheinlich hält.

Die zahlreichen „Riefen“ der Pinnularia-Schalen sind bald für verdickte Stellen der Zellwand (Dippel (31)) bald für überwölbte, nach der Mittellinie der Schale offene Kanäle (Schumann (127)), oder endlich für Einsenkungen auf der Aussenfläche der Schalen gehalten worden (so von Pfitzer (101) pag. 41–44). Flögel erklärte sie für Kammern an der Innenseite der Zellwand.

Was nun schliesslich den Bau der flügelartigen Fortsätze von *Surirella* anbelangt, so hat Pfitzer (101) hier die früheren Beobachtungen Fockes (47) bestätigen können, nach welchen in ihnen entlang des Randes ein Längskanal verläuft, welcher durch zahlreiche Querkanäle mit dem Zellinnern in Verbindung steht. Während Focke jeden dieser kurzen Querkanäle am Rande durch eine Öffnung nach aussen münden liess, glaubt hingegen Pfitzer eine feine Spalte oder eine grosse Menge unmessbar feiner, in eine Linie gestellter Öffnungen längs des ganzen Flügelrandes annehmen zu müssen. Flögel hingegen konnte sich an seinen Schnitten durch *Surirella biseriata* nicht von dem Vorhandensein einer Durchbrechung überzeugen und erklärt demnach den Randkanal für eine nach aussen vollständig geschlossene Röhre und bildet ihn auf seinen Figuren auch dementsprechend ab.

B. Eigene Untersuchungen.

Raphe und Riefen von Pinnularia.

Bei meinen Untersuchungen kam es mir in erster Linie darauf an, festzustellen, ob die „Raphe“ wirklich, wie meist angenommen wird, ein offener Spalt ist, oder ob sie, wie Flögel behauptete, nach innen durch eine dünne Membran abgeschlossen ist. Ich habe zu diesem Zwecke sowohl leere Panzer als auch mit Chromosmiumessigsäure fixierte und mit Hämatoxylin gefärbte Exemplare von *Pinnularia major* in etwa 2–3 μ dicke Querschnitte zerlegt und diese bei Anwendung der besten mir zu Gebote stehenden optischen Hilfsmittel (Seibert Apoehr. 2 mm, Oc. XII) untersucht.

Betrachten wir zunächst einen solchen Schnitt aus der Gegend zwischen Mittel- und Endknoten, wie er in Fig. 1 auf Taf. I wiedergegeben ist. Hier präsentiert sich der Querschnitt der Pinnularia als ein Quadrat¹⁾ mit abgerundeten Ecken. Die Wandung der beiden Schalenseiten (*Ss*) ist verhältnismässig dick (vergl. auch Fig. 2), verschmälert sich aber gegen die beiden Gürtelseiten (*Gs*) — also da, wo beide Schalenhälften übereinander greifen — immer mehr, um schliesslich scharf wie die Schneide eines Messers

¹⁾ Bei der Teilung, wo die beiden übereinandergreifenden Schalenhälften auseinanderweichen, wird der Querschnitt hierbei natürlich in ein Rechteck mit abgerundeten Ecken übergehen.

auszulaufen. Die mittlere Partie der Schalenseiten, wo die Raphe verläuft, springt gegen die Umgebung etwas nach aussen vor und ist hier vollständig eben, während sie sich nach dem Zellinnern zu halbkugelig vorwölbt; sie besitzt einen eigentümlichen matten Glanz, wodurch sie sich ebenfalls von der übrigen Zellwand abhebt. Diesen mittleren verdickten Teil der Schalen durchsetzt die Raphe als ein in seinem Verlaufe oft winkelig gebrochener, sehr enger Spalt von aussen nach innen; eine innere abschliessende Membran habe ich an meinen Schnitten nicht mit Sicherheit wahrnehmen können. Der Querschnitt des Spaltes ist sehr verschieden gestaltet je nach der Region, aus welcher der Schnitt stammt. Bald verläuft er einfach in schiefer Richtung, wie z. B. in Fig. 6, bald erfährt er in seinem Verlaufe eine einfache (Fig. 1, 4, 5, 7 Taf. I.) oder auch doppelte Knickung (Fig. 2, 3). In einigen Fällen schien freilich der Spalt innen geschlossen, so z. B. auf Fig. 7, wo sich die beiden Begrenzungsflächen des Spaltes sehr eng an einander gelegt haben; sie konnten indessen als dunkle Linien bis unmittelbar an den Rand der halbkugeligen Vorwölbung verfolgt werden.

Sämtliche in Fig. 1-7 Taf. I wiedergegebenen Querschnitte der Raphe von *Pinnularia* harmonieren sehr gut mit den Bildern, welche man beim Betrachten der Raphe von der Fläche erhält, und die von O. Müller in seiner bereits genannten Arbeit (93) eingehend analysiert worden sind. Ein Blick auf die Schale einer *Pinnularia* lässt erkennen, dass die Raphe sich keineswegs in einer geraden Linie von den beiden Endknoten zu dem Centralknoten hin erstreckt, sondern dass ihr Verlauf mehrfach wellenförmig gebogen ist. Aus Fig. 142 Taf. X¹⁾ lässt sich ersehen, dass sie zunächst die Endknoten umzieht, dann bogenförmig nach links sich wendet, hierauf wiederum in einem grossen flachen Bogen nach rechts ausbiegt, um dann in einer Kurve zum Centralknoten hinzuziehen, den sie als ein enger in die Tiefe dringender Kanal durchsetzt. So ist das Bild bei Einstellung auf der Oberfläche der Schale; senkt man dagegen den Tubus nur um ein geringes, so erscheinen neben der wellenförmig gebogenen Linie auch noch gerade, die wie Sehnen die verschiedenen Bögen abschneiden (vergl. Fig. 142), ja stellenweise zeigt sich neben Bogen und Sehne bei wechselnder Einstellung noch eine dritte und vierte Linie. Die Deutung dieser Bilder ist bei einer Kombination der Flächenansichten mit den entsprechenden Querschnitten nicht allzuschwer. Wenn der Spalt die Membran einfach in schiefer Richtung durchsetzt, wie in Fig. 6 Taf. I, so muss das entsprechende Flächenbild zwei Linien zeigen, eine bei hoher Einstellung, welche die äussere Öffnung des Spaltes darstellt und eine zweite bei etwas tieferer Einstellung, die der Öffnung nach dem Zellinnern zu entspricht.

Durchsetzt der Spalt die Zellmembran jedoch in winkelig gebrochenem Verlaufe, indem von der einen (linken oder rechten) Hälfte der Schale lamellenartige Blätter oder Schneiden in entsprechende Falze der anderen Hälfte eingreifen (Fig. 1, 3, 4, 5 Taf. I), so müssen bei Ansicht von der Fläche die Ränder der in verschiedenen Ebenen liegenden Lamellen und Falze als ebensoviele Linien bei wechselnder Einstellung zum Vorschein kommen.

1) Vergl. auch Müller (93), Taf. VII, Fig. 1.

In jenen Fällen, wo der Querschnitt des Spaltes einen winkelig gebrochenen Verlauf hat (z. B. in Fig. 3, 4, 5) hält O. Müller (93 pag. 170) es für wohl möglich, „dass das Mittelblatt die Mittelebene des Spaltes während des Lebens verschliesst; in diesem Falle verblieben zwei Kanäle, deren einer längs der Aussenfläche, der andere längs der Innenfläche der Schalenmembran verläuft“. Ich muss gestehen, dass ich von einem solchen mittleren Verschluss des Spaltes nichts habe wahrnehmen können; ich halte einen solchen auch für unwahrscheinlich. Da indessen Müller bei seiner Theorie der Diatomeenbewegung mit der Annahme eines äusseren und inneren Kanals operiert, so werde ich später noch einmal auf diesen Gegenstand zurückkommen.

Wenden wir uns nun zu den sogen. „Riefen“ der Pinnularia-Schalen, so ergibt sich aus meinen Schnitten (Fig. 1 Taf. I) ohne weiteres, dass dieselben, wie Flögel schon früher behauptet hatte, wirklich Kammern im Innern der Schale sind, welche durch eine ziemlich weite Öffnung mit dem Binnenraum der Zelle kommunizieren. Die laterale und mediane Kante der Öffnungen sind auch bei Flächenansichten recht deutlich als zwei gebogene Linien sichtbar und darum auch schon seit langem dementsprechend gezeichnet worden; bei der früher fast allgemein herrschenden Ansicht, dass die „Riefen“, wie ihr Namen besagt, grubenförmige Einsenkungen auf der Aussenfläche seien, erklärte man die beiden Linien jedoch für winkelige Absätze in der Böschung dieser beiden Einsenkungen. (Pfitzer).

Der Umstand, dass die Kammern im Leben mit Protoplasma ausgekleidet sind, wie an meinen Schnitten gut sichtbar ist, und dass ihre grösste Ausdehnung auf die Schalseiten der Diatomee fällt, hat mir eine Vermutung über ihre Bedeutung aufgedrängt, die, wenn auch bis jetzt noch ganz hypothetisch, hier wenigstens nicht unerwähnt gelassen werden soll. Durch die Untersuchungen von O. Müller (93) wissen wir, dass das Protoplasma von Pinnularia unter einem sehr hohen Turgordruck (4–5 Atmosphären!) steht, der sich nach allen Richtungen hin mit gleicher Intensität äussern wird. Der Druck nun, den das Plasma in der Richtung der beiden Gürtelseiten (*G s* der Fig. 1, Taf. I) ausübt, wird wohl zur Folge haben, dass die beiden schachtelartig übereinander greifenden Gürtelbänder nur noch fester aneinander gepresst werden, wodurch deren Reibungswiderstand jedenfalls vergrössert wird. Der Druck hingegen, der in der Richtung der beiden Schalseiten (*S s* d. Fig. 1, Taf. I) wirksam ist, müsste doch eigentlich die beiden Schalenhälften auseinander treiben, falls ihm nicht der Reibungswiderstand der übereinandergreifenden Gürtelbänder das Gleichgewicht hielte. Nun finden wir aber gerade an der Innenseite der Schalen eine grosse Anzahl hinter einander angeordneter querer Kammern, in welche das Plasma durch eine Öffnung eintritt, um sich dann in einem erweiterten Hohlraum auszubreiten, dessen Durchmesser etwa doppelt so lang ist als derjenige der Öffnung; könnten nun diese die Kammern erfüllenden abgeschnürten Partien des Plasmaschlauches nicht als ebenso viele Klammern wirken, die dem auf ein Auseinandertreiben der beiden Schalenhälften gerichteten Turgordruck einen starken Widerstand entgegensetzen und so den Reibungswiderstand der Gürtelbänder unterstützen?

Die in vorstehendem skizzierte Hypothese würde vielleicht an Wahrscheinlichkeit gewinnen, wenn nachgewiesen werden könnte, dass bei der Teilung der *Pinnularia*-Zelle, wo ja die beiden Schalenhälften entlang der Gürtelbänder auseinander weichen, das Plasma sich aus den Kammern zurückzieht, was ich übrigens für gar nicht unwahrscheinlich halte. Es soll aber hierbei nicht unerwähnt bleiben, dass mein verehrter Lehrer der Botanik, Herr Geh. Hofrat Pfitzer, meine Annahme für nicht sehr wahrscheinlich hält, sondern vielmehr glaubt, dass die Kammern mit ihren im Verhältnis zur übrigen Zellmembran sehr dünnen Aussenwandungen in erster Linie wohl die osmotischen Vorgänge erleichtern. Nun, ich glaube, dass beide Funktionen sich in keiner Weise gegenseitig ausschliessen.

Bau der Zellwand von *Surirella calcarata* Pfitzer.

Da *Surirella calcarata* das Hauptobjekt meiner Untersuchungen bildete, so ist es wohl am Platze, eine kurze Orientierung über Gestalt und Bau des Kieselpanzers vorzuschicken, wobei ich Pfitzers frühere Schilderung (101 pag. 108–111) sowie meine eigenen Beobachtungen zu Grunde lege.

Surirella calcarata gehört jedenfalls zu den schönsten und grössten Diatomeen des Süsswassers überhaupt; Exemplare, welche eine Länge von 0,3 mm und (auf den Gürtelseiten) eine Breite von 0,2 mm erreichen, sind keine Seltenheit und können darum auch unter günstigen Bedingungen (z. B. auf einem durchsichtigen Untergrunde) mit freiem Auge ganz gut wahrgenommen werden. Unter dem Mikroskope präsentiert sich *Surirella* in zwei ganz verschiedenen Ansichten, je nachdem sie uns ihre Gürtelseite oder ihre Schalseite zuwendet. Im ersteren Falle (Taf. II Fig. 19) erscheint sie in Gestalt eines mehr oder weniger breiten Keils, im andern Falle ist ihr Umriss ungefähr lanzettförmig. Die seitlichen Ränder in ihrer ganzen Ausdehnung umsäumen abstehende flügelartige Fortsätze, welche durch eine wellenförmige Linie von der eigentlichen Zelle getrennt erscheinen; ihr Bau soll unten geschildert werden. Auf den lanzettförmigen Schalen sehen wir entlang der Mittellinie eine scharf gratförmig hervortretende Linie verlaufen, welche in einiger Entfernung vom Vorderrande (bei der in meinen Figuren gewählten Orientierung der Zelle) in Gestalt einer dreieckigen Erhebung vorspringt, der ein spitzer, nach vorn gerichteter Sporn aufsitzt; gegen das Hinterende zu endet der Grat in ähnlicher Weise, doch ist hier der nach hinten gerichtete Sporn kleiner als der vordere¹⁾. Von den Flügeln bis zu diesem mittleren Grate ziehen auf beiden Schalen zahlreiche sog. „Rippen“, welche dadurch zustande kommen, dass hier die Zellwand auch noch in der Längsrichtung der Diatomee wellenförmig gefaltet ist; jede Rippe entspricht einem Wellenberg.

¹⁾ Pfitzer (101) gibt sowohl in seiner Abbildung als auch in seiner Beschreibung nur einen und zwar den vorderen Sporn an, doch glaube ich trotzdem die von ihm untersuchte Form mit der meinigen identifizieren zu dürfen. Es ist übrigens nicht ausgeschlossen, dass, wie schon Pfitzer bemerkt, der sehr bezeichnende Name *S. calcarata* nach den Gesetzen der Nomenklatur dem etwas älteren *S. Capronii* Kitton zu weichen hat. Eine sichere Entscheidung dieser Frage muss indessen denjenigen Diatomeenforschern überlassen bleiben, welche archäologische Studien über die Namen ihrer Lieblinge machen.

Vergleicht man mit diesen Flächenansichten das Bild eines Querschnittes durch *Surirella*, wie ein solcher nach mehreren Schnitten auf Fig. 8 Taf. I wiedergegeben ist, so dürfte sich ein Verständnis der nicht ganz einfachen räumlichen Verhältnisse der *Surirella*-Zelle ohne Schwierigkeiten erreichen lassen. Im Querschnitt präsentiert sich *Surirella* annähernd als ein Rechteck, dessen verlängerte Diagonalen die flügelartigen Fortsätze einnehmen. Die beiden Gürtelseiten (*G s*) sind in ihrer grössten Ausdehnung vollständig eben, während auf den Schalenseiten (*S s*) die Zellwand zu beiden Seiten des mittleren Grates stark konkav gewölbt ist. Die wellenförmige Biegung der Schalen in ihrer Längsrichtung wird natürlich auch auf dem Querschnitt zum Ausdruck kommen müssen: sie zeigt sich daran, dass die beiden vom mittleren Grate zu den Flügeln ziehenden konkaven Linien bald schwächer, bald stärker gekrümmt erscheinen, je nachdem der Schnitt gerade einen Wellenberg, also eine „Rippe“, oder ein Wellenthal, d. h. einen zwischen zwei Rippen befindlichen Zwischenraum, getroffen hat.

Jeder der vier Flügel bietet, von der Fläche gesehen, das Bild dar, welches ich auf Fig. 9 Taf. I wiederzugeben versucht habe. Entlang des Randes in seiner ganzen Ausdehnung verläuft ein ziemlich enger Kanal, den wir als „Flügelrandkanal“ oder als „Flügel längskanal“ (*l k*) bezeichnen wollen. Die Verbindung zwischen ihm und dem Zellinnern stellen zahlreiche (im Durchschnitt etwa 25) kurze „Querkanäle“ (*q k*) her, die gegen die Zelle zu als ziemlich weite Röhren mit rundem Querschnitt beginnen, gegen den Randkanal zu sich jedoch immer mehr verschmälern, wobei ihr Querschnitt mehr elliptisch wird. (Vergl. Fig. 10, 11 Taf. I.) Die Querkanäle sind von einander durch Uförmige „Zwischenstücke“ (*z w*) getrennt, die dadurch zustande kommen, dass bei der Faltung der Zellwand, die den Flügel bildete, sich hier die beiden Wandungen derselben eng aneinander legten, während sie an anderen Stellen getrennt blieben und so den Kanälen ihren Ursprung gaben. Somit ist jedes dieser fensterförmigen Zwischenstücke nischenförmig zwischen zwei vorspringende Querkanäle und ein entsprechendes Stück des Längskanals eingesenkt; auf den Schalenseiten entsprechen ihnen die zwischen je zwei Rippen befindlichen Vertiefungen, also die „Wellenthäler“.

Nach Flögels Beschreibung wäre der Flügelrandkanal eine nach aussen vollständig geschlossene Röhre, welche nur mit dem Innern der Zelle durch die zahlreichen Querkanäle in Verbindung steht. Diese Angaben entsprechen aber nicht ganz den tatsächlichen Verhältnissen, denn aus meinen Schnitten geht hervor, dass der ganze Flügel längskanal an seinem äusseren Rande von einem sehr engen Spalt durchbrochen ist, dem nach aussen noch eine sehr niedere, ebenfalls offene Rinne aufsitzt. (Vergl. Fig. 10 Taf. I.) Dadurch wäre also eine direkte Kommunikation des Zellinnern mit der Aussenwelt möglich. Spalt und Rinne sind am besten an Querschnitten der Flügel sichtbar und zeigen sie sich an diesen so, wie es in Fig. 8 und noch stärker vergrössert in Fig. 10 Taf. I abgebildet ist. Vom Zellinnern ausgehend, sieht man hier von den Flügeln entweder den Längsschnitt eines Querkanals (*q k*) oder an dessen Stelle einen Durchschnitt durch die dünne Membran eines Uförmigen „Verbindungsstücks“; nach aussen ist überall der kreisförmige Querschnitt des Längs-

kanales (*lk*) sichtbar, an dessen freiem Rande der äussert enge Spalt und die aufsitzende Rinne mit starken Vergrösserungen wahrgenommen werden können. Die Rinne ist übrigens, worauf ich schon 1893 in meiner vorläufigen Mitteilung aufmerksam gemacht habe, auch bei Flächenansicht des Diatomeenpanzers sichtbar, wenn derselbe nur so orientiert ist, dass der Blick des Beschauers senkrecht auf einen der vier Flügel, parallel der Richtung der Querkänäle, fällt¹⁾; bei genauer Einstellung auf den Flügelrand erscheinen dann die beiden Wände der Rinne als zwei zarte einander genäherte parallele Linien, welche über den ganzen Flügel hin zu verfolgen sind (Fig. 11 Taf. I).

Für eine Durchbrechung der Zellwand an der eben geschilderten Stelle spricht aber noch ein anderer Umstand, der von Flügel unberücksichtigt gelassen worden ist. An lebenden Surirellen lässt sich nämlich leicht beobachten, dass entlang der Flügelränder anhaftende Fremdkörper, z. B. Tuschekörner und Sandkörnchen, kleine Diatomeen etc. in ähnlicher Weise lebhaft hin und hergeschoben werden, wie längs der Raphe von *Pinnularia*, *Navicula* etc. Wäre nun hier, wie Flügel annimmt, die Zellwand vollständig geschlossen, so bliebe eine derartige Bewegung für mich wenigstens vollkommen unerklärlich. —

Bevor ich den Abschnitt über Schalenstruktur verlasse, möchte ich beiläufig noch einen Fall von Symbiose, oder richtiger gesagt, Raumparasitismus erwähnen, der mir bei meinen Untersuchungen von *Surirella* oft vor Augen kam. Von den zahlreichen Exemplaren dieser Diatomee, welche ich im Laufe dreier Sommer aus der Tiefe des Altrheins bei Neuhofen heraufzog, erwies sich die Mehrzahl auf ihrer Aussenseite von einer kleinen Alge aus der Gruppe der Cyanophyceen (*Chroococcus* spec?) bewohnt. Die kleinen, blaugrünen, kugligen Zellen derselben sassen hierbei immer an einer ganz bestimmten Stelle, nämlich in den nischenförmig eingesenkten Verbindungsstücken der Flügel und zwar gewöhnlich in jeder Nische nur eine einzige Alge (vergl. Fig. 9 Taf. I). Ich habe mehr als einmal Exemplare von *Surirella* gesehen, wo sämtliche Uförmigen Verbindungsstücke der Flügel diesen kleinen Einmieter beherbergten. Der Vorteil dieses Zusammenlebens dürfte wohl ausschliesslich auf seiten des *Chroococcus* liegen und vielleicht darin bestehen, dass die der Diatomee aufsitzenden Individuen in dem sehr feinen, leicht beweglichen Schlamm unserer Altwasser der Gefahr einer Assimilationsstörung infolge Verschüttetwerdens (durch Bewegungen der Fische, durch kriechende Muscheln etc.) weniger lange ausgesetzt sind als die lose im Schlamm vegetierenden, da die mit Eigenbewegung ausgestattete Diatomee sich immer bald wieder an das Licht, d. h. die Oberfläche des Schlammes emporarbeitet. Auch Würmer aus den Gastrotrichengattungen *Chaetonotus* und *Ichthydium* kleben mit besonderer Vorliebe ihre Eier an die Oberfläche der grossen Surirellen an.

¹⁾ Man verschafft sich diese Ansichten am leichtesten, wenn man einen in Damarlack eingeschlossenen Panzer der *Surirella* durch Klopfen auf das Deckglas zertrümmert und dann letzteres so lange hin und her rückt, bis ein Bruchstück der Flügel genau senkrecht zum Objektträger steht, was sich bei einiger Geduld unschwer erreichen lässt.

II. Das Protoplasma und seine Einschlüsse.

Wie bereits in der Einleitung hervorgehoben worden ist, basiert unsere bisherige Kenntnis vom innern Bau der Diatomeen in erster Linie auf Pfitzers Untersuchungen, die jedenfalls noch für lange Zeit die Hauptquelle für diesen Gegenstand bilden werden. Seit dem Erscheinen des Pfitzerschen Werkes ist nun bereits ein Vierteljahrhundert dahingeflossen und während dieses Zeitraumes hat unser Wissen von Bau und Leben der Zelle eine ganz ungeahnte Erweiterung und Vertiefung erfahren. Dasjenige, was gegenwärtig auf dem Gebiete der Zellforschung im Vordergrund des Interesses steht — Struktur des Protoplasmas, Bau des ruhenden Kerns und dann vor allem dessen so komplizierte Teilungsvorgänge — ist bei den Diatomeen bisher noch kaum zum Gegenstand spezieller Studien gemacht worden und musste darum auch in erster Linie eine Untersuchung herausfordern.

Was die Anordnung des Plasmas im Innern der Zelle anbelangt, so habe ich meist Pfitzers Angaben bestätigen können; da, wo ich vielleicht mehr gesehen habe als er, verdanke ich es in erster Linie den verbesserten optischen Hilfsmitteln. Von den Einschlüssen des Plasmas der Diatomeen habe ich besonders die Verbreitung der von Bütschli hier zuerst nachgewiesenen sog. „roten Körnchen“ bei einer Reihe von Arten näher verfolgt und dabei feststellen können, dass vieles, was man früher einfach als Fett ansprach, in diese Kategorie gehört. Die Chromatophoren, deren wechselnde Anordnung sowie passive Wanderung bei der Zellteilung Pfitzer besonders eingehend geschildert hat, habe ich nur beiläufig berücksichtigt und mein Augenmerk hauptsächlich auf den wichtigsten, das ganze Leben der Zelle beherrschenden Bestandteil der Zelle, den Kern und seine Teilungsvorgänge gerichtet.

A. Anordnung und Struktur des Protoplasmas.

Das Innere der Diatomeenzelle ist allseitig ausgekleidet von einem sehr dünnen, oft nur durch Plasmo-lyse deutlicher hervortretenden Plasmaschlauch, welcher der

verkieselten Membran dicht anliegt und sich in die mit dem Innern der Zelle in unmittelbarer Verbindung stehenden Hohlräume der Zellhaut (Kammern bei *Pinnularia*, Flügelkanäle bei *Surirella* etc.) hincinerstreckt; er umschliesst stets eine mehr oder weniger grosse Vakuole, welche mit dem Zellsaft erfüllt ist.

Nur bei ganz wenigen Formen, wie z. B. bei *Melosira*, repräsentiert dieser Schlauch die Gesamtmasse des Protoplasmas; in diesem Falle ist auch der Zellkern in eine einfache Verdickung dieses Wandbelags eingelagert. Bei der überwiegenden Mehrzahl findet sich daneben stets noch eine grössere, meist central gelegene Plasmaansammlung, die den Kern in sich birgt und zu welcher bei den in die Länge gestreckten Formen gewöhnlich noch Plasmaanhäufungen an beiden Enden hinzukommen. Die Anordnung des Plasmas im Innern der Zelle, sowie auch die Verteilung gewisser später zu besprechender Einschlüsse desselben, zeigt bei den näher untersuchten Arten mannigfachen Wechsel.

Relativ einfache Verhältnisse in der Anordnung des Plasmas zeigt die auf Taf. II Fig. 21 abgebildete *Cyclotella comta* Kütz. var. *radiosa*, die einzige Vertreterin der *Coccochromaticae* Pfitzers, welche ich etwas eingehender betrachtete. Bei dieser Art findet sich ausser dem dünnen, zahlreiche scheibenförmige Chromatophoren enthaltenden plasmatischen Wandbelag in der Mitte der Zelle eine Plasmamasse mit Kern, welche sich von einer Schale zur andern erstreckt; vor der Oberfläche derselben strahlen nach der Peripherie der Zelle zahlreiche fadenartige Plasmazüge in radiärer Richtung aus.

Leicht zu überblicken ist der Bau des weichen Zelleibes auch bei den Gattungen *Navicula* (Taf. II Fig. 15, 16), *Pinnularia* (Taf. II Fig. 18) und *Pleurosigma*. Bei diesen Formen spannt sich in der Mitte der längsgestreckten Zelle eine quere Plasma-Brücke aus, welche sowohl auf den Schalen als auf den Gürtelseiten die Zellwand berührt, wodurch die bei *Melosira* z. B. noch einheitliche grosse Zellsaftvakuole in zwei Vakuolen zerlegt wird, zwischen denen eine direkte Kommunikation nicht mehr stattfinden kann. Da, wo die Plasmamasse unmittelbar an die Flüssigkeit der beiden Zellsafthöhlen angrenzt, ist ihre Oberfläche stets mehr oder weniger tief ausgehöhlt und ihre Begrenzungsflächen erscheinen infolge dessen auf dem optischen Durchschnitt als geschwungene Linien¹⁾. Neben dieser centralen, stets den Kern umschliessenden Plasmamasse werden bei den genannten Formen auch die Enden der Zelle von schwächeren Plasmamassen erfüllt, welche die beiden Zellsafträume kalottenförmig überwölben und sich nach und nach verschmälernd eine Strecke weit gegen die Mitte der Zelle hin ziehen. (Vergl. z. B. Fig. 15, 16 Taf. II.)

Ein von dem eben geschilderten etwas abweichendes Verhalten bietet *Stauroneis* (*Pleurostaurum*) *acuta* Smith dar. Bei dieser Art, welche man gewöhnlich zu

1) Bei *Navicula cuspidata* (Taf. II, Fig. 6) sind die beiderseitigen Begrenzungslinien der Plasmamasse in der Regel nur sehr wenig gekrümmt, fast parallel.

Ketten von zwei bis acht Individuen vereinigt von der Gürtelseite zu Gesicht bekommt, ist nämlich die centrale Plasmamasse meist gegen die angrenzenden beiden Zellsafräume vorgewölbt. Dieselbe wiederholt hier die Konturen des Kerns, der bei Betrachtung der *Stauroneis acuta* von der Gürtelseite im optischen Durchschnitt die Gestalt einer bikonvexen Linse besitzt (Fig. 14 auf Taf. II). Bei der Zellteilung nimmt übrigens die mittlere Plasmamasse ebenfalls beiderseits ausgeschweifte Umrisse an.

Eine wesentlich andere Anordnung des Plasmas fand ich bei *Cymbella cuspidata* Kütz. und verwandten Formen. Bei dieser schönen Art liegt nämlich die Hauptmasse des sich zwischen beiden Schalen ausspannenden Plasmas samt dem nierenförmigen Kern einseitig der einen Gürtelseite an und zwar der weniger stark gewölbten (Fig. 17 auf Taf. II). Von hier aus springt sie gegen das Innere der Zelle vor, ohne jedoch die gegenüberliegende stark gewölbte Gürtelseite vollständig zu erreichen; sie umhüllt aber noch teilweise das hier eingebuchtete Chromatophor mit seinem Pyrenoid. Von der Oberfläche dieser Plasmamasse erheben sich lappenförmige Fortsätze, welche den Ausgangspunkt für zahlreiche, den Zellsaft nach den verschiedensten Richtungen hin durchsetzende Plasmastränge und -fäden bilden. Die letzteren verzweigen sich bald da, bald dort, und bilden an verschiedenen Stellen unter leichten Anschwellungen Anastomosen unter einander; gewöhnlich ist der Strang, welcher entlang der Raphe der Schalen verläuft, stärker entwickelt und lässt an seiner Oberfläche zahlreiche kleine Körnchen erkennen, die übrigens auch den anderen schwächeren Strängen nicht fehlen. An den beiden Enden der Zelle findet sich je eine Vakuole mit einer darin suspendierten mattglänzenden Kugel und ausserhalb derselben körniges Plasma, welches ich öfters in „wimmelnder“ Bewegung sah.

Wie aus der Figur hervorgeht, würde bei der vorliegenden Art eine Ebene, die durch den Mittelpunkt des grossen kugeligen, in der Einbuchtung des Chromatophors gelegenen Pyrenoides ginge und den Kern halbierte, jede Schale in zwei annähernd¹⁾ symmetrische Hälften teilen. (Vergl. den späteren Abschnitt über den Kern.)

Wieder andere Verhältnisse bietet *Surirella calcarata* und im wesentlichen damit übereinstimmend *Surirella splendida* und *S. biseriata* dar. Hier spannt sich in der Mitte der Zelle von Schale zu Schale ein querer brückenförmiger Plasmastrang aus, ohne aber, wie bei *Pinnularia*, *Navicula*, *Pleurosigma* etc. die Gürtelseiten zu erreichen (Taf. IX Fig. 20). Auf jeder Schale setzt sich dieser Plasmastrang mit breiter, fast die ganze Ausdehnung der Schale einnehmender Basis an, jedoch nicht mit seiner ganzen Fläche, sondern nur durch eine Anzahl wurzelartiger Ausläufer. Auf diese Weise lässt er zwischen sich und der Zellwand an mehreren Stellen kegel- oder zeltförmige Hohlräume frei, die mit Zellsaft erfüllt sind. Von der Gürtelseite gesehen präsentiert sich diese Plasmamasse der *Surirella calcarata* in einer ungefähr X oder II-förmigen Gestalt, indem von einer mittleren, den Kern umschliessenden

¹⁾ Ich sage annähernd, weil die unregelmässige Anordnung des plasmatischen Netzwerkes eine vollständige Symmetrie ausschliesst.

Plasmabrücke nach vorn und hinten beiderseits bogenförmige, stark fibrillär gestreifte Plasmastränge ausstrahlen, welche sich manchmal gegen die Peripherie nochmals teilen und schwache fadenartige Züge durch den Zellsaft entsenden. Auch in die Kanäle der Flügel dringt bei *Surirella* das Plasma ein und umhüllt hier mantelförmig die Zipfel der Chromatophoren, welche sich weit in die Querkanäle hineinerstrecken.

Eine Strömung des Protoplasmas, wie sie in pflanzlichen Zellen öfters zu beobachten ist, habe ich an den von mir untersuchten Diatomeen nie wahrnehmen können. Die später näher zu schildernde lebhafte Bewegung zahlreicher kleiner Körnchen im Innern der *Surirella calcarata* vollzieht sich stets an der Oberfläche der Plasmamasse und der von ihr ausgehenden Züge, ohne dass aber an letzteren selbst Strömungserscheinungen zu beobachten sind. Wenn sich dagegen *Surirella* zur Teilung anschickt und das Cytoplasma sich hierbei strahlig gegen das Centrosom hin anordnet, werden von der mittleren Plasmamasse aus nach und nach zahlreiche, oft verästelte Plasmastränge gegen das breite Vorderende hin entwickelt, worauf das gesamte Plasma mit Kern und Centrosom dorthin abfließt. Nachdem dann hier die Kern- und Zellteilung vor sich gegangen ist, wandert die Plasmamasse in jeder der beiden Tochterzellen wieder denselben Weg zurück nach der Mitte und ordnet sich hier in der Weise an, wie es für die ruhende Zelle oben geschildert wurde.

Struktur des Protoplasmas.

Bütschli hat bereits in einer früheren Arbeit (22) darauf aufmerksam gemacht, dass *Surirella* ein schönes Objekt zur Untersuchung der Plasmastruktur im lebenden Zustand ist; dasselbe gilt nach meinen Beobachtungen auch für eine Reihe anderer Arten, die zu untersuchen ich Gelegenheit hatte. Bei schwachen Vergrößerungen erscheint das Plasma der Diatomeen einfach feinkörnig, wie es von den früheren Beobachtern angegeben worden ist. Nimmt man jedoch starke Systeme zu Hilfe, so lässt das Plasma an günstigen Stellen — d. h. besonders da, wo die Plasmaschicht recht dünn und möglichst frei von eingelagerten Körnchen ist — oft sehr deutlich die netzigwabige Struktur erkennen, die Bütschli (24) als Elementarstruktur des Plasmas überhaupt auffasst. In den meisten Fällen tritt diese Struktur auch schon im Leben klar hervor und möchte ich in folgendem einige solcher Fälle besonders schildern.

Pinnularia oblonga Sm., eine in unsern Gewässern recht häufig vorkommende Form, besitzt wie die übrigen Arten ihrer Gattung neben einer ansehnlichen, den Kern umschliessenden centralen Plasmamasse auch noch kleinere an beiden Enden der Zelle. Diese letzteren sind es nun, welche die netzigwabige Struktur im Leben besonders deutlich zeigen, deutlicher noch als die in allen ihren Dimensionen grössere *Pinnularia maior* und *Pinnularia nobilis*. Das Plasma erfüllt hier den Raum zwischen der Zellmembran und den Enden der Chromatophoren in einer mehr oder weniger dicken Schicht, welche sich auf den Schalenseiten etwas weiter gegen die Mitte der Zelle hin ausbreitet als auf den Gürtelseiten. Bei starken Vergrößerungen

erscheint es in seiner ganzen Ausdehnung sehr zart und gleichmässig netzig strukturiert, da die Waben, welche in ihrer Gesamtmasse auf den optischen Durchschnitt gesehen das Bild des Netzwerkes darbieten, alle von annähernd gleicher Grösse sind. Da, wo das Plasma an den Kieselpanzer und an den Zellsaft angrenzt, ordnen sich die Waben beiderseits zu einem deutlichen Alveolarsaum an, wobei sich erkennen liess, dass in dem das Plasma gegen die Zellmembran abschliessenden Alveolarsaum auf der Gürtelseite im Durchschnitt etwa 15–20 nebeneinanderliegende Waben den Raum zwischen beiden Endknoten erfüllen. (Vergl. Taf. VI. Fig. 97.)

Auch bei *Surirella* tritt die wabige Beschaffenheit des Plasmas öfters deutlich zu Tag. Wenn beim Beginn der Kernteilung die prächtigen plasmatischen Strahlungen sich um das Centrosom ausbilden, sieht man von letzterem als Mittelpunkt zahlreiche, dicht aneinander gedrängte feine Fibrillen ausgehen, welche durch die verschiedenen Plasmastränge bis in die entferntesten Regionen der Zelle zu verfolgen sind. Eine eingehendere Betrachtung lässt jedoch, wie Bütschli (24) bereits hervorgehoben, zwischen den benachbarten Fibrillen in ziemlich regelmässigen Abständen feine Querfädchen erkennen, woraus hervorgeht, dass die Fibrillen keineswegs nur einfache Fäden sind, als welche sie bei schwachen Vergrösserungen erscheinen, sondern die Wandungen radial vom Centrosom ausstrahlender Wabenreihen. Dass gerade die radialen Wandungen dieser Waben sehr deutlich in Erscheinung treten, liegt jedenfalls daran, dass sie auf weite Strecken hin linienartig an einander gereiht sind und infolgedessen vor unserem Auge viel leichter wahrgenommen werden als die kurzen Linien dazwischen¹⁾.

Ein fibrillär-wabiger Bau findet sich übrigens auch stets an gewissen Partien des Protoplasmas ruhender Exemplare von *Surirella calcarata*, so in den verschiedenen von der mittleren Plasmamasse gegen die Peripherie der Zelle hinziehenden Strängen, die sehr schön längsgestreift erscheinen, sowie am Plasma, welches die zahlreichen Querkanäle der vier Flügel erfüllt (vergl. Taf. I, Fig. 9). In diese Kanäle hinein erstrecken sich lappige Fortsätze der Chromatophoren, welche allseitig von einem Mantel vom Plasma umhüllt sind. Über dem Ende der Chromatophoren gegen den Flügelrand hin schliesst sich dieser Plasmamantel zu einem soliden Strang zusammen, welcher in den allermeisten Fällen ungeteilt zum Flügellängskanal hin verläuft, und nur selten, wenn das Chromatophor des Kanals an seinem distalen Ende sich in zwei Lappen spaltet, sich ebenfalls in zwei Zweige gabelt. Dieser Plasmastrang zeigt sich schon im Leben sehr deutlich fibrillär längsgestreift, doch lassen sich auch hier ohne besondere Schwierigkeiten zwischen den Fibrillen die zärteren Querverbindungen erkennen. In jedem Querkanal liegen etwa fünf bis sechs solche Längsreihen von Waben neben einander. Im Gegensatz hierzu erscheint das Innere des am Rande des Flügels verlaufenden Kanales, im Leben fast vollständig homogen und nur zuweilen liess sich in ihm eine parallel dem Rande in der Mitte verlaufende Linie erkennen. (Vergl. hierüber den Abschnitt über Bewegung.)

¹⁾ Vergl. hierüber Bütschli (24) pag. 115–116 und besonders dessen Taf. VI, Fig. 7.

Neben dieser wabigen Struktur des Protoplasmas fand ich bei verschiedenen Diatomeen ausserdem aber auch noch eine deutlich fädige Differenzierung desselben, welche in typischer Entwicklung jedoch nur bei den grössten Formen — *Surirella calcarata*, *Surirella splendida*, *Surirella biseriata*, sowie *Pinnularia viridis*, *Pinnularia maior* und *Pinnularia nobilis* — zur Beobachtung gelangte. Schon vor Pfitzer (101, pag. 30–31) wurden im centralen Plasma von *Pinnularia viridis* zahlreiche cylindrische Fäden in Gestalt kurzer Linien wahrgenommen, die fast ausnahmslos zu zweien in parallelem Verlaufe das Plasma nach verschiedenen Richtungen hin durchsetzen. Dieselben sind meist schwach gebogen, nur selten gerade, und erscheinen oft in mehr oder weniger gewundenen Längsreihen bandförmig hinter einander angeordnet, in welchem Falle die aufeinanderfolgenden Doppelfäden gewöhnlich durch schwächer hervortretende Verbindungslinien mit einander verknüpft sind (Fig. 18, Taf. II). Ich glaube nun festgestellt zu haben, dass diese Linienpaare im centralen Plasma von *Pinnularia viridis*, *Pinnularia maior* und *Pinnularia nobilis* in Verbindung stehen mit einem Geflecht feiner Plasmafäden, welches sich bei den genannten Arten ausserhalb der Chromatophoren, also zwischen diesen und der Zellenmembran ausspannt. Betrachtet man nämlich eine *Pinnularia* bei Anwendung starker Systeme, so sieht man über den Chromatophoren in deren ganzen Ausdehnung zahlreiche feine Fäden verlaufen, die bei hoher Einstellung hell und glänzend, bei tiefer dagegen dunkler erscheinen. Diese Fäden erstrecken sich in gewundenem und geschlängeltem Verlaufe von den Enden der Zelle bis zur centralen Plasmamasse hin und sind unter einander an verschiedenen Stellen durch Anastomosen verbunden, wodurch ein unregelmässiges Netz- oder Flechtwerk zustande kommt. Nicht selten kommt es vor, dass zwei solcher Fäden auf relativ weite Strecken hin einander parallel dem centralen Plasma zustreben und gerade bei diesen glaube ich mich davon überzeugt zu haben, dass sie in unmittelbarer Verbindung mit den Doppelstäbchen stehen, mit welchen sie auch in der Dicke sowie im optischen Verhalten völlig übereinstimmen. Letztere wären somit die End- und gewissermassen auch die Fixationspunkte für die Fäden des ausserhalb der Chromatophoren sich ausbreitenden Netzwerkes. Beim Beginn der Kernteilung ordnen sich sowohl die Doppelstäbchen als auch die Fäden meist deutlich radiär gegen den Kern und die an dessen Oberfläche (auf einer der Gürtelseiten) sichtbar werdende Anlage der Centralspindel. (Vergl. Fig. 47–49, Taf. IV.)

Ähnliche Verhältnisse wie bei *Pinnularia* finden sich bei *Surirella* wieder vor. Auch hier breitet sich zwischen den oberflächlichen, vielfach gelappten Chromatophoren und der Zellwand ein weitmaschiges plasmatisches Flechtwerk feiner, im Querschnitt drehrunder Fäden aus, welche letztere jedoch nicht wie bei *Pinnularia* sich im allgemeinen parallel der Längsachse der Zelle erstrecken, sondern sich vielmehr nach allen Richtungen hin ausdehnen. (Fig. 13, Taf. I.) In ihrem Verlaufe sind diese Fäden unregelmässig hin- und hergebogen und oft lebhaft geschlängelt, wobei sie sich in der verschiedensten Weise kreuzen und verschlingen und bald da, bald dort unter einander Anastomosen bilden. Gebilde, welche sich den eigentümlichen Doppelstäbchen ver-

gleichem liessen, habe ich im centralen Plasma von *Surirella* bis jetzt vergebens gesucht, solange der Kern im Ruhezustand verharrt. Sie treten jedoch auch bei dieser Art in beträchtlicher Zahl auf, wenn der Kern sich zur Teilung anschickt und die mittlere Plasmamasse zum breiteren Zellende hinfliesst. (Vergl. Fig. 115, 116 etc. Taf. VII.) Besonders deutlich sind die kurzen und meist geraden Stäbchen auf jenen Stadien der Kernteilung sichtbar, die auf Tafel VIII in den Figuren 118 ff. darzustellen versucht wurden, wobei man beobachten kann, dass die Richtung der Stäbchen in vielen Fällen parallel den Fibrillen verläuft, die vom Centrosom und den Polen der Spindel in das umgebende Protoplasma ausstrahlen.

Beobachtet man das eben beschriebene plasmatische Fadenwerk an lebenden Diatomeen längere Zeit hindurch, so wird man sowohl bei *Pinnularia* als auch bei *Surirella* bald gewahr werden, dass die einzelnen Fäden keineswegs immer dieselbe Anordnung und denselben Verlauf beibehalten, sondern langsame aber deutliche Bewegungen vollführen. Man sieht bei aufmerksamer Betrachtung bald da, bald dort einen Faden sich oft lebhaft hin und her schlängeln oder in eine pendelnde Bewegung geraten; an anderen Stellen werden daneben Anastomosen, die zwei benachbarte Fäden verbanden, eingezogen, um anderswo wieder neugebildet zu werden.

Gegen ungünstige äussere Bedingungen, wie sie z. B. durch allzulanges Liegen unter dem Deckglas infolge Sauerstoffmangels etc. eintreten können, zeigen sich die Fäden äusserst empfindlich: sie verquellen und lösen sich in eine Unzahl kleiner glänzender Tröpfchen auf. Sie sind auch nur schwer einigermaßen gut zu fixieren; am besten bewahrten sie ihre Gestalt und Anordnung noch an den Diatomeen, welche mit Chrom-Osmium-Essigsäure oder mit Sublimat behandelt worden waren. In Pikrin-Schwefelsäure, sowie in 45%igen Jodalkohol scheinen sie, soweit meine Erfahrungen reichen, zu verschwinden, wenigstens habe ich sie an den mit den letztgenannten Flüssigkeiten fixierten Präparaten nicht mehr wahrnehmen können.

Wie bereits erwähnt, fand ich die über den Chromatophoren verlaufenden plasmatischen Fäden in typischer Ausbildung bis jetzt nur bei den grossen Arten der Gattungen *Pinnularia* und *Surirella*. Bei *Pinnularia oblonga* habe ich vergebens nach ihnen gesucht, dagegen fand ich Andeutungen von ihnen mehrere Male bei *Navicula cuspidata* und *Navicula amphisbaena*.

Plasmatische Fadenwerke, welche mit den von mir bei *Surirella* und *Pinnularia* beobachteten eine sehr weitgehende Ähnlichkeit haben, scheinen in pflanzlichen Zellen eine ziemliche Verbreitung zu haben, wie aus den Angaben von Berthold (8) und Frank Schwarz (131) hervorgeht. Berthold fand bei einer marinen Siphonee, *Bryopsis*, im plasmatischen Wandbelag der Zellen ausserhalb der von den Chlorophyllkörpern eingenommenen Schicht massenhaft glänzende homogene Fädchen von verschiedener Länge, die langsam ihre Lage wechselten. Ähnliche Verhältnisse konnte Frank Schwarz für eine grosszellige *Spirogyra* konstatieren, bei der die inneren Schichten des Cytoplasmas ausgekleidet waren mit sehr zahlreichen feinen Fäden, welche über die Aussenseite der Chlorophyllkörper weggingen und häufig eine hin- und herschwingende

oder pendelnde Bewegung zeigten. In dieselbe Kategorie gehören wohl auch die Fäden, welche der letztgenannte Autor von den Blättern eines Laubmooses, des *Mnium undulatum*, beschrieben und abgebildet hat. Hier erfüllen die Zellen, meist parallel deren Längsachse, zahlreiche feine perlschnurartige Stränge, an welchen kleine Körnchen in der Längsrichtung der Fäden hin- und herschwingen.

Bei der sehr weit gehenden Übereinstimmung, welche diese Fäden von *Bryopsis*, *Spirogyra*, *Mnium* einerseits und die von *Surirella* und *Pinnularia* andererseits in Bezug auf ihre Lage, optischen Eigenschaften, Bewegungserscheinungen, sowie Verhalten gegen äussere Einflüsse zeigen, stehe ich nicht an, dieselben als vollständig analoge Gebilde zu bezeichnen. Spätere Untersuchungen dürften wohl noch eine weitere Verbreitung dieser Fäden nachweisen.

B. Die Chromatophoren und Pyrenoide.

a) Anordnung der Chromatophoren bei den untersuchten Arten.

Chromatophoren in wechselnder Zahl und Anordnung gehören zu den nie fehlenden Einschlüssen der Diatomeenzelle. Ihre Farbe ist in den meisten Fällen ein schönes Goldbraun (seltener mehr olivengrün) und kommt dadurch zustande, dass dem Chlorophyll der Endochromplatten noch ein besonderer brauner Farbstoff, das Diatomin, beigemischt ist. Die Nüancierung des Braun kann übrigens bei ein und derselben Art wechseln; so habe ich z. B. bei den zahlreichen mir zu Gesicht gekommenen Exemplaren von *Surirella calcarata* in der Farbe der Chromatophoren alle Übergänge von Gelbbraun bis zu Dunkelbraun wahrnehmen können.

Zahl und Anordnung der Chromatophoren sind bei den verschiedenen Gattungen der Diatomeen mannigfachem Wechsel unterworfen, bei den einzelnen Gattungen jedoch in den allermeisten Fällen so charakteristisch, dass Pfitzer sie bei der Aufstellung seines natürlichen Systems der Diatomeen neben Bau des Kieselpanzers und Auxosporenbildung ganz besonders berücksichtigt hat. Durch Kombination dieses Pfitzerschen Systems mit dem lediglich die Struktur des Panzers berücksichtigenden von H. L. Smith (133) hat neuerdings F. Schütt (130) eine systematische Anordnung der Diatomeen zu erreichen gesucht, in welcher auch die mannigfachen Wechselbeziehungen zwischen systematischer Gruppierung einerseits, sowie Biologie und Entwicklungsgeschichte andererseits zum Ausdruck gelangen.

Obwohl meine eigenen Untersuchungen gerade bei den Chromatophoren nicht sehr viel Neues zu Tag gefördert haben, so scheint es mir doch nicht überflüssig eine Darstellung der Chromatophorenanordnung bei den näher untersuchten Formen zu geben, um das Bild vom Bau des plasmatischen Zelleibes nach Möglichkeit zu vervollständigen.

Beginnen wir nun zunächst mit der Gattung *Pinnularia*, deren Chromatophorenverhältnisse uns die Fig. 1 auf Taf. I, sowie 18 auf Taf. II vor Augen führen.

Wir sehen hier zwei anscheinliche plattenförmige Chromatophoren, welche, in die periphere Plasmaschicht eingebettet, die beiden Gürtelseiten bedecken und sich von hier noch weit nach den Schalenseiten hinüberschlagen, wobei sie deren Mittellinie unbedeckt lassen. (Vergl. Fig. 1 Taf. I.) Der freie Rand der Chromatophoren ist bei *Pinnularia viridis*, *maior*, *nobilis* vielfach eingebuchtet und gelappt und erstrecken sich hierbei die einzelnen schmalen Lappen meist parallel der Längsrichtung der Zelle; bei *Pinnularia oblonga* ist der freie Rand hingegen glatt und nur in der Mitte der Zelle (da wo der Kern liegt) seicht eingebuchtet.

Navicula cuspidata zeigt der letztgenannten Art ähnliche Verhältnisse (Taf. II Fig. 15 und 16); der freie Raum zwischen beiden Chromatophoren auf den Schalenseiten ist von recht verschiedener Breite. Bei der Zellteilung wandern, wie Pfitzer bereits ermittelt hat und ich nach eigenen Beobachtungen bestätigen kann, die Chromatophoren hier von den Gürtelseiten nach den Schalenseiten über, die infolgedessen jetzt ebenso braun erscheinen wie früher die Gürtelseiten. Sobald nun die Zelle vollständig geteilt ist und jede Schalenhälfte die ihr noch fehlende neue Schale ausgebildet hat, teilt sich erst das nun in jeder Tochterzelle in Einzahl vorhandene Chromatophor und zwar in schiefer Richtung, indem vom Rande her zwei Einschnitte in einem Winkel von 45° zur Längsachse gegen einander vordringen. Nicht ohne Interesse ist hierbei die Tatsache, dass die Teilungslinien der Chromatophoren sich in beiden Tochterzellen kreuzen: verläuft nämlich die Trennungslinie in der einen Tochterzelle schief von links oben rechts unten, so verläuft sie in der andern schief von rechts oben nach links unten, wie man bei einem auf der Schalenseite liegenden sich teilenden Exemplare ohne weiters durch Heben oder Senken des Tubus feststellen kann.

Wie bei *Pinnularia* und *Navicula* sind auch bei der meist zu Bändern vereinigten *Stauroneis* (*Pleurostaurum*) *acuta* die Gürtelseiten der Zelle von den (hier gelbbraunen) Chromatophoren bedeckt (Vergl. Fig. 14 auf Taf. II). Bei der Kernteilung wandern dieselben, wie ich an einem lebenden Exemplare beobachtete, nach den Schalenseiten über, wodurch auf den Gürtelseiten eine farblose, links und rechts von den umgeschlagenen Rändern der Chromatophoren gelbbraun begrenzte farblose Längszone frei wird. Auf späteren Stadien der Teilung, wo die beiden Tochterzellen bereits die neuen Schalen ausgebildet hatten, erschien das Chromatophor auf den Gürtelseiten in der Mitte quer unterbrochen: beide Teilhälften erstreckten sich von den Zellenden bis zur Plasma- brücke hin, die letztere freilassend.

Von den übrigen untersuchten Formen zeigt *Nitzschia sigmoidea* ein Chromatophor, welches der einen Gürtelseite anliegt, sich aber mit zahlreichen Lappchen seines Randes noch etwas auf die gegenüberliegende umschlägt. In der Mitte, da wo der längsgestreckte Kern liegt, erscheint das Chromatophor entweder eingebuchtet oder auch ganz unterbrochen und dann hier gewöhnlich winkelig ausgeschnitten, so wie es Fig. 22 auf Taf. II vor Augen führt.

Nicht ganz so einfach wie bei den eben geschilderten Formen ist die Anordnung der Chromatophoren bei der Gattung *Cymbella*, speziell bei der von mir näher unter-

suchten *Cymbella cuspidata*, welche hinsichtlich ihres inneren Baues im wesentlichen mit den von Pfitzer (101) und später von F. Schmitz (124) als Studienobjekt benutzten Arten, *C. gastroides* resp. *C. Ehrenbergii*, übereinstimmt. Eine Abbildung dieser schönen Form habe ich auf Taf. II Fig. 17 gegeben, wo die Diatomee von der Schalen-seite gesehen nach dem Leben dargestellt ist. Auch hier finden wir nur ein einziges Chromatophor, welches der Wölbung der stark gekrümmten Gürtelseite anliegend sich unmittelbar unter dem Kieselpanzer ausbreitet, in der Mitte jedoch von der Wandung abbiegt und sich beutelförmig in das Zellinnere hineinsenkt, wo es ein ansehnliches kugeliges Pyrenoid umschliesst. Von der stark gewölbten Gürtelseite erstreckt sich das Chromatophor weiterhin über die ganze Fläche der Schalen-seiten und schlägt sich schliesslich noch eine Strecke weit nach der schwach gewölbten Gürtelseite um, deren mittlerer Teil jedoch von ihm unbedeckt bleibt. Auf den Schalen-seiten weist das Chromatophor zwei von beiden Enden gegen die Mitte zu vordringende Einschnitte auf, welche unmittelbar unter der Raphe verlaufen; zwei ganz entsprechende Einschnitte zeigen sich auch auf der stärker gewölbten Gürtelseite entlang deren Mittellinie. Dadurch wird das Chromatophor in nicht weniger als acht Lappen zerschlitzt, welche alle einander paarweise symmetrisch sind. Die Einschnürungen auf der Gürtelseite fanden sich bei sämtlichen untersuchten Exemplaren vor und auch bei denen, welche nicht die geringsten Anzeichen einer beginnenden Teilung erkennen liessen. Ich muss somit F. Schmitz Recht geben, wenn er diese Einschnitte als etwas Normales betrachtet im Gegensatze zu Pfitzer, welcher die Einschnitte als Anfangsstadien der Zweiteilung des Chromatophors auffasste.

Die kompliziertesten Verhältnisse in der Anordnung ihrer Chromatophoren dürfte von allen untersuchten Arten wohl die Gattung *Surirella* aufweisen und steht diese Erscheinung jedenfalls in Zusammenhang mit dem komplizierten Bau des Kieselpanzers und des von diesem umschlossenen Protoplasmas. Unter Zugrundlegung der Fig. 19 auf Taf. II, Fig. 20 Taf. IX, sowie des Querschnittes von *Surirella calcarata* Taf. I Fig. 8 dürfte es indessen gelingen, die „indescribable complication“, die nach Meneghini (1844)⁴⁾ das Innere der *Surirella*-Zelle darbieten soll, wenigstens etwas zu entwirren.

Surirella calcarata besitzt eigentlich zwei Chromatophoren, welche sich in ihrer Hauptmasse auf beiden Schalen ausbreiten und sich von hier aus mit zahlreichen lappigen Ausläufern nach den Gürtelseiten umschlagen; in der Mitte der Zelle sind beide durch einen querverlaufenden Strang mit einander verbunden. Was nun hierbei die Anordnung der Chromatophoren so verwickelt erscheinen lässt, ist vor allem der Umstand, dass dieselben nicht einfach in die periphere Plasmaschicht eingebettet die Schalen bedecken, sondern sich im Anschlusse an die Plasmazüge weit in den Binnenraum der Zelle hinein vorwölben und somit gewissermassen die Mitte der beiden Schalen wie ein Zelt überspannen. (Vergl. den Querschnitt auf Taf. I Fig. 8). Von dieser vorspringenden Partie des Chromatophors werden zahlreiche lappige Ausläufer

4) Citirt nach Pfitzer (101) pag. 111.

nach den peripheren Plasmaschichten der Schalen- und Gürtelseite entsendet, welche vom Rande gegen die Mitte einander zustrebend, dieselben fast vollständig bedecken.

Unter Berücksichtigung dieses Grundplanes in der Anordnung der Chromatophoren ist eine Deutung der ganz verschiedenen Bilder, welche *Surirella calcarata* je nach der Einstellung zeigt, nicht schwierig. Betrachten wir die auf der Gürtelseite liegende Diatomee zunächst bei Einstellung unmittelbar unter die Oberfläche des Kieselpanzers, so erhalten wir das Bild, welches Fig. 19 auf Taf. II wiedergibt. Hier streben die umgeschlagenen Ränder der beiden Schalenchromatophoren in Gestalt zahlreicher, vielfach geteilter Lappen gegen die Mitte der Zelle zu, wobei sie nur schmale farblose Buchten zwischen sich frei lassen; an beiden Seitenrändern treten schmale Zipfel in die Querkanäle der Flügel ein (Fig. 19 Taf. II). Bei tieferer Einstellung verändert sich das Bild vollständig (Fig. 20 Taf. IX). An Stelle der Lappen springen jetzt rechts und links die braunen Flächen der die Mitte der Schalen zeltförmig überwölbenden Chromatophoren weit gegen das Zellinnere vor und zwar beiderseits in symmetrischer Weise. Orientieren wir die Diatomee in der auf meinen Tafeln (II und IX) dargestellten Weise, so beginnen die dunkelbraunen Linien, welche die höchste Wölbung, also gewissermassen das Dach der zeltförmigen Chromatophoren markieren, am breiten Zellende in der Gegend des Ursprungs der Flügel, streben dann von hier gegen einander konvergierend der Mitte der Zelle zu, wo sie zusammenschliessend eine annähernd halbkreisförmige Bucht begrenzen, in welcher der nierenförmige Kern liegt. Hinter dem Kern sind beide Chromatophoren durch einen querlaufenden Strang mit einander verbunden, von welchem aus sie dann wiederum bogenförmig auseinanderweichend gegen das schmälere Zellende hinziehen. Erwähnenswert dürfte noch sein, dass die Chromatophoren ebensowenig wie die früher geschilderten Plasmazüge mit ihrer ganzen Breite den Schalen aufsitzen, sondern an ihrer Basis stets mehrere Durchbrechungen zeigen (vergl. Taf. IX Fig. 20), was sich sowohl bei Ansicht von der Gürtelseite als von der Schalseite beobachten lässt.

Es braucht wohl noch kaum besonders hervorgehoben zu werden, dass die Einstellung auf die untere, dem Beobachter abgewandte Gürtelseite wieder genau das nämliche Bild zeigen würde, wie es für die zugewandte Gürtelseite oben geschildert wurde¹⁾.

¹⁾ Die Bilder, welche ich in vorliegender Arbeit von der Anordnung der Chromatophoren bei *Surirella calcarata* gebe, weichen etwas von denen Pfitzers (101) ab, welcher namentlich die innere Begrenzung der in dem Binnenraum der Zelle vorspringenden Chromatophoren viel unregelmässiger zeichnet, als ich es jemals gesehen habe. (Vergl. seine Fig. 4 auf Taf. V.) Die übrigen Beschreibungen und Abbildungen Pfitzers treffen sonst auch hinsichtlich des Querschnittes im allgemeinen das Richtige. Um so mehr muss es befremden, dass in der viel später (1880–81) erschienenen, ausgezeichneten „Synopsis des Diatomées de Belgique“ von H. van Heurck (68) ein so vollständig verfehlter Querschnitt einer *Surirella* gegeben werden konnte. Man vergleiche hierzu nur die Fig. A „Endochrome der *Surirella splendida*“ auf Taf. LXXI der Synopsis mit Pfitzers Fig. 8 auf Taf. I in des letzteren Untersuchungen! Weiterhin ist es auffallend, dass in einem Werke, welches die minutiösen Details der Schalenstruktur so sorgfältig wiedergibt, der randliche Längskanal der Flügel von *Surirella* bei den von der Gürtelseite dargestellten Exemplaren (Taf. LXXI Fig. 2, Taf. LXXII Fig. 1) nirgends dargestellt ist.

Bei der Teilung von *Surirella calcarata* gehen auch mit den Chromatophoren einige Veränderungen vor, welche zunächst an den lappigen Ausläufern im wandständigen Plasmabelag der Gürtelseiten in Erscheinung treten. Sobald im Zellkern die Umlagerung der chromatischen Substanz beginnt und das Plasma sich um das Centrosoma strahlenförmig anordnet, verlieren die genannten Chromatophoren allmählich ihre vielfach gelappten Umrisse. Sie ziehen sich nach und nach beträchtlich zusammen, wobei ihre Begrenzungslinien sich abrunden, so dass sie schliesslich als dunkelbraune, an ihren freien Enden oft kolbig verbreiterte Bänder von den Rändern der Gürtelseiten gegen die Mitte vorspringen (vergl. Fig. 131 ff. auf Tafel IX). Durch diese Verkürzung und Abrundung ihrer Umrisse lassen nun die Chromatophoren auf den Gürtelseiten eine mittlere breite Zone unbedeckt, welche infolgedessen farblos erscheint und darum auch ein Verfolgen des Kernteilungsvorgangs *intra vitam* ermöglicht¹⁾. Der die Schalen überwölbende Teil des Chromatophors zeigt anfangs nur wenige Veränderungen: er hebt sich etwas von dem Kieselpanzer ab, wobei die lappigen in die Querkanaäle der Flügel eintretenden Zipfel aus diesen herausgezogen werden. Die mittlere quere Chromatophorenbrücke bleibt sehr lange intakt erhalten, wie aus folgendem hervorgeht. Wenn der Kern bei seiner Teilung auf dem Stadium des „Dyasters“ angelangt ist, zeigt sich am schmälern Zellende zuerst die einschneidende Ringfalte, welche (im optischen Durchschnitt als dunkle Linie) nach vorn immer weiter fortschreitet und so die Teilung der ganzen Zelle vollzieht. Sobald sie die quere Chromatophorenbrücke erreicht hat, schiebt sie dieselbe in einem immer spitzer werdenden Winkel nach vorn bis fast in die Nähe der Plasmamasse, wo dann die Brücke in ihrer Mitte durchschnürt wird; die beiden Hälften sind noch geraume Zeit in der zuletzt inne gehaltenen Lage sichtbar (Fig. 135 und folgende Taf. IX). Die eigentliche Teilung des Chromatophors innerhalb der Tochterzellen erfolgt nach Pfitzers Angaben (1901 pag. 116) durch eine Zerklüftung der Fläche nach; ich habe diesen Vorgang nicht näher verfolgt.

Weit einfacher als bei den eben geschilderten Vertretern der *Placochromaticae* Pfitzers gestalten sich die Chromatophorenverhältnisse bei der Abteilung der *Cocchochromaticae*, von der ich eine Art *Cyclotella comta* var. *radiosa* zum Vergleich vorführe (Taf. II Fig. 21). Hier finden sich im plasmatischen Wandbelag der Zelle zahlreiche Chromatophoren in Gestalt rundlicher oder mehr ovaler Scheibchen, welche man auch öfters in Teilung antrifft, bei der sie biskuitförmige Umrisse annehmen.

Feinere Strukturen oder Einschlüsse der Chromatophoren habe ich mit Ausnahme der gleich zu schildernden Pyrenoide an den von mir untersuchten Formen nicht beobachten können; es erschienen die Chromatophoren stets gleichmässig braun gefärbt und gegen das umgebende Plasma scharf abgegrenzt. Gegen die aller-

¹⁾ Durch diese farblose mittlere Längszone, welche zu beiden Seiten von dunklem Braun eingefasst ist, sowie an der Verbreiterung der Gürtelseiten, lassen sich die in Teilung befindlichen *Surirellen* schon unter der Lupe auf den ersten Blick von den in Ruhe verharrenden unterscheiden, die gleichmässig braun erscheinen.

geringste Verletzung der Zelle reagieren sie sofort, indem sie sich zu einer runzeligen Masse zusammenziehen — ein Vorgang, den man besonders bei der überaus empfindlichen *Surirella calcarata* leider nur zu oft zu beobachten Gelegenheit hat.

b) Pyrenoide.

Die Entdeckung der Pyrenoide der Diatomeen verdanken wir in erster Linie den ausgezeichneten Forschungen von Fr. Schmitz, der diese eigenartigen Einschlüsse der Chromatophoren zunächst (123) bei marinen Formen, dann jedoch (124) auch bei einer Anzahl von Gattungen aus dem Süßwasser nachwies. Später hat noch O. Müller eine Mitteilung über Pyrenoide bei *Nitzschia Sigma* gemacht¹⁾. Vergessen darf übrigens nicht werden, dass bereits Pfitzer (101) bei einigen *Cymbelleen* und *Gomphonemeen* bestimmte geformte Massen dichterem Plasmas beschrieben und abgebildet hat, die wenigstens zum Teil den Gebilden entsprechen, die Schmitz später als Pyrenoide bezeichnet hat.

Die Gattungen der Süßwasserdiatomeen, bei denen Schmitz Pyrenoide nachgewiesen hat, sind: *Frustulia*, *Colletonema*, *Cymbella*, *Encyonema*, *Brebissonia*, *Anomoeoneis* und *Gomphonema*; daneben gedenkt er noch anmerkungsweise des Vorkommens bei einigen Formen von *Surirella*. Meine eigenen spärlichen Beobachtungen erstrecken sich nur auf die beiden Gattungen *Cymbella* und *Surirella*²⁾.

Cymbella cuspidata besitzt ein einziges grosses Pyrenoid, welches als eine im Leben mattglänzende Kugel in der Einbuchtung des Chromatophors liegt (Fig. 17 Taf. II) und allseitig von letzterem umschlossen ist. Zur Tinktion erwies sich am geeignetsten Saffranin, überhaupt Anilinfarben; mit Delafieldschen Hämatoxylin konnte ich an mit Chrom-Osmium-Essigsäure fixierten *Cymbellen* nie eine Färbung erzielen.

Eine grössere Zahl von Pyrenoiden besitzt *Surirella calcarata*, wo dieselben in den oberflächlichen, vielfach gelappten Ausläufern der Chromatophoren eingebettet liegen und zwar in jedem Lappen gewöhnlich auch nur ein Pyrenoid (Fig. 13. Taf. I). Im Leben erscheinen sie als helle rundliche Flecke, welche gegen ihre Umgebung nicht besonders scharf begrenzt hervortreten. Viel deutlicher werden sie — jedoch nur auf kurze Zeit — sobald die Chromatophoren infolge einer Verletzung des Kieselpanzers sich kontrahieren: man sieht dann die Pyrenoide als spindelförmige Körperchen sich scharf von den braunen runzeligen Chromatophoren abheben. Bezüglich der Färbung machte ich bei *Surirella* dieselben Erfahrungen wie bei *Cymbella*. In meinen zahlreichen Präparaten von *Surirella calcarata*, welche mit den verschiedensten Fixierungsflüssigkeiten behandelt und mit Delafieldschem Hämatoxylin gefärbt wurden, treten die Pyrenoide nirgends hervor; eine Ausnahme machen nur jene *Surirellen*,

1) O. Müller: Die Chromatophoren mariner Bacillariaceen aus den Gattungen *Pleurosigma* und *Nitzschia*. In: Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellschaft. 1883.

2) Bestätigen konnte ich ausserdem das Vorkommen von Pyrenoiden bei *Anomoeoneis*, *Encyonema* und *Gomphonema*.

die nach der von Henne-guy (61) zur Sichtbarmachung der Centrosomen angegebenen Methode behandelt sind, wo die Pyrenoide durch das Safranin schön rot tingiert von der blassen Chromatophorens substanz abstechen.

C. Fettes Öl.

Fettes Öl ist in den Zellen der Diatomeen sehr verbreitet und tritt hier oft in ganz bedeutenden Mengen auf, besonders wenn die Diatomeen längere Zeit hindurch ohne genügende Sauerstoffzufuhr kultiviert werden, wie schon Lüders (88) beobachtete. Es erscheint hier in Gestalt verschieden grosser, nicht immer kugeligler Tropfen, welche stark lichtbrechend sind. Durch ihre Löslichkeit in Schwefeläther sowie durch ihre intensive Schwärzung in Osmiumsäure lässt sich ihre Fettnatur stets ohne Schwierigkeit nachweisen. Die Verteilung der Öltropfen innerhalb der Zellen ist meist eine ungleichförmige, doch kann man beobachten, dass sich dieselben vermöge ihres geringen spezifischen Gewichtes möglichst nahe der Oberfläche, also gegen das Deckglas zu, ansammeln. (Taf. II Fig. 18. *Pinnularia maior*). Bei *Navicula cuspidata* fand ich ziemlich regelmässig vier grössere Öltropfen an den Ecken der queren Plasmabrücke; gewöhnlich waren daneben auch noch die an den Zellsaft angrenzenden Ränder der Plasmabrücke von zahlreichen kleineren Fettkügelchen eingefasst (Taf. II Fig. 15, 16).

Neben diesen zweifellos aus Fett bestehenden Kugeln finden sich im Innern zahlreicher Diatomeen noch andere Gebilde, welche zwar mit jenen im optischen Verhalten eine sehr weitgehende Übereinstimmung zeigen, sich aber durch ihre Unlöslichkeit in Alkohol und Äther, ihr Verhalten gegen Osmiumsäure sowie ganz besonders durch ihre starke Tinktionsfähigkeit wesentlich von ihnen unterscheiden. Diese Einschlüsse der Diatomeen, welche früher allgemein als Fett angesprochen wurden, sind

D. Die Bütschlischen „roten Körnchen“.

Als Bütschlische Körnchen und Kugeln¹⁾ bezeichne ich diejenigen extranukleären Einschlüsse der Diatomeenzelle, welche in Alkohol und Äther unlöslich, sich sowohl mit Delafieldschen Hämatoxylin als auch *intra vitam* mit Methyleneblau intensiv rot-violett färben. Die Frage nach der chemischen Zusammensetzung dieser Körper mag dabei vorerst ganz aus dem Spiel bleiben. Die Bütschlischen Körnchen sind in den Diatomeen ausserordentlich verbreitet. Sie erscheinen, wie meine Untersuchungen ergeben haben, bei den verschiedenen Arten

¹⁾ Der hier in Anwendung gebrachte Name „Bütschlische Kugeln oder Körnchen“ scheint mir den Vorzug zu verdienen vor der sonst üblichen Bezeichnung „rote Körnchen“, weil letztere leicht zu Missverständnissen Veranlassung geben könnten.

in sehr verschiedener Weise ausgebildet, bei zahlreichen Formen indessen aber oft in so charakteristischer Weise angeordnet, dass ihre Lagerung etc. im Innern der Zelle sich sehr wohl zur spezifischen Charakterisierung gewisser Arten mit verwenden liesse.

Man darf nicht glauben, dass die Bütschli'schen Körnchen erst neuerdings „entdeckt“ worden seien. Sie sind im Gegenteil schon von mehreren früheren Beobachtern wahrgenommen worden, jedoch von diesen, wie bereits erwähnt, unbedenklich als „Öltropfen“ bezeichnet worden. Bütschli (21) war wohl der erste, welcher die intensive Tinktionsfähigkeit diese Gebilde kennen lehrte und ihre weite Verbreitung bei Bakterien, Cyanophyceen, Fadenalgen und Flagellaten, sowie einigen Diatomeen feststellte. Seine frühere Ansicht, dass die Körnchen sehr nahe verwandt seien mit den Chromatinkörnern des Kerns, denen sie ja durch ihr Verhalten gegen typische Kernfärbemittel wie Delafieldsches Hämatoxylin so ausserordentlich ähneln, hat in meinen Färbungsversuchen mit Methyleneblau keine Stütze gefunden.

Anordnung der Bütschli'schen Kugeln und Körnchen bei den untersuchten Arten.

Zur Illustrierung des oben ausgesprochenen Satzes, dass die Bütschli'schen Kugeln in zahlreichen Fällen eine ganz bestimmte und charakteristische Lage innerhalb der Diatomeezellen einnehmen, möge in folgendem ihre Anordnung bei einigen genauer untersuchten Formen geschildert werden.

Betrachtet man eine *Navicula cuspidata* von der Schalenseite, so fallen im Zellsaft zu beiden Seiten der mittleren Plasmabrücke zwei grosse¹⁾ Kugeln auf, welche meist genau in der Medianlinie der Schalen, also direkt unter der Raphe liegen (Taf. II Fig. 15—16). Diese Kugeln besitzen im Leben einen eigentümlichen matten Glanz und einen schwach milchbläulichen Schimmer; von der Gürtelseite betrachtet, wo sie von den Chromatophoren überdeckt sind, erscheinen sie bei mittlerer Einstellung mehr grau mit dunklen Konturen. Diese Kugeln zeigen alle die Reaktionen, welche für die Bütschli'schen Körnchen charakteristisch sind. Sie fehlten keinem einzigen der untersuchten Exemplare von *Navicula cuspidata*, wenigstens solange als deren Kern in Ruhe verharrt, denn bei Individuen, die in Kernteilung begriffen waren, suchte ich die Kugeln vergebens. Wahrscheinlich zerfallen sie bei der Teilung des Kerns in kleine Kügelchen oder lösen sich auf; wenn die Zellteilung vorüber ist und in den noch fest mit einander verbundenen Tochterzellen die früher geschilderte Zerklüftung der Chromatophoren vor sich geht, liegen auch die Kugeln wieder an ihrem gewöhnlichen Platze.

Zwei Kugeln in ganz ähnlicher Lage zu beiden Seiten der Plasmabrücke besitzt auch *Amphora ovalis*. Bei dieser Art fand ich relativ oft statt einer einzigen dieser grossen Kugeln eine Zusammenballung von mehreren kleinen oder an deren Stelle auch unregelmässig

¹⁾ Die Kugeln besitzen meist einen Durchmesser von 6—9 μ , nur selten sieht man Kugeln, welche kleiner sind.

gestaltete Gebilde, welche manchmal kleine Vakuolen einschlossen und bei längere Zeit andauernder Beobachtung ganz schwache Gestaltsveränderungen erkennen liessen.

Auch *Pinnularia oblonga* besitzt ganz konstant zwei Bütschliche Kugeln, welche aber zum Unterschied von den beiden erstgenannten Arten stets in zwei grosse Vakuolen eingeschlossen sind, die sich in die ausgehöhlte Oberfläche der Plasmamasse einsenken. (Fig. 97 auf Taf. VI.) Jede dieser Vakuolen trägt gegen das Zellende zu regelmässig noch einen eigentümlichen kuppenförmigen Aufsatz von grauer Farbe, welcher sich aber im Gegensatz zu den Kugeln weder mit DeLafield'schem Hämatoxylin noch mit Methylenblau tingieren lässt. Die äusseren Umrisse dieser Aufsätze sind sehr wechselnd, jedoch, soweit ich beobachten konnte, in ein und derselben Zelle alle beide gleich. Im einfachsten Falle sehen wir die Vakuolen kalottenförmig von einer dünnen gekrümmten Platte überwölbt, welche sich der Vakuolenwand überall eng anschmiegt und darum im optischen Durchschnitt als dicke gebogene Linie erscheint (Vergl. Taf. VI Fig. 101). In anderen Fällen wird der kuppenförmige Aufsatz viel grösser und erhebt sich mehr oder weniger ballonartig über die Vakuole, oft fast die volle Grösse der letzteren erreichend; er schliesst dabei in seinem Innern nicht selten kleine vakuolenartige Räume ein (Fig. 108 - 110 Taf. VI). Die beiden Vakuolen mit den Kugeln im Innern und den eigenartigen Aufsätzen gegen die Zellenden zu sind für *Pinnularia oblonga* überaus charakteristisch — ich erinnere mich wenigstens nicht etwas Ähnliches bei einer anderen Diatomee gesehen zu haben — und dabei so auffallend, dass es wirklich wunder nehmen müsste, wenn die betreffenden Gebilde nicht schon von anderen Beobachtern gesehen worden wären¹⁾.

Neben den stark färbbaren Kugeln in der Vakuole fand ich bei *Pinnularia oblonga* manchmal auch noch einige färbbare Kugeln in beiden Zellsafträumen, doch schien auch in diesen Fällen die Zahl der Kugeln in beiden Hälften sich zu entsprechen.

Von einer Vakuole umschlossen sind auch die Kugeln der *Cymbella cuspidata*, doch liegen dieselben hier an den verschmälerten Enden der Zelle (Taf. II Fig. 17). Auch bei dieser Art finden sich daneben oft noch kleinere färbbare Kügelchen im Zellsaft.

Wieder in anderer Weise sind die Bütschlichen Körnchen bei *Surirella calcarata* Pfitzer (und *Surirella splendida*) ausgebildet. Beim Betrachten der lebenden Diatomeen fallen in deren Innern sogleich zahlreiche, kleine glänzende²⁾ Kügelchen auf, welche in lebhafter Bewegung begriffen sind. An den Rändern der centralen Plasmamasse und entlang der von ihr ausgehenden Stränge, an der Innenseite des plasmatischen Wandbelags, sowie zwischen den gelappten Chromatophoren — überall sieht man die kleinen Körnchen dahingleiten, ab und zu bald da, bald dort kurze Zeit stille halten, um dann plötzlich wieder weiter zu eilen oder auch den bereits zurückgelegten

1) In Ehrenbergs grossen Infusorienwerke (34) sind bei verschiedenen Diatomeenarten (z. B. *Navicula inaequalis* [*Cymbella*], *N. viridula* [*oblonga*] etc.) zweifelloso Bütschliche Kugeln abgebildet. Ehrenberg betrachtet dieselben als — männliche Samendrösen.

2) Bei Einstellung auf ihre Oberfläche. Bei Einstellung auf ihrer Mitte erscheinen Sie dunkel.

Weg rückläufig zu durchwandern. Eine bestimmte Richtung der Bewegung wird hierbei, soweit sich dies feststellen liess, nicht eingehalten, wenschon es einige Male scheinen wollte, als ob im allgemeinen die Kügelchen von der Mitte der Zelle, wo der Kern liegt, gegen die Peripherie zu und von hier wieder nach der Mitte wandern würden. Die ganze Art und Weise der Bewegung macht den Eindruck, als wenn die *causa efficiens* der Bewegung in den Kügelchen selbst zu suchen wäre, zumal oft an einem dünnen Plasmafaden zwei Körnchen in entgegengesetzter Richtung an einander vorbeigleiten; eigentliche Strömungen des Plasmas sind jedenfalls nicht die Ursache, denn sie fehlen, wie bereits dargethan, völlig. Es mag noch besonders hervorgehoben werden, dass sich alle die geschilderten Bewegungsvorgänge an der Oberfläche der Plasmamasse vollziehen; nie sah ich ein Körnchen zweifellos im Innern des Plasmas liegen und auch in den Kanälen der Flügel habe ich bis jetzt vergebens danach gesucht.

Gleitende Bewegungen kleiner Körnchen finden sich nach M. Schultzes Beobachtungen (125) auch bei gewissen marinen Gattungen wie *Coscinodiscus* und *Denticella*; diejenigen von *Surirella* gehören jedenfalls in die Kategorie der „Glitschbewegungen“ Nägelis (97). Auch Bütschli hat in seinem grossen Werke über mikroskopische Schäume (24) die Bewegungen dieser Körnchen eingehender erörtert (l. c. pag. 205).

An dem Hin- und Herwandern in der Zelle nehmen nun aber nicht gleichzeitig alle Kügelchen teil, welche in der *Surirella* vorhanden sind, denn stets kann man zahlreiche Kügelchen am Boden der Zelle, d. h. auf der geraden dem Objektträger zugekehrten Gürtelseite, angesammelt finden. Diese Anhäufung in der Tiefe ist lediglich eine Wirkung der Schwerkraft, wie folgender Versuch lehrt. Schliesst man nämlich eine lebende *Surirella* zwischen zwei (durch Wachsfüsschen gestützte!) Deckgläschen ein und betrachtet sie unter dem Mikroskope, so findet man die Verteilung der Kügelchen so, wie sie oben geschildert wurde, d. h. ein Teil der Kügelchen ist in Bewegung, ein anderer und zwar der grössere nimmt nur wenig sich bewegend den Boden der Zelle ein. Dreht man nun die beiden Deckgläschen mit der eingeschlossenen *Surirella* um, sodass die vorher unten liegende Gürtelseite obenauf zu liegen kommt, so wird man trotzdem die Kügelchen wieder der Unterseite genähert finden. Ebenso kann man durch entsprechendes Neigen der eingeschlossenen Diatomee die Kügelchen nach Belieben sich an einem Zellende oder an einer Schalenseite ansammeln lassen; bringt man dann die *Surirella* wieder in ihre gewöhnliche Lage, also Gürtelseite parallel dem Objektisch, so liegen die Kügelchen anfangs zusammengedrängt an der vorher nach unten geneigten Stelle, um sie sich dann wieder auf dem Boden der Zelle auszubreiten.

Bevor ich die Kügelchen der *Surirella* verlasse, möchte ich nicht unerwähnt lassen, dass mir an Präparaten, die mit Jodalkohol und Hämatoxylin behandelt waren, öfters Bilder einer anscheinenden Zweiteilung dieser Gebilde vor Augen kamen. Man sieht da nämlich nicht selten neben Kügelchen mit vollkommen kreisrundem Querschnitt auch solche, welche deutlich in die Länge gestreckt, also ellipsoidal sind, und dann

noch andere, die in ihrer Mitte eine mehr oder weniger tief gehende Einschnürung aufweisen, wie aus den die verschiedenen Phasen der Teilung illustrierenden Figuren 77 a—e Taf. V hervorgeht. Da ich aber, wie gesagt, diese Bilder nur an Präparaten zu Gesicht bekam und ähnliches an lebenden Surirellen noch nicht beobachtete, so ist vielleicht doch die Möglichkeit nicht ganz auszuschliessen, dass es sich bei den vermutlichen Teilungszuständen, speziell Fig. 77 c u. d, um zwei sonst getrennte Kugeln handelt, die nur mehr oder weniger dicht an einander gelagert sind.

Von weiteren Diatomeen, denen konstant ein Besitz Bütschlicher Kügelchen zukommt, wäre dann noch *Nitzschia sigmoidea* zu nennen. Dieselbe liess bei allen meinen Jodalkohol-Hämatoxylin-Präparaten ganz regelmässig zwei kleine rote Körnchen an den Enden der Chromatophoren erkennen; daneben finden sich im Zellsaft zerstreut gewöhnlich auch noch verschieden grosse Kugeln in wechselnder Zahl.

Andere Diatomeen besitzen zwar ebenfalls Bütschliche Kügelchen, jedoch lassen diese nicht wie bei den geschilderten Arten eine konstante Lagerung erkennen, sondern finden sich durch den ganzen Zellsaft zerstreut. Zu diesen gehören von den untersuchten Formen: *Pinnularia maior* und *Pinnularia nobilis*, *Pleurosigma attenuatum* Sm.⁴⁾, *Stauroneis acuta* W. Sm., *Fragilaria virescens* Ralfs u. a.

Weitere spezielle Untersuchungen nach dieser Richtung hin dürften das Vorkommen bestimmt gelagerter Bütschlicher Körnchen jedenfalls noch für zahlreiche Arten erweisen; es wäre hierbei von Interesse zu erfahren, wie sich die marinen Diatomeen in dieser Hinsicht verhalten.

Ausser bei den Diatomeen habe ich Körnchen, die sich intensiv mit Hämatoxylin und Methylenblau färben liessen, gelegentlich auch bei *Desmidiaceen* (*Closterium* spec.) sowie *Rhizopoden* (*Amoeba villosa*, *Arcella vulgaris*, *Gromia mutabilis*) beobachtet, doch immer nur bei einigen Exemplaren.

Verhalten der „Bütschlichen Kugeln“ gegen Reagentien.

Verhalten gegen Farbstoffe.

Da die Bütschlichen Kugeln durch eine so intensive Tinktionsfähigkeit ausgezeichnet sind und auf gewisse Farbstoffe in so charakteristischer Weise reagieren, so scheint es angebracht, auch ihr Verhalten gegen Farbstoffe zunächst zu besprechen. Die bezüglichen Untersuchungen wurden hauptsächlich an *Navicula cuspidata* (sowie

⁴⁾ Bei dieser Gattung habe ich indessen einige Male ein Verhalten beobachtet, welches von dem gewöhnlichen stark abweicht und darum wohl eine besondere Erwähnung verdient. Es zeigten sich nämlich bei einer Reihe von Exemplaren von *Pl. attenuatum* die Substanz der Kugeln zu zwei ansehnlichen Klumpen zusammengeballt, welche der mittleren Plasmabrücke beiderseits anlagen und hier den ganzen Querschnitt der Zelle erfüllten. Das Innere dieser Klumpen war stark von Vakuolen verschiedener Grösse durchsetzt. Wie mir Herr Professor Bütschli mitteilt, hat er ähnliches bei dem marinen *Pl. angulatum* beobachtet.

Amphora ovalis) angestellt, da bei diesen Formen die Kugeln besonders gross und deutlich hervortreten und infolgedessen auch die Einwirkung der verschiedenen Reagentien auf sie direkt unter dem Mikroskope verfolgt werden konnte. Die anderen Arten wurden daneben zu Kontroll-Versuchen herangezogen.

De la field'sches Hämatoxylin.

Wie bereits hervorgehoben, eignet sich zur Färbung der Bütschlichen Körnchen und Kugeln, besonders das Diatomeenmaterial, welches mit 45% Jodalkohol fixiert wurde; auch Pikrin-Schwefelsäure giebt gute Resultate. Weit schwerer gelingt die Färbung der Kugeln und Körnchen bei Diatomeen, die mit Osmiumsäure oder mit Flemmings Gemisch behandelt wurden, namentlich wenn hierbei die Osmiumsäure etwas länger ein gewirkt hat.

Werden die Diatomeen aus der Fixierungsflüssigkeit in reines Wasser und dann in eine sehr verdünnte Lösung von De la field'schem Hämatoxylin übergeführt, so nehmen die beiden Kugeln der *Navicula cuspidata* in kürzester Zeit einen rotvioletten, bei künstlicher intensiver Beleuchtung leuchtend rubinroten Farbenton an; sie sind gewöhnlich schon vollständig tingiert zu einer Zeit, wo der Kern noch fast ungefärbt erscheint. In ganz übereinstimmender Weise verhielten sich die Körnchen und Kugeln der übrigen Arten: überall färbten sich dieselben viel früher als der Kern.

Ich habe auch den Versuch gemacht, lebende Diatomeen mit einer sehr verdünnten (0,001—0,05%) wässrigen Lösung von Hämatoxylinum purissimum zu färben, jedoch ohne Erfolg. Die Lebensthätigkeit der Zellen schien nicht sonderlich beeinträchtigt, selbst als der Hämatoxylinlösung zur Erhöhung ihrer Tinktionskraft Spuren von Alaun zugesetzt wurden.

Methylenblau.

Lebende *Navicula cuspidata* nach der früher (pag. 9) angegebenen Weise in eine sehr verdünnte wässrige Lösung von Methylenblau gebracht, lassen nach einiger Zeit Anzeichen einer beginnenden Speicherung des Farbstoffes durch die beiden Kugeln erkennen. Dieselben erscheinen anfangs bläulich mit rötlichem Rand, nehmen aber schliesslich ebenfalls eine rotviolette, bei intensiver Beleuchtung rubinrot erscheinende Färbung an, gerade als wenn sie mit De la field'schem Hämatoxylin behandelt worden wären¹⁾. Gleichzeitig mit beiden Kugeln und in demselben Farbenton wie diese färben sich konstant auch einige kleine Kügelchen, welche in den Plasmaansammlungen an den Zellenden liegen. Dabei befindet sich die Diatomee immer noch „medio in vitae vigore“, was

¹⁾ Es erscheint mir hier nicht überflüssig, zu bemerken, dass ich alle meine Beobachtungen bei künstlicher Beleuchtung angestellt habe. Als Lichtquelle diente eine Petroleumflamme, deren Strahlen, bevor sie den Spiegel des Mikroskopes trafen, eine mit sehr verdünnter ammoniakalischer Kupfersulfat-Lösung gefüllte Schusterkugel passierten.

wohl unbestreitbar daraus hervorgeht, dass sie mit ihren gefärbten Kugeln ebenso lebhaft dahingleitet, als wenn sie sich in reinem Wasser befände.

Erst wenn die Kugeln bereits intensiv rot-violett geworden sind, beginnt auch der Kern allmählich den Farbstoff zu speichern. Hierbei färbt sich sein ganzes chromatisches Gerüstwerk, also Linin und Chromatin, schwach, der Nukleolus dagegen intensiv rein blau, ohne jede Beimischung eines rötlichen Farbentons. Im allgemeinen kann man sicher sein, dass eine Speicherung von Methylenblau im Kern den Beginn einer tiefer gehenden Schädigung des Organismus bedeutet, welche in der Regel den Tod herbeiführt, selbst wenn der plasmatische Weichkörper noch völlig intakt erscheinen sollte. In einigen Fällen jedoch sah ich die Schiffchen der *Navicula cuspidata* selbst mit gefärbten Kernen noch lebhaft dahin gleiten; ein ganz eigenartiger Anblick durch den Kontrast der goldbraunen Chromatophoren mit den grossen rotvioletten Kugeln und dem blauen Kern.

Gar nicht selten kommt es vor, dass Kugeln, welche lebhaft rot-violett tingiert sind, nach einiger Zeit verblassen und schliesslich wieder ihr normales, d. h. farbloses Aussehen annehmen. Es geschieht dies besonders dann, wenn man die Diatomeen mit gefärbten Kugeln in reines Wasser überführt; von hier wieder in die Methylenblau-Lösung gebracht, vermögen sie den Farbstoff wieder zu speichern und so lässt sich der ganze Vorgang der Speicherung und Entfärbung mehrere Male wiederholen. Ob hierbei die Entfärbung der Kugeln sich einfach durch eine Exosmose des Farbstoffes vollzieht oder ob sie durch eine Reduktion des Methylenblaus zu einem Leukoprodukt, d. h. Methylenweiss zustande kommt, muss ich hier unentschieden lassen¹⁾.

In ähnlicher Weise wie bei *Navicula cuspidata* vollzieht sich die Speicherung des Methylenblaus auch bei sämtlichen anderen Formen, die Bütschliche Kugeln enthalten; eine spezielle Schilderung dürfte darum wohl überflüssig sein. Überall färbten sich die Körnchen und Kugeln zuerst und in rot-violettem Farbenton, bevor noch der Kern sich tief und rein blau tingierte, und überall schienen die vitalen Thätigkeiten der Zelle nicht sonderlich alteriert. Das letztere geht auch daraus hervor, dass bei *Surirella calcarata* Körnchen, die Methylenblau gespeichert hatten, sich an den Wanderungen im Innern gerade so lebhaft beteiligten, wie die ungefärbten.

Wie aus vorstehendem hervorgeht, sind es bei den Diatomeen — soweit die bisherigen Beobachtungen reichen — stets präformierte Körper, welche Methylenblau speichern. Eine Speicherung im Zellsaft, die sich in einer intensiven Blaufärbung desselben oder in Gestalt amorpher oder krystallinischer Ausscheidungen kundgibt, habe ich an den von mir untersuchten Formen nicht wahrnehmen können. Die Diatomeen verhalten sich demnach etwas anders, als jene zahlreichen pflanzlichen Objekte, die Pfeffer bei seinen grundlegenden Studien über Aufnahme von Anilinfarben in lebenden Zellen in den Kreis seiner Untersuchungen zog (100). Bei diesen (z. B. Wurzelhaare von *Azolla*, *Trianea*, *Lemna*, Zellen von *Zygnema* und *Spirogyra*) erfolgte

¹⁾ Über die Möglichkeit einer solchen Reduktion vergl. Pfeffer (100) pag. 279.

die Speicherung grösstenteils im Zellsaft, wie die Pfefferschen Abbildungen (Taf. II) so schön erkennen lassen; in den Fällen, wo eine Speicherung innerhalb des Protoplasmas erzielt wurde, betraf dieselbe Gerbstoffbläschen (z. B. Zygnema auf Pfeffers Taf. II Fig. 9 und 10). Eine Tinktion des Zellkerns tritt nach Pfeffers Versicherung sogleich mit der Tötung als Symptom der Schädigung des Organismus ein.

Indessen gelang es bereits kurze Zeit nach dem Erscheinen der Pfefferschen Arbeit einem Schüler des letzteren, Douglas H. Campbell, eine Färbung des Zellkerns *intra vitam* mit Anilinfarben zu erzielen (25). Campbell operierte mit Methylviolett, Dahlia und besonders Mauvein und kam zum Resultate, dass sich mit den genannten Farbstoffen bei einer ganzen Reihe von Pflanzen sowohl die ruhenden als auch die sich teilenden Kerne im Leben färben lassen. An gelungenen Präparaten erscheint im Kern besonders der Nukleolus deutlich und intensiv gefärbt; auch die Mikrosomen (wohl Chromatinkörnchen) sind oft gut differenziert, während die Zwischen-substanz (Linin) wenig oder gar nicht den Farbstoff speichert – also alles Verhältnisse, welche mit meinen Befunden an Diatomeen sich gut in Einklang bringen lassen.

Methylviolett.

Methylviolett in derselben Verdünnung wie Methylenblau wirkt entschieden giftiger auf den Organismus der Diatomeenzelle ein als der letztgenannte Farbstoff. Eine Tinktion der Bütschli'schen Körnchen und Kugeln liess sich mit ihm *intra vitam* niemals erzielen, dagegen erschienen Plasma und zuweilen auch der Kern schwach violett gefärbt. Infusorien aus der Gattung *Paramecium* schwammen mit violett gefärbtem Plasma in der Lösung noch lebhaft umher.

Bismarck-Braun.

In Bismarck-Braun färben sich die Kugeln der lebenden *Navicula cuspidata* braunrötlich und schien es hierbei, als wenn hauptsächlich die Hülle der Kugeln den Farbstoff speicherte, während das Innere desselben sich schwächer tingierte. Ebenso nehmen auch mehrere kleinere Körnchen¹⁾ in den Plasmaansammlungen an beiden Zellenden den Farbstoff auf, wogegen eine Färbung des Kerns im Leben nicht erzielt werden konnte.

Eosin, Echt-Rot und Jodgrün,

die ganz beiläufig versucht wurden, liessen keine Wirkung auf die Kugeln lebender Diatomeen erkennen.

Osmium-Säure.

Mit 1% Osmiumsäure konnte selbst nach 24stündiger Einwirkung keine Schwärzung der Kugeln von *Navicula cuspidata* erzielt werden; sie blieben hell und matt-

¹⁾ Dieselben, die sich auch mit Delafield'schem Hämatoxylin und Methylenblau färben.

glänzend wie im Leben. Dagegen bräunten sich bei der genannten Art sehr rasch die zahlreichen kleinen Fettkügelchen, welche die beiden Seiten der Plasmabrücke einfassen.

Ein ähnliches negatives Resultat ergaben auch die übrigen untersuchten Arten¹⁾.

Salpeter-Säure.

In konzentrierter Salpetersäure verschwinden die Kugeln nach ganz kurzer Zeit. In einer 2% Mischung lassen sie sich dagegen noch nach etwa 1 Stunde erkennen und zwar meist in einem Zustande, welcher von dem lebenden nur sehr wenig abweicht; einige sind leicht korrodiert, von anderen scheint nur noch die Hülle vorhanden.

Schwefelsäure.

In 2% Schwefelsäure ist nach 1 Stunde die grosse Mehrzahl der Kugeln noch fast unverändert in der plasmolysierten Zelle erhalten. 60% H_2SO_4 zeigt nach 1 Stunde die meisten Kugeln mehr oder weniger stark korrodiert.

Salzsäure.

Zu den Versuchen wurde eine 0,2% Salzsäure sowie konzentrierte verwendet, die auf Alkoholmaterial einwirkte. Während die Kugeln der *Navicula cuspidata* auch im Alkohol ihr normales, mattglänzendes und homogenes Aussehen bewahren, verlieren sie es in ein 0,2% Salzsäure nach ungefähr einer Stunde. Ihr Umriss wird unregelmässig und im Innern treten verschieden stark lichtbrechende Partien auf, welche die Kugeln als unregelmässiges Balkenwerk durchsetzen; schliesslich liegen die Kugeln nur noch als schwach bläuliche Ringe (im optischen Durchschnitt gesehen) zu beiden Seiten der Plasmabrücke (Taf. V Fig. 70—74). Erst nach etwa 24 Stunden verschwindet die Mehrzahl der Kugeln vollständig, namentlich wenn man die ganze Reaktion auf dem Wärmeschrank vor sich gehen lässt.

In lebendem, mit konzentrierter Salzsäure behandeltem Material nahmen die Kugeln nach kürzester Zeit das in Fig. 74 Taf. V wiedergegebene Aussehen an, d. h. sie erschienen im optischen Durchschnitt als Ringe, welche nach mehrstündigem Verweilen in der Säure diese Gestalt bewahrten.

Kalilauge.

Die Kugeln blieben erhalten, wurden aber sehr durchsichtig.

Soda.

In 10% und 20% Lösungen verschwanden die Kugeln.

¹⁾ Ich möchte jedoch nicht unerwähnt lassen, dass mit Osmium fixiertes Material, das wochenlang unbeachtet auf meinem Arbeitstische stand, bei einer zufälligen Untersuchung zahlreiche Exemplare von *Pinnularia oblonga* enthielt, bei denen die Kugeln in den beiden Vakuolen gebräunt erschienen.

Kupfersulfat-Lösung.

Bei Einwirkung einer 1% Kupfersulfatlösung auf Alkoholmaterial lösen sich im Verlauf von etwa 24 Stunden (bei Zimmertemperatur) die Kugeln von *Navicula cuspidata*. Ganz ähnlich verhielten sich lebende Diatomeen, welche direkt in die Kupfersulfatlösung übergeführt wurden.

Kaliumbichromat-Lösung.

In einer kochenden 1% Lösung von doppeltchromsaurem Kali konnten die Kugeln nicht vollständig zum Verschwinden gebracht werden, da sie sich (im optischen Durchschnitt gesehen) als Ringe erhielten. Ebenso wenig trat eine Braunfärbung ein, die auf Vorhandensein von Gerbstoff hätte schliessen lassen können.

Ferrocyankalium + Essigsäure.

Selbst nach etwa 24 stündigem Verweilen in der Lösung¹⁾ bei Zimmertemperatur wiesen die Kugeln noch keine tiefer greifende Veränderungen auf. Weitere 24 Stunden einer erhöhten Temperatur (auf dem Wärmeschränk) ausgesetzt, zeigten einige von ihnen sich gelöst, während von anderen nur der periphere Teil zurückgeblieben war, der im optischen Durchschnitt natürlich als Ring erscheinen musste.

Jod.

Mit der gebräuchlichen Jodtinktur behandeltes Material — gleichviel ob lebend oder fixiert — zeigte die Kugeln vollständig ungefärbt, während Plasma, Kern und Chromatophoren eine lebhaft gelbbraune Farbe annahmen. Das Pyrenoid von *Cymbella* färbte sich besonders intensiv goldgelb.

Alcohol absolut. + Aeth. sulf.

Lebendes oder fixiertes Material in ein Gemisch von gleichen Teilen absolutem Alkohol und Schwefeläther gebracht, zeigte selbst nach längerem Verweilen die Kugeln und Körnchen von *Navicula cuspidata* und *Surirella calcarata* völlig intakt. Die Tinktionsfähigkeit war in keiner Weise beeinträchtigt.

Verhalten gegen Millons Reagenz.

Nachdem das Reagenz auf seine Wirksamkeit geprüft worden war, wurde es mit Alkohol fixiertem, gut ausgewaschenem Diatomeenmateriale zugesetzt. Nach schwachem Erhitzen zeigten zwar einige Kugeln der *Navicula cuspidata* einen ziemlich deutlichen rötlichen Schimmer, doch bei weitem nicht alle. Bei der Mehrzahl der Kugeln war deren

¹⁾ Hergestellt nach den Angaben von Frank Schwarz (131) pag. 7.

Masse in unregelmässige kleine Körnchen und Krümel zerfallen, einige andere zeigten an ihrer Oberfläche ein eigentümliches helles Netzwerk mit dunkleren Lückräumen, während bei etwas tieferer Einstellung das Netz dunkel und die Lückräume heller erschien.

Verhalten gegen künstliche Verdauung.

Zu den Versuchen wurde sowohl lebendes als Alkoholmaterial der *Navicula cuspidata* verwendet. Letzteres liess nach etwa zweistündigem Verweilen in künstlichem Magensaft die ersten Veränderungen erkennen. Die regelmässige Gestalt der Kugeln ging bei den meisten Exemplaren verloren, die Umrisse wurden oft unregelmässig und im Innern traten verschieden stark lichtbrechende Partien in Form eines unregelmässigen Balkenwerkes auf, bis schliesslich von den meisten Kugeln nur deren Hülle zurückblieb. Fig. 70–74 Taf. V führen die Veränderungen vor Augen.

Zusammenfassung.

Überblicken wir noch einmal das physikalische und chemische Verhalten der Bütschlichen Kugeln, so lässt sich nach vorstehendem etwa folgendes zusammenfassen. Die Bütschlichen Kugeln sind Bläschen, erfüllt mit einer ziemlich stark lichtbrechenden, zähflüssigen Substanz und umgeben von einer Hülle, welche sich gegenüber der Einwirkung verschiedener Reagentien resistenter verhält als der Inhalt. Besonders charakteristisch für sie ist ihre intensive Färbbarkeit in Delafieldschem Hämatoxylin, sowie ihre Fähigkeit intra vitam lebhaft Methylenblau zu speichern.

Dieses auffallende Verhalten beiden Farbstoffen gegenüber scheint mir nun ausschlaggebend, wenn es sich darum handelt, die Verbreitung der Bütschlichen Kugeln bei andern Organismen nachzuweisen. Schon Bütschli (21) hat die „roten Körnchen“ nicht nur bei Diatomeen, sondern auch bei Cyanophyceen, im Plasma grüner und farbloser Flagellaten, bei den Algen *Stigeoclonium* und *Chantransia*, sowie endlich bei einem Pilzmycel nachgewiesen. Leh (83) fand dann später entsprechende Gebilde auch bei Desmidiaceen (*Closterium*), sowie im Plasma mehreren Rhizopoden⁴⁾ (*Amoeba*, *Gromia*, *Arcella*). Damit ist aber die Aufzählung der Bütschliche Kugeln enthaltenden Organismen noch keineswegs erschöpft, denn in der Litteratur findet sich eine Anzahl Angaben über eigentümliche Zelleinschlüsse, welche mit den stark färbaren Kugeln der Diatomeen manche Berührungspunkte darbieten.

Zu dieser Kategorie scheint mir beispielsweise ein Teil der von Crato (28, 29) als „Physoden“ bezeichneten Gebilde zu gehören. Crato versteht unter Physoden

⁴⁾ Es scheint mir recht wahrscheinlich, dass bei den Rhizopoden die Bütschlichen Kugeln der aufgenommenen Nahrung entstammen.

„bläschenartige Gebilde, welche sich in den Lamellen (beziehungsweise Fäden) des Plasmagerüstes der Zelle befinden und dadurch die äusserst zartwandigen Lamellen lokal mehr oder weniger auftreiben. Sie besitzen ein stärkeres Lichtbrechungsvermögen als die übrigen Zellbestandteile. Besonders charakterisiert sind sie aber dadurch, dass ihnen ein eigenes Bewegungsvermögen zukommt, indem sie sich selbständig innerhalb der Plasmalamellen verschieben können“ (l. c. pag. 1 d. Sep.).

Mit dieser Definition lassen sich von den Bütschli'schen Kugeln der Diatomeen eigentlich nur diejenigen von *Surirella* einigermaßen in Einklang bringen, da (unter den von mir untersuchten Formen) ihnen allein die Fähigkeit einer anscheinend selbständigen Bewegung zukommt, aber im Gegensatz zu den „Physoden“ stets an der Oberfläche des Plasmas, nie in demselben, wie dies ja an einer anderen Stelle dieser Arbeit (pag. 32—33) geschildert wurde. Wenn ich trotzdem nähere Beziehungen zwischen Bütschli'schen Kugeln und Physoden nicht für unwahrscheinlich halte, so geschieht dies darum, weil Crato das Vorkommen seiner Physoden auch für einige Diatomeen (*Melosira*, *Pleurosigma*, *Tabularia*, *Coscinodiscus*) angegeben hat und sie mit jenen schon lang bekannten, glänzenden, tropfenartigen Gebilden identifiziert, welche sich langsam im Plasma umherbewegen — also mit Gebilden, welche den hin- und hergleitenden Körnchen von *Surirella* morphologisch entsprechen dürften. Was die Ähnlichkeit zwischen Bütschli'schen Kugeln und Physoden der Braunalgen noch vermehrt, ist der Umstand, dass auch letztere sich mit Methylenblau *intra vitam* färben lassen, wie Crato anmerkungsweise mitteilt. Dass schliesslich bei Braunalgen auch Physoden vorkommen, welche in Zukunft wahrscheinlich mit den Bütschli'schen Kugeln sich direkt identifizieren lassen werden, entnehme ich ausserdem noch aus folgenden Angaben Cratos: „An dieser Stelle mag gleich darauf hingewiesen werden, dass es nicht ausgeschlossen ist, dass bei einigen braunen Algen Physoden mit verschiedenem chemischen Inhalt vorkommen. Es finden sich nämlich noch andere tröpfchenähnliche Gebilde im Plasma dieser Algen. Diese Tröpfchen ähneln morphologisch sehr den Physoden, doch haben sie meist ein mehr öltropfenartiges Aussehen Ich habe diese Tröpfchen, welche übrigens keineswegs sehr verbreitet sind, noch nicht weiter verfolgt. Durch Osmiumsäure werden sie nicht oder nur braun gefärbt“ (l. c. pag. 20—21). Das hier erwähnte „öltropfenartige Aussehen“, sowie besonders das Verhalten gegen Osmiumsäure entspricht vollkommen demjenigen der typischen Bütschli'schen Kugeln in den Diatomeen.

Stark lichtbrechende, öltartige Kugeln, welche im lebenden Zustande sehr reichlich Methylenblau aus stark verdünnten Lösungen speichern, hat Raeborsky (110) von den chlorophyllösen Trichomen junger *Myriophyllum*-Blätter beschrieben. Später wurde die weite Verbreitung derartiger Zelleinschlüsse für zahlreiche Wasserpflanzen von Schilling (122) festgestellt. Das optische und chemische Verhalten dieser „Myriophyllin“-Kugeln erinnert in mancher Hinsicht sehr an dasjenige der Bütschli'schen Kugeln; fraglich ist noch, ob sie mit diesen auch darin übereinstimmen, dass sie sich mit Delafieldschem Hämatoxylin färben.

Sehr wahrscheinlich gehören auch die von Palla (99) beschriebenen „Karyoide“ der Konjugaten in die nämliche Kategorie wie die Bütschli'schen Kugeln, zumal da ich letztere schon früher (83) für eine Desmidiacee (*Closterium*) angegeben habe.

Schon Raeborsky hat darauf aufmerksam gemacht, dass die Inhaltskörper der von ihm untersuchten *Myriophyllum*-Trichome eine Anzahl Reaktionen aufweisen, welche auch denen der Phloroglucins $C_6H_3(OH)_3$ zukommen; in noch ausgedehnterem Masse hat dies Crato für seine Physoden gethan. Diese Befunde veranlassten mich, auch die Bütschli'schen Kugeln der Diatomeen auf Phloroglucin zu prüfen, wobei ich mich des von Lindt (87) empfohlenen Vanillin-Salzsäure¹⁾-Gemisches bediente. Es wollte mir indessen nicht gelingen, eine deutliche Rotfärbung der Kugeln zu erzielen, aus der man mit Sicherheit auf die Anwesenheit von Phloroglucin hätte schliessen können. Auf der anderen Seite spricht wieder für Phloroglucin die Fähigkeit der Bütschli'schen Kugeln (ebenso wie der Physoden und *Myriophyllum*-Kugeln), Methyleneblau im lebenden Zustande zu speichern, auf welche Eigenschaft des Phloroglucins schon Waage (141) hingewiesen hat.

Es dürfte noch etwas verfrüht erscheinen, schon jetzt bestimmte Ansichten über die Rolle der Bütschli'schen Kugeln im Haushalt der Diatomeenzelle zu äussern. Der Umstand, dass die grossen Kugeln der *Navicula cuspidata* etc. bei der Kern- und Zellteilung verschwinden und die kleinen von *Surirella* sich besonders zahlreich an den sich bildenden neuen Schalenhälften ansammeln, dürfte möglicherweise darauf hindeuten, dass der Inhalt der Kugeln in irgend einer Weise bei der Neubildung lebendiger Substanz verbraucht wird. Eine einigermaßen sichere Entscheidung in dieser Frage wird sich indessen erst durch eine spezielle Untersuchung erzielen lassen, welche gleichzeitig auch die den Bütschli'schen Kugeln der Diatomeen entsprechenden Gebilde anderer Organismen in Betracht zieht.

¹⁾ Wie dieses Gemisch auf das *Myriophyllum* einwirkt, hat kürzlich Pröschner (107) dargelegt.

III. Der Kern.

Dem wichtigsten Organe der ganzen Diatomeenzelle, dem Kern, ist von den früheren Beobachtern nur sehr geringe Aufmerksamkeit geschenkt worden. Focke hat ihn wohl als erster bei *Pinnularia viridis* und *Surirella biseriata* beschrieben (47); 1862 konnte Lüders (88) das Vorhandensein eines Kerns in jeder Diatomeenzelle als allgemein gültiges Gesetz aussprechen, worin ihr Pfitzer (101) beistimmt, „da in vielen Fällen, wo auch mit guten Systemen kein Kern zu entdecken ist, die Anwendung von Reagentien einen solchen nachweist“ (l. c. pag. 31). Strukturverhältnisse des Kerns werden nirgends erwähnt, sondern der Kern wird vielmehr — auch von der Mehrzahl der späteren Forscher — in sehr schematischer Weise als körnerfreies Bläschen mit centralem grossem Kernkörperchen gezeichnet und beschrieben¹⁾. In seiner Mitteilung über das Centrosom von *Surirella* gedenkt Bütschli (22) 1891 beiläufig der interessanten Strukturverhältnisse, welche der Kern dieser Gattung schon im Leben darbietet, ohne jedoch näher darauf einzugehen. Später habe ich dann sowohl bei *Surirella* als auch bei einer Anzahl anderer Arten die Strukturen des ruhenden und sich teilenden Kerns an lebendem und fixiertem Materiale untersucht und darüber in meiner vorläufigen Mitteilung berichtet (83).

Lage und Gestalt des Kerns.

Sämtlichen bis jetzt untersuchten Diatomeen kommt ein Zellkern nur in der Einzahl zu; gegenteilige Angaben, wie die von H. L. Smith (133), dass in vielen Süsswasser-Diatomeen konstant zwei Kerne vorhanden seien, beruhen auf durchaus

¹⁾ In einer durchweg russisch geschriebenen und mir daher unzugänglichen Arbeit giebt Reinhard (111) auf Taf. VIII und XI des Atlas mehrere Abbildungen von Diatomeenkernen (*Synedra*, *Rhabdosphaera*), die neben den Nukleolen auch noch Körnchen erkennen lassen.

mangelhaften Beobachtungen. So hat Smith z. B. bei der nach ihm zweikernigen *Surirella splendida* (Plate 2 seiner Arbeit) den wirklichen Zellkern überhaupt nicht gesehen¹⁾ und bei der anderen Form, *Cocconema*, scheint er das Pyrenoid mit einem Kern verwechselt zu haben.

Abgesehen von denjenigen Fällen, z. B. bei *Melosira*, wo der Kern einfach in den plasmatischen Wandbelag der Zelle eingebettet ist, ist derselbe sonst stets von einer mehr oder weniger ansehnlichen Plasmamasse umgeben, welche sich gewöhnlich in der Mitte der Zelle oder auch einer Gürtelseite genähert von Schale zu Schale erstreckt. Welche Lage und welche Gestalt der Kern hierbei auch haben mag, immer liegt er symmetrisch im Innern der Diatomeenzelle. Auf Grund meiner Untersuchungen glaube ich folgende Sätze als allgemeine Regel aussprechen zu können²⁾:

Der Kern ist stets so gelagert, dass er von mindestens zwei durch die Diatomeenzelle gelegten und auf einander senkrecht stehenden

¹⁾ Was Smith als Kerne abbildet, sind wohl dieselben eigentümlichen kugeligen Gebilde, welche ich auch bei *Surirella calcarata* oft beobachtete, deren Natur mir jedoch noch nicht recht klar wurde. Sie liegen hier in der Einbuchtung der mittleren Plasmamasse, oft etwas in das Plasma eingesenkt und scheinen vakuoliger Natur zu sein, da sie bei Verletzungen der Zelle sofort verschwinden und sich auch auf keine Weise fixieren lassen. Wie man diese so überaus vergänglichen Gebilde für Kerne halten kann, ist mir unverständlich.

²⁾ Die unverkennbaren Wechselbeziehungen zwischen Lage und Gestalt des Diatomeen-Kernes einerseits und Gestalt der ganzen Zelle andererseits haben mich schon geraume Zeit beschäftigt; als Resultat dieser Studien glaube ich das oben formulierte Gesetz aussprechen zu können. Während der Ausarbeitung dieses Abschnittes über den Kern erschien eine Abhandlung von O. Müller „Über Achsen, Orientierungs- und Symmetrie-Ebenen bei den Bacillariaceen“ (96), die sich aber lediglich mit den Symmetrieverhältnissen des Kieselpanzers befasst. Da mir die von Müller vorgeschlagenen Bezeichnungen im ganzen recht präzis und nachahmenswert erscheinen, so zögere ich nicht, dieselben auch hier in Anwendung zu bringen und die von mir früher gewählten, mehr umschreibenden Ausdrücke fallen zu lassen.

Zum besseren Verständnis sei beigefügt, dass O. Müller die übergreifende Zellmembran des Diatomeenpanzers *Epitheca*, die umschlossene *Hypotheca* nennt; die Schalen heissen *Valvae*, die Gürtelbänder *Pleurae*. Die Hauptachse, zugleich morphologische Längsachse, nennt Müller *Pervalvarachse*. Sie ist diejenige Linie, „welche von dem Mittelpunkt der Theilungsebene den Zellraum in epithecaler und hypothecaler Richtung und in gleichen Abständen von homologen Punkten der umschliessenden Wandflächen durchsetzt und die Mittelpunkte beider Schalen (*Valvae*) verbindet“. Die *Apikalachse* „ist diejenige Linie, welche das Centrum der Pervalvarachse in der Richtung der Raphe (bezw. in der Richtung der längsten Ausdehnung der Schalen) und in gleichen Abständen von homologen Punkten der Gürtelbandflächen durchschneidet und die apices durchsetzt“. „Die zweite zur Apikalachse rechtwinkelig gerichtete, das Centrum der Pervalvarachse schneidende Transversalachse der heteraxonen Syngrammen und der Sympeden“ nennt Müller *Transapikalachse*. Dieselbe, stets eine gerade Linie, verbindet also die beiden Gürtelbänder (*Pleurae*). Durch diese drei auf einander senkrecht stehenden Achsen lassen sich folgende Ebenen legen. Die *Valvarebene* ist „diejenige Ebene, welche durch die Apikalachse und die Transapikalachse gelegt wird“. Sie fällt mit der Zellteilungsebene zusammen. *Apikalebene* wird die auf der Valvarebene senkrecht stehende Ebene genannt, „welche durch die Pervalvarachse und die Apikalachse gelegt wird“. *Transapikalebene* nennt Müller schliesslich „die auf den beiden ersten Ebenen senkrecht stehende Ebene, welche durch die Pervalvarachse und die Transapikalachse gelegt wird“.

Müller macht in seiner Arbeit schliesslich noch einen Unterschied zwischen Symmetrie und Konsimilität und verwendet letzteren Ausdruck für jene Fälle, wo die beiden Teilhälften einander nicht

Symmetrie- oder Orientierungsebenen in zwei entsprechende symmetrische Hälften geteilt wird. Immer ist es hierbei die Valvar- oder Zellteilungsebene, welche den Kern in zwei annähernd symmetrische Hälften zerlegt, sodass also in jede der beiden übereinander greifenden Schalenhälften des Panzers sich auch eine Hälfte des Kerns hineinerstreckt; daneben wird der Kern stets noch entweder durch die Apikalebene oder durch die Transapikalebene oder endlich auch durch beide in annähernd symmetrische Hälften geteilt. In den weitaus meisten Fällen teilen die den Kern in symmetrische Hälften zerlegenden Ebenen auch die ganze Zelle mit ihrem plasmatischen Inhalt in symmetrische Hälften.

Eine nähere Begründung und Erläuterung dieser Sätze dürfte sich wohl am besten durch eine vergleichende Betrachtung der Symmetrieverhältnisse der näher untersuchten Formen geben lassen und bitte ich hierbei besonders die Abbildungen zu Rate ziehen zu wollen.

Am einfachsten von sämtlichen untersuchten Formen sind die Symmetrieverhältnisse bei der radiär gebauten Gattung *Cyclotella* (Taf. II Fig. 21). Hier liegt der rundliche Kern genau im Centrum der (bei Ansicht von der Schalseite) kreisförmig begrenzten Zelle inmitten einer Plasmaansammlung, von der radiäre Plasmazüge zu den Gürtelseiten ausstrahlen. Sämtliche Symmetrieebenen schneiden sich im Mittelpunkt des Kerns, welcher genau mit dem Centrum der Zelle zusammenfällt. Die kreisförmig begrenzte Valvarebene zerlegt die Zelle in zwei nur durch die kleine Grössendifferenz zwischen der umschliessenden und umschlossenen Schalenhälfte von einander verschiedene symmetrische Hälften; die hier zusammenfallenden unendlich vielen Apikal- und Transapikalebene halbieren alle den Kern sowie auch die Zelle.

Bei der Gattung *Navicula* und *Pinnularia* (Vergl. Taf. II Fig. 15 und 16, 18) befindet sich der in der Regel sphäroidale oder auch ellipsoidale Kern genau im Centrum der mittleren Plasmabrücke; sein gewöhnlich vom Nukleolus eingenommener Mittelpunkt fällt mit dem Schnittpunkt der Pervalvarachse, Apikalachse und Transapikalachse sowie deren Ebenen zusammen. Sämtliche Ebenen, welche die ganze Zelle symmetrisch halbieren, zerlegen auch den Kern in symmetrische Hälften, mag derselbe nun sphäroidal oder ellipsoidal sein.

gleich, sondern nur ähnlich sind. Es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, dass eine derartige Unterscheidung bei einer Schilderung der morphologischen Verhältnisse des starren Panzers für eine schärfere Präzisierung von Wert ist. Beim Betrachten des lebenden plasmatischen Inhalts des Panzers indessen, scheint mir jedoch der Ausdruck „symmetrisch“ vollständig ausreichend zu sein, wenn man sich hierbei nur stets gegenwärtigt, dass eine ganz strenge Symmetrie durch die oft unregelmässige Lage der Nukleolen im Kern, durch die Anordnung sekundärer Plasmazüge und -stränge, sowie endlich auch durch eine etwas unregelmässige Lagerung und Lappung der Chromatophoren, eine ungleichmässige Verteilung gewisser Einschlüsse u. s. w. mehr oder weniger alteriert erscheint. Immerhin ist die Symmetrie auch des plasmatischen Inhalts der Zelle eine sehr weitgehende, und ich glaube darum auch diesen Ausdruck in der Folge — aber stets mit der genannten Einschränkung — beibehalten zu können.

Stauroneis acuta (Taf. II Fig. 14) mit ihrem bikonvexen Kern schliesst sich bezüglich ihrer Symmetrieverhältnisse eng an *Navicula* an.

Bei *Pleurosigma attenuatum* (und *Pl. acuminatum*, *Pl. angulatum*), welches gewöhnlich einen kugeligen, seltener etwas unregelmässigen Kern besitzt (Taf. IV Fig. 38 und 39), liegt der Mittelpunkt des Kerns ebenfalls dort, wo die hier schwach S-förmig gekrümmte Apikalachse von der Transapikalachse und Pervalvarachse geschnitten wird. Die Valvarebene teilt die Zelle mit ihrem Inhalt in zwei annähernd symmetrische Hälften; Apikal- und Transapikalebene halbieren zwar ebenfalls den Kern symmetrisch, während sie die übrige Zelle in zwei Hälften teilen, die nach Müllers Bezeichnung einander diagonal symmetrisch sind.

Die langgestreckte, schwach S-förmig gekrümmte *Nitzschia sigmoidea* besitzt in der Mitte der Zelle einen langgestreckt elliptischen, stark abgeflachten Kern, in dessen Mittelpunkt sich die drei Achsen schneiden und der durch deren Ebenen in annähernd symmetrische Hälften geteilt wird.

Anders als bei den eben behandelten Arten liegen die Symmetrieverhältnisse bei *Surirella calcarata* Pfitz. Diese Art besitzt in der Mitte der Zelle einen grossen Kern, welcher bei Ansicht an der Gürtelseite her nieren- oder bohnenförmige Umrisse erkennen lässt und hierbei seine eingebuchtete Seite (also seine grössere Oberfläche!) konstant dem breiteren Zellende zukehrt (Taf. IX Fig. 20). Die drei Achsen schneiden sich im Kern. Die Valvarebene teilt, mitten durch die Kernbucht gehend, den Kern in zwei annähernd symmetrische Lappen, die Apikalebene ihn in zwei Hälften, die nieren- oder bohnenförmige Gestalt besitzen; beide Ebenen zerlegen auch die ganze Zelle in annähernd symmetrische Hälften. Ganz anders verhält sich die Transapikalebene. Sie teilt den Kern völlig asymmetrisch, gerade wie sie auch die ganze Zelle in zwei an Grösse ganz verschiedene Teile zerlegt. Ein Blick auf die Abbildung lässt dies ohne weiteres erkennen.

Wenn bei *Surirella* ganz am Beginn der Kernteilung das Centrosoma etwas aus der Kernbucht herausrückt und zum Mittelpunkt prächtiger Strahlungen des umgebenden Plasmas wird, so liegt es in der Erstreckung der Apikalachse und wird geschnitten von der Valvarebene, gegen welche somit der gesamte plasmatische Inhalt der Zelle sowie der umschliessende Kieselpanzer symmetrisch gruppiert ist. (Vergl. Fig. 13f Taf. IX.)

Einen nieren- oder bohnenförmigen Kern wie *Surirella* besitzt auch *Cymbella cuspidata*, doch liegt derselbe hier in einer etwas unregelmässigen gelappten Plasmamasse einseitig der schwächer gewölbten Gürtelseite an und wendet seine eingebuchtete Seite dem Binnenraum der Zelle zu (Fig. 17 Taf. II). Die symmetrische Halbierung des Kerns und der Zelle geschieht durch andere Ebenen als bei *Surirella*. Während bei dieser, wie wir oben sahen, die Transapikalebene Kern und Zelle in zwei asymmetrische, ganz ungleich grosse Stücke teilte, zerlegt dieselbe Ebene bei *Cymbella* — mitten durch die Kernbucht und das Centrum des kugeligen Pyrenoids gehend — Kern und Zelle in zwei symmetrische Hälften, an denen jede einen halben

Kern, ein halbes Pyrenoid, vier Chromatophorenlappen und eine grosse Bütschliche Kugel in Vakuole enthält. Die Symmetrie ist also in Bezug zur Transapikalebene eine sehr weitgehende; sie wird eigentlich nur durch die unregelmässige Begrenzung der Plasmamasse sowie durch die von ihr ausgehenden Plasmastränge und -fäden etwas gestört. Weiterhin teilt auch die Valvarebene die Cymbella-Zelle in symmetrische Hälften; sie zerlegt den Kern in zwei nierenförmige Stücke, während sie bei *Surirella* denselben in zwei Lappen zerschneidet. Die Apikalebene endlich, welche den *Surirella*-Kern und die ganze Zelle in ähnliche symmetrische Hälften zerlegt, berührt den Kern der Cymbella entweder gar nicht oder höchstens an seinem Rande und teilt auch die Zelle mit ihrem plasmatischen Inhalt in zwei ganz ungleiche Teile.

Neben den hier etwas eingehender behandelten Formen habe ich noch eine Reihe anderer Gattungen, soweit mir dieselben lebend oder in Präparaten zur Verfügung standen, in Bezug auf die Symmetrieverhältnisse ihrer Kerne geprüft und ich kann sagen, dass mir bis jetzt kein Fall vorgekommen ist, der mit der im Eingang dieses Abschnittes aufgestellten Regel im Widerspruch stände.

Beobachtungen wie die vorliegenden gewähren, wie mir scheint, einen nicht uninteressanten Einblick in die innigen Wechselbeziehungen, welche zwischen Lage und Gestalt des Kerns einerseits und Gestalt der ganzen Zelle andererseits bestehen. Sie lassen klar erkennen, dass der Kern im Innern der Zelle eine solche Lage einzunehmen bestrebt ist, in welcher er nach allen Richtungen hin möglichst gleichmässig seine Wirksamkeit entfalten kann, dass er sich also, um einen Ausdruck O. Hertwigs zu gebrauchen, in die Mitte seiner „Wirkungssphäre“ einzustellen sucht. Oder mit anderen Worten: Das Bestreben des Kernes geht dahin, im Innern der Diatomeenzelle eine solche Lage einzunehmen, dass er von allen homologen Punkten der Zellmembran und des davon umschlossenen plasmatischen Weichkörpers möglichst gleichweit entfernt ist.

Ein solches Bestreben wird erst verständlich, wenn wir uns vergegenwärtigen, in welcher bedeutsamer Weise gerade der Kern in alle vitalen Funktionen der Zelle eingreift, wie sehr er alle formativen und nutritiven Prozesse derselben beherrscht. Daran lassen die zahlreichen Untersuchungen der letzten Jahre von Haberlandt (54), Klebs (79) und Strasburger (138) auf botanischer, von Balbiani (3), Gruber (51), Hofer (69), Korschelt (80), Verworn (140) etc. auf zoologischer Seite wohl keinen Zweifel bestehen. Soll der Kern mit allen Regionen einer von starrer Membran umschlossenen Zelle gleichmässig in innige Wechselwirkungen treten, so muss er — falls er nicht durch strömendes Protoplasma im ganzen Innern der Zelle herumgeführt wird — notwendigerweise eine derartige Lage einzunehmen suchen, dass ihm auch nach allen Seiten hin eine möglichst gleichmässige Wirkung auszuüben gestattet ist. Besteht nun, wie bei den Diatomeen, die Zelle aus zwei paarigen Hälften, welche wie der jeweils davon umschlossene Weichkörper im wesentlichen gleich gebaut sind, so wird wohl auch jene Lage des Kerns am zweckmässigsten sein, die jeder symmetrischen Schalenhälfte auch eine symmetrische

Hälfte des Kerns zukommen lässt. Dies ist aber nur dann möglich, wenn der Kern stets von der Valvarebene symmetrisch halbiert wird, wie ich es in der That bei allen von mir untersuchten Diatomeen fand. Bis jetzt ist mir kein Fall bekannt, wo der Kern einseitig einer Schalen-seite anliegt. —

Nach diesen Befunden an Diatomeen lag es natürlich nahe, auch andere symmetrische Organismen auf die Symmetrieverhältnisse ihrer Kerne zu untersuchen. Dabei lenkte sich der Blick vor allem auf die Desmidiaceen.

Wie bekannt, ist die Zelle der meisten einzeln lebenden, d. h. nicht zu fadenförmigen Verbänden vereinigten Desmidiaceen (*Cosmarium*, *Euastrum*, *Staurastrum*, *Micrasterias* etc.), gewöhnlich durch eine mittlere, mehr oder weniger tief greifende Einschnürung in zwei symmetrische Hälften geteilt. Zu beiden Seiten der Mittellinie, wo die beiden symmetrischen Hälften der Cellulosemembran übereinander greifen, weichen alle Desmidiaceen bei der Zellteilung auseinander und wir können darum jene Ebene, welche die Desmidiacee in zwei symmetrische Hälften zerlegt, am passendsten als Zellteilungsebene bezeichnen.

Durch die Mitte dieser Zellteilungsebene lassen sich noch zwei andere darauf senkrecht stehende Ebenen legen, welche ebenfalls die ganze Zelle mit ihrem Inhalt in zwei symmetrische Hälften teilen, wie ein Blick auf einen lebenden Vertreter einer der genannten Gattung oder auf eine entsprechende Abbildung ohne weiteres ergiebt. Auch bei denjenigen Gattungen, denen wie z. B. *Penium* eine mittlere Einschnürung abgeht, finden wir die drei Symmetrieebenen wieder vor; die Lage und Richtung der Zellteilungsebene ist hier fest durch jene Stelle markiert, wo die beiden symmetrischen Hälften der Zellmembran übereinander greifen. Ist jedoch die Gestalt der Zelle eine mehr oder weniger halbmondförmig gekrümmte wie bei *Closterium*, so giebt es ausser der Zellteilungsebene natürlich nur noch eine Ebene, welche die ganze Zelle symmetrisch teilt.

Bei sämtlichen, mir bekannten Gattungen der Desmidiaceen liegt nun der Zellkern stets in der Mitte der Zelle, und zwar so, dass er nicht nur von der Zellteilungsebene, sondern auch von den anderen Ebenen, welche die Zelle symmetrisch halbieren, in symmetrische Hälften geteilt wird. Wie bei den Diatomeen ragt also auch bei den Desmidiaceen in jede Zellhälfte eine Hälfte des Kerns hinein.

Struktur des ruhenden Kerns.

Der Kern hebt sich bei zahlreichen Diatomeen schon im Leben mit grosser Deutlichkeit vom umgebenden Plasma ab, während bei anderen Formen wieder seine Umrisse auch bei starken Vergrösserungen sich oft nur mit Mühe erkennen lassen. Beispiele für den ersten Fall liefern von den untersuchten Arten besonders *Pinnularia oblonga*, *Pleurosigma attenuatum*, *Pleurosigma acuminatum*, *Stauroneis acuta*, *Cymbella cuspidata* und *Cymbella Ehrenbergii* etc., während

Surirella calcarata, *Surirella biseriata* und zahlreiche Exemplare von *Pinnularia viridis-maior-nobilis* den zweiten Fall illustrieren. Nicht unerwähnt soll bleiben, dass auch bei jenen Formen, deren Kernumrisse im Leben undeutlich sind, dieselben — allerdings nur auf kurze Zeit — überaus scharf und bestimmt hervortreten, wenn die Zelle abzusterben beginnt.

Beim Studium der Litteratur fällt es auf, dass die früheren Beobachter das Innere des Kerns — abgesehen vom Nukleolus — ausdrücklich als „klar und körnchenfrei“ schilderten, da doch selbst bei relativ schwachen Vergrösserungen sich an allen Diatomeen-Kernen mehr oder weniger deutliche Strukturen erkennen lassen. Betrachtet man z. B. eine *Pinnularia viridis* oder *Pinnularia oblonga*, eine *Nitzschia* oder *Cymbella*, so sieht man das Innere des Kerns gleichmässig erfüllt mit zahlreichen kleinen, dicht gedrängten Körnchen, die (bei starker Vergrösserung) an günstigen Stellen zarte Verbindungsfäden unter sich erkennen lassen und die ferner stets ein oder mehrere grössere Kügelchen, die Nukleolen, umschliessen. Bei anderen Arten, so vor allem bei *Surirella calcarata*, *Surirella biseriata* etc., *Pleurosigma attenuatum* bei mittlerer Einstellung, bietet der Kern auch im Leben ein mehr schwammiges Aussehen dar, weil die Verteilung der Körnchen und der sie verbindenden Fäden in seinem Innern keine gleichmässige, sondern eine in den verschiedenen Regionen des Kerns wechselnde ist.

Einen richtigen Einblick in den Aufbau des Kerns gewähren indessen erst Diatomeen, welche gut fixiert und gefärbt sind. An diesen lässt sich erkennen, dass der gesamte von der Kernmembran umschlossene Raum durchsetzt wird von einem im optischen Durchschnitt netzförmig erscheinenden Gerüstwerk, welches Farbstoffe nur relativ wenig speichert. Dasselbe besteht aus Linin, wenn wir die von Frank Schwarz (1911) vorgeschlagene Bezeichnung hier in Anwendung bringen wollen. Den Knotenpunkten dieses Netzwerkes ist das Chromatin in Gestalt kleinerer oder grösserer Körnchen eingelagert, welche sich sehr stark färben; daneben umschliesst das Gerüstwerk noch stets einen oder mehrere Nukleolen von wechselnder Grösse. Die eben genannten Bestandteile des Kerns lassen sich an gelungenen Präparaten, die z. B. mit Jodalkohol und Delafield'schem Hämatoxylin behandelt wurden, meist schon durch den Farbenton unterscheiden, der ihnen von dem Hämatoxylin mitgeteilt wird. Das Liningerüst erscheint bläulich, die eingelagerten Chromatinkörnchen mehr rötlich gefärbt, während die Nukleolen eine schmutzig-bläuliche Farbe annehmen. Bei Lebendfärbung mit wässriger Lösung von Methylblau fehlen, wie früher schon erwähnt, Färbungsdifferenzen innerhalb des Kerns vollständig, indem Linin, Chromatin sowie ganz besonders das sogen. Pyrenin der Nukleolen alle in gleicher Weise rein blau tingiert werden.

Das Linin-Gerüst ist bei den verschiedenen Diatomeenkernen in wechselnder Weise ausgebildet und dieser Umstand bedingt in erster Linie das verschiedene Aussehen, welches die Kerne der einzelnen Arten sowohl im lebenden als auch im konser-

vierten Zustände darbieten. Dies lässt sich in folgendem leicht an der Hand der näher untersuchten Arten nachweisen.

Bei zahlreichen Diatomeen – es seien hier nur *Nitzschia sigmoidea* (Taf. III Fig. 23), *Pinnularia oblonga* (Taf. V Fig. 53), *Stauroneis acuta* (Taf. II Fig. 14), *Cymbella cuspidata*¹⁾ (Taf. II Fig. 17), *Cymatopleura Solea* (Taf. V Fig. 69) *Cymatopleura elliptica* genannt – ist das netzförmig erscheinende Liningergüst im Innern des Kerns durchgängig sehr regelmässig engmaschig ausgebildet und enthält die zahlreichen kleinen Chromatinkörnchen in annähernd gleichen Abständen von einander in den Knotenpunkten des Netzwerkes eingelagert. Die Nucleolen sind bei *Nitzschia* und *Cymbella* gewöhnlich recht klein und in Mehrzahl vorhanden; da sie die Chromatinkörnchen meist nur um wenig an Grösse übertreffen, so erscheinen derart gebaute Kerne im Leben gleichmässig „körnig“. Die anderen oben aufgeführten Formen besitzen grössere kugelige Nucleolen, welche gewöhnlich im Mittelpunkt des Kerns liegen und zwar meist in der Einzahl; bei *Pinnularia oblonga* (und bei *Pinnularia viridis*) findet man jedoch auch häufig zwei Nucleolen, namentlich wenn der Kern, wie es hier oft vorkommt, ellipsoidal ist²⁾. Da, wo das Gerüstwerk an die Kernmembran oder an den Nucleolus angrenzt, ordnen sich seine Bälkchen fast stets deutlich radiär an, was sich an günstigen Objekten wie *Pinnularia oblonga* oft schon im Leben beobachten lässt. Es bildet sich also hier ein deutlicher „Alveolarsaum“ aus, der auch schon an Kernen anderer Organismen beobachtet wurde, so zuerst von Bütschli bei Kernen einer *Acinete* und *Amoeba* (24), dann von Schaudinn bei *Amoeba crystalligera* und von mir (85) bei Kernen der Dinoflagellate *Ceratium hirundinella*.

Bei den Arten der Gattung *Pleurosigma*, soweit ich dieselben untersuchen konnte (*Pleurosigma attenuatum*, *Pleurosigma acuminatum*, *Pleurosigma angulatum*), zeigen die peripheren Schichten des Kerns ebenfalls ein sehr engmaschiges Gerüstwerk mit eingelagerten Chromatinkörnchen; im Innern jedoch ist das Maschenwerk viel lockerer, unregelmässiger und umschliesst stets mehr oder weniger grosse Hohlräume (vergl. Taf. IV Fig. 38, 39). Die oft ziemlich dicken Stränge des Netzwerkes, welche das Kerninnere nach allen Richtungen hin durchsetzen, sind mit Chromatinkörnchen dicht besetzt und zeigen nicht selten selbst wieder einen feinmaschigen Bau, was sich besonders gut an den Knotenpunkten beobachten lässt. Auch in der unmittelbaren Umgebung der Nucleolen ist die Struktur des Gerüstwerks stets sehr feinmaschig.

Der grosse nierenförmige Kern von *Surirella calcarata*, welcher in seinem Querdurchmesser bis zu 45μ misst, zeigt in seinen peripheren Partien ein ziemlich lockeres unregelmässiges Netzwerk mit zahlreichen Chromatinkörnchen in den Knotenpunkten und im Verlauf der Stränge (Fig. 111 Taf. VII). Gegen das Innere zu wird das Gerüst engmaschiger, ist aber oft fast vollständig verdeckt durch die grosse Zahl der einge-

¹⁾ Ebenso die übrigen Arten der Gattung wie *C. Ehrenbergii*, *C. gastroides* etc.

²⁾ Bei *Pinnularia oblonga* kommen auch Kerne vor, die in ihrer Mitte schwach eingebuchtet sind, dann liegt in jeder Hälfte gewöhnlich ein Nucleolus.

lagerten dichtgedrängten Chromatinkörnchen. Dieselben besitzen hier eine verschiedene Grösse: neben kleinen Körnchen finden sich grössere Kugeln oder auch unregelmässige Brocken, welche ihre Lage besonders in den Knotenpunkten haben. Die grösseren Kugeln lassen in ihrem Innern bei Anwendung stärkster Systeme gar nicht selten eine netzige, oder richtiger gesagt, wabige Struktur erkennen, ebenso wie manchmal die Nukleolen. Letztere sind bei *Surirella calcarata* sehr zahlreich und von wechselnder Grösse; ich zählte bei vielen Exemplaren bis zu zehn. Sie liegen stets in der Mitte des Kerns, überall umhüllt von dem engmaschigen chromatinreichen Gerüstwerk, dessen Bälkchen sich in der Regel radiär zu ihrer Oberfläche anordnen.

Surirella biseriata besitzt einen ganz ähnlich gebauten Kern mit lockerem Gerüstwerk. (Fig. 64 auf Taf. V.) Die nach vorn gerichtete Kernbucht ist hier sehr schmal, weil der Kern in der Richtung der Schalenseiten stark zusammengedrückt erscheint, was wohl mit dem Bau der ganzen Zelle zusammenhängt.

In vorstehendem habe ich immer von einer „netzförmigen“ Anordnung des Gerüstwerkes im Diatomeenkern gesprochen; es fragt sich nun, inwiefern ein derartiger Ausdruck den thatsächlichen Verhältnissen entspricht. Dass die geschilderten Strukturen wirklich im Leben vorhandene und nicht etwa durch Reagentien entstandene Artefekte sind, kann keinem Zweifel unterliegen, da sie ja auch an lebenden Diatomeen deutlich genug zu beobachten sind. Es lässt sich durch eine direkte Gegenüberstellung einer lebenden und einer fixierten Diatomee auch leicht feststellen, in welcher Weise die gebräuchlichsten Fixierungsmittel¹⁾ auf die Kernstruktur einwirken; man vergleiche hierzu die Abbildung des lebenden Kernes von *Nitzschia sigmoidea* auf Taf. II Fig. 22 mit derjenigen eines mit Chromosmiumessigsäure und mit Delafieldschem Hämatoxylin behandelten Kernes (Taf. III Fig. 23). Wir sehen hier, dass durch die Fixierung nur eine kleine Volumverminderung der zahlreichen Chromatinkörnchen, also eine geringe Schrumpfung derselben, bewirkt wird, wodurch das verbindende Liniengerüst deutlicher zur Anschauung gelangt. Wir sind somit wohl berechtigt, die hier geschilderten Kernstrukturen als vitale aufzufassen.

Weiterhin lässt sich meiner Ansicht nach mit Sicherheit behaupten, dass die Struktur des Kerns, im optischen Durchschnitt gesehen, als Netzwerk in Erscheinung tritt und nicht etwa als ein Komplex durcheinander gewundener Fäden, welche durch seitliche Brücken mit einander in Verbindung stehen, wie es Strasburger in seinen früheren Arbeiten und auch neuerdings wieder in seinem Lehrbuch der Botanik²⁾ für Pflanzenkerne hervorhebt. Die Annahme von Kernfäden dürfte namentlich bei den so regelmässig engmaschigen Kernen von *Pinnularia oblonga*, *Nitzschia sigmoidea*, *Cymbella* u. a. auf kaum zu überwindende Schwierigkeiten stossen.

1) Dem lebenden Zustand kommen am meisten die mit Übcrosmiumsäure mit oder ohne Chromessigsäure, Pikrinschwefelsäure etc. behandelten Kerne nahe. Der noch von vielen Botanikern mit Vorliebe als Fixierungsmittel gebrachte Alkohol giebt Bilder, die nur mit grosser Vorsicht für die Beurteilung der Kernstruktur herangezogen werden dürfen.

2) E. Strasburger etc.: Lehrbuch der Botanik. 1894.

Etwas anderes ist es jedoch, wenn wir die Frage aufwerfen, ob es wirklich ein Netzwerk ist, welches den Kernraum durchsetzt, ob also wirklich alle Hohlräume zwischen dem Gerüstwerk mit einander in unmittelbarer Verbindung stehen. Dies scheint mir unwahrscheinlich; ich bin vielmehr der Ansicht, dass das Netzwerk nur als optischer Durchschnitt eines bald mehr, bald weniger regelmässigen Wabenwerkes aufzufassen ist, bei dem dann das Lininggerüst den Wandungen der Waben entsprechen würde.

Ein direkter, absolut einwandfreier Beweis für die Richtigkeit dieser Auffassung dürfte sich mit den jetzigen Hilfsmitteln der Forschung allerdings noch kaum erbringen lassen; indessen scheinen mir doch gewichtige Gründe zum mindesten für die hohe Wahrscheinlichkeit derselben zu sprechen. Zunächst ist es einmal die sehr weitgehende Übereinstimmung, welche die so regelmässig und engmaschig strukturierten Kerne von *Nitzschia sigmoidea*, *Pinnularia oblonga* etc. mit den typisch wabigen Kernen zeigen, wie sie uns Bütschli (19) schon 1885 bei marinen Dinoflagellaten (speziell *Ceratium tripos*, *C. furca* u. a.) kennen lehrte und wie ich sie dann auch neuerdings bei *Ceratium hirundinella* des Süsswassers bestätigen konnte. (85). Ein Vergleich der hier gegebenen Abbildungen der betreffenden Kerne mit denjenigen, welche meine Arbeit über die Kernteilung der Dinoflagellaten beigegeben sind, dürfte die grosse Übereinstimmung der Strukturen darthun. Weiterhin spricht für eine wabige Struktur des Kerns jedenfalls auch noch der Umstand, dass das Gerüstwerk sich an der Kernmembran sowie um die Nukleolen herum meist sehr deutlich radiär, also als „Alveolarschicht“, anordnet. Diese Alveolarschicht im Kern entspricht prinzipiell ganz der Alveolarschicht im wabig gebauten Plasma, wie sie Bütschli (24) bei den verschiedensten pflanzlichen und tierischen Zellen als konstantes Vorkommnis nachgewiesen hat und wie sie so überzeugend klar und deutlich an dessen künstlichen Ölseifenschäumen in Erscheinung tritt. Auch die leicht zu beobachtende Thatsache, dass im Kern die Chromatinkörnchen in den Knotenpunkten des Gerüstwerkes liegen, findet ihr Analogon in der Einlagerung der „Mikrosomen“ in die Knotenpunkte des wabigen Plasmas; sie kehrt in ganz entsprechender Weise bei den künstlichen Ölseifenschäumen wieder, wo eingelagerte Fremdkörper sich in den Knotenpunkten des Schaumwerkes verteilen, wie Bütschli dargethan hat.

Schliesslich darf nicht vergessen werden, dass ein wabiger Bau der Gerüstsubstanz des Kerns auch noch für andere Kerne als die der Dinoflagellaten angegeben wird. So ist nach Bütschlis Untersuchungen auch der Makronucleus der ciliaten Infusorien netzig-wabig strukturiert (20). Neuerdings hat auch F. Schaudinn (118) bei seinen Studien über die Kernteilung der Amöben die wabige Beschaffenheit der Kerne (und des Plasmas) von *Amoeba crystalligera* und *Amoeba binucleata* ausdrücklich hervorgehoben und entsprechend abgebildet¹⁾.

¹⁾ Einen mit dem von Schaudinn (117) geschilderten Kern von *A. crystalligera* prinzipiell übereinstimmenden Amöben Kern hatte schon früher Bütschli (24) abgebildet.

Ich halte mich nach Vorstehendem berechtigt, anzunehmen, dass spätere Untersuchungen eine noch viel weitere Verbreitung netzig-wabig gebauter Kerne ergeben werden und dass gar mancher Kern, welcher jetzt noch einfach als „körnig“ oder „fädig“ oder „netzig“ beschrieben wird, bei eingehenderem Studium sich als wabig gebaut erweisen wird¹⁾. Nur darf man nicht glauben, dass die feinsten Strukturen, die ja oft an der Grenze des mit unseren heutigen optischen Hilfsmitteln überhaupt Sichtbaren stehen, sich beim ersten Blick in das Mikroskop auch schon mit aller Deutlichkeit enthüllen. Ein tieferer Einblick wird sich auch hier erst nach langer intensiver Betrachtung ergeben, wobei ein besonderes Gewicht auf die richtige Regulierung der Beleuchtung zu legen ist, da bei zu grellem Lichte zahlreiche feinere Strukturen völlig verschwinden.

¹⁾ Einen wabig gebauten Kern schildert neuerdings auch Braus (16) für die Eier von *Triton alpestris*. Weiterhin sei bei dieser Gelegenheit noch auf die Arbeit von Reinke aufmerksam gemacht, in welcher ebenfalls eine wabige Anordnung gewisser Kernbestandteile nachgewiesen wird (113).

IV. Das Centrosoma.

Die Entdeckung eines Centrosomas bei den Diatomeen verdanken wir Bütschli (22), welcher dieses gerade in unserer Zeit so vielseitig studierte „permanente Zellorgan“ 1891 bei *Surirella calcarata* nachwies. Dieser Fund dürfte ein besonderes Interesse für sich in Anspruch nehmen, weil es wohl der erste Fall war, in dem ein Centrosom auch schon im Leben so scharf und charakteristisch in Erscheinung trat; und dies noch bei einem einzelligen Organismus! Späterhin habe ich (83) auch bei *Surirella splendida* und *Surirella biseriata* sowie bei Arten der Gattung *Pinnularia* (*Pinnularia maior*, *Pinnularia nobilis*) das Vorkommen von Centrosomen feststellen können.

Es muss bei dieser Gelegenheit hervorgehoben werden, dass das Centrosom der Diatomeen schon einige Jahre vor Bütschli von H. L. Smith (133) gesehen und gezeichnet worden ist, wobei es allerdings eine etwas seltsame Deutung erfuhr. H. L. Smith fand nämlich bei *Surirella splendida* in der Mitte zwischen den angeblich in der Zweizahl vorhandenen „Kernen“ ein kleines Körnchen, welches er als — „germinal dot“, also als „Keimfleck“ bezeichnete. Was den amerikanischen Diatomeenforscher zu einer derartigen Bezeichnung veranlassen konnte, ist mir völlig unklar, da nach ihm ja bei *Surirella splendida* schon zwei Kerne vorhanden sind! Gegen den „germinal dot“ ist das Plasma strahlenförmig angeordnet, wie sich aus Smiths in grossem Massstabe, aber sehr roh in Farben ausgeführter Plate 2, ersehen lässt. Auch für *Surirella elegans* (Plate 3) sowie für *Surirella limosa* (Plate 4 Fig. 1) wird das Vorhandensein eines „germinal dot“ angegeben, gegen welchen auch die Lappen der Endochromplatten konvergieren¹⁾.

¹⁾ Die Arbeit von H. L. Smith — die übrigens Herrn Prof. Bütschli erst nach Publikation seiner Entdeckung bekannt wurde — enthält in dem Abschnitt über den inneren Bau der Diatomeen neben einigen richtigen Beobachtungen eine ganze Menge irriger Angaben, die einzeln hier zu widerlegen überflüssig sein dürfte.

Wenden wir uns nach diesem historischen Rückblick zunächst zur Schilderung des Centrosoms bei *Surirella calcarata*, wo die Verhältnisse am klarsten liegen und darum auch am eingehendsten untersucht wurden. Hier erscheint das Centrosom schon im Leben mit aller Deutlichkeit als kleines etwa $1,5-2 \mu$ im Durchmesser haltendes Kügelchen, welches beim ruhenden Kern seine Lage stets in dessen Einbuchtung nimmt (Taf. VII Fig. 111). Diese Lage in der Bucht des nierenförmigen Kernes ist eine sehr charakteristische und kehrt bei ganz verschiedenen andern Kernen, die ähnliche Umrisse besitzen, wieder; so z. B. nach Flemming (44) bei Leukocyten des Salamanders und nach Bürger (17) bei flottierenden Zellen im Rhynchocölon der Nemertinen. Im Leben hebt sich das Centrosom stets als scharf umschriebenes, ziemlich dunkles Kügelchen vom umgebenden Plasma ab; in Präparaten, die mit Delafieldschem Hämatoxylin behandelt wurden, fällt es durch seine bläuliche Färbung, an solchen, die nach Henneguy's Methode mit Safranin tingiert wurden, durch seine leuchtend rote Färbung in die Augen. So lange der Kern im Ruhezustand verharrt, ist nur ein einziges Centrosom vorhanden, wie sich aus der Betrachtung lebender und fixierter Diatomeen ergibt; ich möchte dies besonders darum betonen, weil Guignard (52, 53) doppelte Centralkörper als Regel betrachtet und auch Flemming (43) dieser Ansicht nicht abgeneigt scheint. Eine besondere Struktur im Innern des Centrosoms von *Surirella* scheint zu fehlen; auch ein besonderes „Centralkorn“ im Sinne Boveris (11), wie ein solches auch von Brauer (14) bei *Ascaris* und von Häcker (55) bei *Sida* beschrieben worden, konnte ich nicht nachweisen. Ebenso fehlte um das Centrosom des ruhenden Diatomeenkerns eine besonders differenzierte „Attraktionssphäre“ oder ein „Archoplasma“ Boveris oder ein „Kino-plasma“ im Sinne Strasburgers; nie konnte ich den hellen scharf begrenzten Hof, der gewöhnlich um das Centrosom gezeichnet wird (van Benedens „Zone medullaire“) am lebenden Objekte wahrnehmen. Dieser letzte Umstand scheint mir stark zu Gunsten der meines Wissens zuerst von Häcker (55) mit Bestimmtheit ausgesprochenen Ansicht zu sprechen, dass der helle Hof (= zone medullaire, van Benedens; = zone hyaline, Guignard) ein Kunstprodukt, hervorgerufen durch plasmolytische Schrumpfung des Centrosomas, darstelle.“

Ebenso, wie um das Centrosom von *Surirella* kein besonderes Archoplasma zu beobachten ist, fehlt auch in der Regel eine deutlichere Strahlung des umgebenden Plasmas, so lange der Kern im Ruhezustand verharrt (Taf. VII Fig. 111). Anders wird es jedoch, wenn sich der Kern zur Teilung anschickt. Dann schwillt das Centrosom etwas an und rückt gleichzeitig aus der Kernbucht heraus, um sich in der Valvarebene der Zelle einzustellen, wobei das Plasma sich radiär zu ihm anordnet (Taf. VII Fig. 112). Diese plasmatische Strahlung um das Centrosom ist, wie wiederholt bemerkt, im Leben ungemein deutlich ausgeprägt, ja oft noch klarer als an Präparaten. Dabei lassen sich einzelne sog. „Fibrillen“ des netzig-wabigen Plasmas oft unmittelbar vom Centrosom aus durch die gesamte centrale Plasmamasse und sogar durch die stets fibrillär gestreiften Stränge hindurch bis in die entferntesten Regionen der Zelle verfolgen. Bei-läufig sei hierbei noch bemerkt, dass ich das von M. Heidenhain (58) so genannte

„Phänomen der konzentrischen Kreise“, jene regelmässigen Aneinanderreihungen von Mikrosomen auf den Fibrillen des Strahlungssystems konzentrisch der Oberfläche der Sphäre, bei lebenden Diatomeen nicht habe beobachten können.

Auffallend war mir schliesslich noch ein anderer Umstand, der mir als Ausdruck der innigen Beziehungen zwischen Centrosom und Kern nicht unwichtig erscheint. Es ist dies nämlich der feste Zusammenhang, in welchem das Centrosom durch die von ihm zur Oberfläche des Kerns ausstrahlenden plasmatischen Fibrillen mit letzterem steht. Dies zeigt sich besonders deutlich, wenn man den Kern nach der in dem Abschnitt, „Untersuchungsmethoden“ dargelegten Weise durch vorsichtiges Klopfen auf das Präparat isoliert: stets bleibt hierbei das Centrosom mit dem Kern in Verbindung, selbst wenn sonst alles Plasma von beiden losgerissen ist.

In ähnlicher Weise, wie es hier für *Surirella calcarata* geschildert wurde, verhalten sich auch die Centrosomen bei *S. splendida* und *S. biseriata*, wie sich aus der Abbildung der letztgenannten Art auf Taf. V Fig. 64 ersehen lässt.

Bei der Gattung *Pinnularia* (*P. viridis*, *P. maior*, *P. nobilis*)¹⁾ habe ich die Centrosomen bis jetzt nur im Leben beobachtet und zwar auf jenen Stadien, wo der Kern sich zur Teilung anschickte. Man sieht da auf dessen Oberfläche und zwar stets auf einer der Gürtelseiten ein kleines Kügelchen deutlicher sichtbar werden, gegen welches sowohl die Doppelstäbchen im umgebenden Plasma als auch die Fäden des früher beschriebenen plasmatischen Flechtwerks sich centrieren (Taf. IV Fig. 47, Taf. II Fig. 18). Auf späteren Stadien, wenn das Gerüstwerk des Kernes knäuelig wird, tritt an genau derselben Stelle die sehr kleine Anlage der Centralspindel auf²⁾.

Die anderen Diatomeenarten, deren Kernteilung ich untersuchte, liessen das Centrosom im Leben nicht hervortreten, doch zweifle ich nicht im geringsten daran, dass es auch hier während der Kernruhe im Plasma neben dem Kern vorhanden ist, da die später zu schildernden Vorgänge bei der Kernteilung sehr für ein konstantes Vorkommen sprechen. Auch an meinen Präparaten der betreffenden Arten, welche noch aus der ersten Zeit meiner Untersuchungen stammen und die mit Hämatoxylin gefärbt und in Damarlack aufgestellt vor allem die Umlagerungen des Chromatins bei

1) Die innere Struktur dieser drei Formen ist bei allen ganz dieselbe.

2) Das Vorkommen eines schon im Leben sichtbaren Centrosoms bei *Pinnularia* wurde bereits im Jahre 1892 von Prof. Bütschli in der vorläufigen Mitteilung über die Bewegung der Diatomeen mitgeteilt und das Centrosoma auch daselbst in unserer Abbildung wiedergegeben. Durch das angewandte Reproduktionsverfahren (Zinkographie) hebt sich aber das kleine über dem Kern liegende Kügelchen nicht scharf genug von dem darunter liegenden, das Centrum des Kerns einnehmenden Nukleolus ab. Infolge dieser Undeutlichkeit verwechselte auch thatsächlich bald darauf De Wildeman (146) in einer Besprechung der genannten Arbeit den grossen Nukleolus mit dem darüber liegenden Centrosom. Die von ihm daran geknüpfte Bemerkung, dass der von uns als Centrosom bezeichnete Körper bei Diatomeen schon lange bekannt gewesen sei, aber für den Nukleolus gehalten worden wäre, wird nach der hier gegebenen Aufklärung gegenstandslos. Die von De Wildeman seiner Arbeit beigegebenen Skizzen der Kerne von *Pinnularia*, *Pleurosigma*, *Cymatopleura* und *Nitzschia* (bei der angeblich Nukleolen fehlen sollen), sind äusserst primitiv.

der Kernteilung zur Anschauung bringen, habe ich Centrosomen bis jetzt nur in ganz vereinzelt Fällen wahrnehmen können. So sah ich z. B. bei *Nitzschia sigmoidea* im Plasma an einer Längsseite des Kerns öfters ein bläulich gefärbtes Kügelchen, welches wohl nichts anders als ein Centrosom gewesen sein kann. —

Fälle, in welchen wie bei *Surirella* die Centrosomen sich schon im Leben so deutlich und scharf umschrieben vom umgebenden Plasma abheben, sind nach meinem Dafürhalten ein gewichtiger Einwand gegen jene Auffassungen, welche diesen Gebilden eine besondere Individualität überhaupt absprechen wollen. Sowohl die Ansicht Bürgers¹⁾, dass die Centrosomen lediglich Zusammenballungen von Mikrosomen sind, als auch die nah verwandte von Watasé (145), nach welcher der Centralkörper nur ein vergrössertes Mikrosom des plasmatischen Netzwerks ist, werden — abgesehen von andern bereits gegen sie vorgebrachten Gründen — durch die Betrachtung einer lebenden *Surirella* direkt widerlegt. Wenn dann schliesslich noch Eismond (35) auf Grund seiner mit „patentierten“ Methoden an Blastomeren von *Siredon* und *Triton* angestellten Untersuchungen sich zu dem Ausspruch berechtigt fühlt, dass das „berüchtigte“ Centrosom nichts weiter ist als eine besonders kondensierte Partie der Attraktionssphäre, in deren Bereich es zur Abnahme der „Aktivität“ im Zellprotoplasma kommt — so muss ich dem, zum mindesten für die Diatomeen, ganz entschieden widersprechen. Nicht als den „toten Punkt im Dynamo-Bewegungssystem des Zellprotoplasmas“ — um mich des Ausdrucks von Eismond zu bedienen — deute ich das Centrosom, sondern ganz im Gegenteil (und in Übereinstimmung mit Bütschlis Auffassung) als kinetisches Centrum, von dem beim Beginn der Kernteilung Wirkungen auf Kern und Plasma ausgehen, die morphologisch als Strahlungserscheinungen um das Centrosom in Erscheinung treten.

1) O. Bürger: Was sind die Attraktionssphären und ihre Centralkörper? In: *Anat. Anz.* 1892

V. Kern- und Zellteilung.

A. Frühere Beobachtungen über Kern- und Zellteilung der Diatomeen.

Der bereits erwähnte Umstand, dass die früheren Diatomeenforscher, soweit sie sich mit dem plasmatischen Inhalt der Zelle überhaupt befassten, der Struktur des ruhenden Kernes so gut wie gar keine Beachtung schenkten, lässt schon von vornherein schliessen, dass auch die feineren Vorgänge bei der Teilung des Kernes ihrer Aufmerksamkeit entgingen.

Und so ist es denn auch in der That. Man nahm seit Lüders (88) fast allgemein an, dass der primäre Kern erst durch die vordringende Einfaltung des Plasm Schlauches einfach in zwei Tochterkerne zerschnitten werde. Eine etwas abweichende, aber den Thatsachen schon mehr entsprechende Ansicht vertrat Dippel (31), indem er behauptete, dass die Einschnürung des Kernes schon mit der Einfaltung der Zellhaut beginne und schon vor Vollendung der beiden Tochterzellen in zwei Tochterzellkerne zerfallen sei. Dieser Auffassung schloss sich dann Pfitzer (101) an, doch schien ihm die Kernteilung in der Weise zu erfolgen, „dass die Verlängerung des Kernes nicht in der Teilungsachse, sondern in der Längsachse der Zelle stattfindet, und dass schon vor Beginn der Einfaltung des Plasmas zwei neue Kerne vorhanden sind, welche später an ihre eigentlichen Plätze rücken.“ Später (1883) hat dann J. Schaarschmidt (116) eine Untersuchung über die Kernteilung von *Synedra Ulna* veröffentlicht, deren Resultate ich indessen bei meiner Unkenntnis der ungarischen Sprache nur nach dem Referate im „Bot. Jahresbericht“ wiedergeben kann. Nach Schaarschmidts Angaben — die bei einer Nachuntersuchung jedenfalls noch ganz bedeutende Korrekturen erfahren werden — teilt sich bei *Synedra* der Kern der Länge der Zelle nach, und die Kernplatte, wenn von einer solchen hier die Rede sein kann, steht vertikal auf der Scheidewand. Nur in sehr seltenen Fällen gelang es, die Spindelfäden zwischen den Tochterkernen ausgespannt zu sehen; Kernplatten treten nicht auf, die Fäden verschwinden und die Kerne liegen

frei im axilen Plasma. Manchmal teilt sich der eine Tochterkern aufs neue und so können schliesslich 4—9 Kerne vorhanden sein¹⁾.

Der Vollständigkeit wegen sei dann weiterhin noch erwähnt, dass sich die Abbildung eines eben geteilten Kernes von *Pinnularia* in Carnoys Werk „La cytodierèse chez les arthropodes“ (26) findet (Pl. VI Fig. 242), also an einem Orte, wo ein Botaniker dieselbe kaum suchen würde. Auch Reinhard (111) gibt in seiner durchweg russisch geschriebenen Arbeit das Bild eines Kernes von *Rhabdosphaera*, der ebenfalls eben erst aus der Teilung hervorgegangen ist. Eine etwas eingehendere Darstellung des Verlaufes der Kernteilung, soweit sich dieselbe *intra vitam* verfolgen liess, verdanken wir schliesslich noch Schütts Beobachtungen an *Chaetoceros* (129). Von Interesse ist hierbei die Angabe, dass der Kern sich beim Beginn der Teilung sehr lebhaft vergrössert und in 1—2 Minuten auf das dreifache seines ursprünglichen Durchmessers anschwillt, wobei sich gleichzeitig sein Inhalt in sehr zarte Fäden oder Schlieren differenziert. Bald darauf beginnt sich der Kern durch eine zur Richtung der Längsachse der Zelle senkrechte Ringfurche durchzuschnüren, wodurch ein hantelförmiger Körper entsteht, dessen kurzes Zwischenstück der bis zu diesem Zeitpunkt sichtbar bleibende grosse Nukleolus einnimmt (?). Nachdem dieser dann verschwunden ist und das Volumen des Kernes sich wieder sehr verringert hat, erfolgt die Durchschnürung des letzteren durch einen Ringspalt, welche der Querschnittsebene der Zelle folgend schnell nach innen vordringt.

Wie sich aus der vorstehenden Zusammenstellung ergibt, sind die bisherigen Beobachtungen über die Kernteilung der Diatomeen überaus mangelhaft, da sich aus keiner einzigen derselben (auch aus der Schaarschmidts und Schütts nicht) mit Sicherheit die Art und Weise der Kernteilung bei den Diatomeen erschliessen lässt²⁾.

B. Eigene Untersuchungen.

Bei meinen Studien über die Kernteilung der Diatomeen habe ich ausschliesslich die grösseren Formen des Süsswassers berücksichtigt, da diese naturgemäss den besten Einblick in die sich abspielenden Vorgänge ermöglichen. Das Hauptobjekt meiner Untersuchungen bildete *Surirella calcarata*, welche bei ihrem eigenartigen Bau auch ein Verfolgen der Kernteilung *intra vitam* gestattete; sie wird darum im folgenden gleichsam als Paradigma für die Kernteilung der Diatomeen überhaupt behandelt werden. Nächst *Surirella* wurden am eingehendsten *Nitzschia sigmaidea*

¹⁾ An Synedren, die sich in meinen gefärbten Präparaten befinden, habe ich niemals mehr wie einen Kern wahrnehmen können.

²⁾ In einer kleineren zusammenfassenden Arbeit Pfitzers (102) über Diatomeen findet sich pag. 432 die Bemerkung, „dass ähnliche Körnerplatten und Streifungen, wie sie neuerdings so vielfach bei der Kernteilung beobachtet wurden, auch in der hier zu besprechenden Pflanzengruppe vorkommen“. Näheres ist jedoch meines Wissens nicht darüber publiziert worden.

untersucht, bei der ebenfalls einige Stadien der Kernteilung im Leben verfolgt werden konnten. Die Teilung der übrigen Arten, wie *Pinnularia oblonga* und *Pleurosigma attenuatum*, wurde fast nur an Präparaten untersucht, die, wie ich nochmals hervorhebe, zwar für die Umlagerungen des Chromatins sehr instruktiv waren, für das Studium der achromatischen Bestandteile dagegen weniger geeignet erschienen. Zum Vergleich wurden dann noch einzelne Stadien von *Pinnularia maior* und *Navicula amphibia* herangezogen und daneben auch noch die Kernteilung der Desmidiaceen beiläufig berücksichtigt¹⁾.

Als Resultat meiner Untersuchungen ergab sich überall das Vorhandensein einer karyokinetischen Teilung des Kerns; dieselbe weicht in mehreren Punkten nicht unwesentlich von dem gewöhnlichen Schema ab, wiederholt sich aber in ziemlich entsprechender Weise bei allen untersuchten Arten, sodass sie wohl für die Diatomeen als charakteristisch betrachtet werden darf.

1. Kern- und Zellteilung von *Surirella calcarata*.

Im Verlauf der Kernteilung von *Surirella* lassen sich ziemlich scharf drei Phasen unterscheiden, welche durch das Verhalten der Centralspindel charakterisiert sind und die darum in folgendem der leichteren Übersicht wegen nach einander geschildert werden sollen.

1) Für spätere Untersucher der Kernteilung scheint mir die Bemerkung nicht überflüssig, dass nach meinen Erfahrungen Diatomeen mit Stadien der Kernteilung im allgemeinen nur recht selten zu Gesicht kommen; man kann von einer Art oft viele Hunderte von Individuen durchmustern, ohne auch nur einen einzigen Kern in Teilung zu sehen. Um dies durch ein Beispiel zu belegen, sei beiläufig bemerkt, dass es mir erst nach zwei Sommern gelang, sämtliche auf Taf. VII u. VIII dargestellten Stadien von *Surirella* zu erlangen und dass ich dabei oft wochenlang vergebens nach Kernteilungen suchte, trotzdem mir damals die genannte Form in zahlreichen Exemplaren zur Verfügung stand. Viel häufiger sieht man eben geteilte Diatomeen, deren Tochterzellen noch zusammenhängen. Der Grund für diese erwähnte Seltenheit dürfte wohl darin zu suchen sein, dass die eigentliche Karyokinese relativ rasch verläuft; ausserdem scheint aber auch die Tageszeit nicht ohne Einfluss zu sein, da ich die relativ meisten Kernteilungen von *Surirella* in den Vormittagsstunden auffand. Es bleibt ferneren Untersuchungen vorbehalten, festzustellen, ob sich die Diatomeen wirklich zur Nachtzeit häufiger teilen als bei Tag, was mir recht wahrscheinlich ist, ob sie sich also ähnlich verhalten wie *Spirogyra* (Strasburger [135]) und besonders die Dinoflagellate *Ceratium*, bei welcher die Kernteilung fast ausschliesslich während der Nachtzeit vor sich geht (85). Es wird hoffentlich niemanden einfallen, das seltene Vorkommen von Kernteilungsstadien als eine Bestätigung der sonderbaren Ansichten Castracanes (27) aufzufassen, nach welchen die Teilung bei den Diatomeen nicht Regel, sondern Ausnahme ist, da sich die Diatomeen durch Sporen fortpflanzen sollen. Zur Widerlegung dieser Behauptungen brauche ich hier wohl keine Worte zu verlieren; es genügt, darauf hinzuweisen, dass ich unter den vielen Tausenden lebender Diatomeen, die mir bei Gelegenheit meiner faunistischen und floristischen Studien zu allen Jahreszeiten vor Augen gekommen sind, niemals das geringste Anzeichen einer Sporulation, dagegen wohl sicher Hunderte von geteilten Diatomeen gesehen habe.

I. Phase: Vom Auftreten der Centralspindel bis zu deren Einwanderung in den Kern.

Das erste Anzeichen, dass *Surirella calcarata* sich zur Teilung anschickt, besteht gewöhnlich¹⁾ darin, dass die beiden übereinander greifenden Zellhälften — wohl infolge osmotischer Vorgänge — etwas auseinander weichen, wodurch die Diatomee bei Ansicht von der Gürtelseite mehr oder weniger verbreitert erscheint. (Taf. IX Fig. 131 ff.) Hand in Hand damit geht eine allmähliche Kontraktion der oberflächlichen Chromatophoren, welche nach und nach ihre so vielfach gelappten Umrisse verlieren und sich gegen die Schalenseiten zurückziehen beginnen, wobei ihre Ausläufer, die sich weit in die Querkanaäle der Flügel hinein erstrecken, aus diesen etwas zurückgezogen werden, wie früher (pag. 28) geschildert wurde. (Taf. IX Fig. 131.) Zu derselben Zeit rückt auch das Centrosom aus der Bucht des nierenförmigen Kerns heraus, nimmt etwas an Volumen zu und stellt sich in der Mittelebene der Zelle ein. Hier wird es zum Mittelpunkt prächtiger Strahlungserscheinungen im umgebenden Plasma, wie Fig. 112 Taf. VII und Fig. 131 Taf. IX besser als eine lange Beschreibung erkennen lassen. Die plasmatische Strahlung geht nach allen Richtungen des Raumes und setzt sich auch, wie man durch wechselnde Einstellung leicht feststellen kann, über die Oberfläche des Kerns hinweg gegen das schmalere Zellende fort. Am Zellkern selbst sind um diese Zeit noch keine tiefer greifenden Veränderungen der Struktur zu konstatieren.

Dagegen tritt in der Umgebung des Centrosoms schon auf diesem frühen Zeitpunkt ein Gebilde auf, welches bestimmt ist, im ferneren Verlauf der Kernteilung eine überaus wichtige Rolle zu spielen, nämlich die Anlage der Centralspindel. (Fig. 112 Taf. VII.) Diese tritt zuerst als kleines, an Präparaten kaum gefärbtes, sehr blasses Kügelchen in Erscheinung, welches hart am Centrosom liegt, mit dem es auch in der Grösse anfangs vollkommen übereinstimmt²⁾. Es scheint mir keinem Zweifel zu unterliegen, dass die Anlage der Centralspindel aus dem Centrosom durch eine Teilung (oder, wenn man lieber will, Knospung) hervorgeht. Absolute Sicherheit könnte allerdings nur das Verfolgen der Teilung *intra vitam* geben, was seine Schwierigkeiten haben dürfte; da jedoch die Entstehung der Centralspindelanlage aus dem umgebenden Plasma sehr unwahrscheinlich und ein Herausrücken aus dem Kern wohl ausgeschlossen erscheint, so glaube ich, dass der oben ausgesprochene Satz das Richtige trifft, zumal an ruhenden Kernen, wo das Centrosom in der Tiefe der Kernbucht liegt, ein

¹⁾ Ich sage ausdrücklich gewöhnlich, da man manchmal auch Diatomeen findet, bei denen der Kern bereits im Übergang zum Knäuelstadium begriffen ist, ohne dass hierbei die Gürtelseite gegen den ruhenden Zustand wesentlich verbreitert erscheinen.

²⁾ Zur Zeit der Abfassung meiner vorläufigen Mitteilung (83) standen mir so frühzeitige Stadien der Centralspindel noch nicht zu Gebote. Trotzdem hielt ich schon damals die Abstammung der Centralspindel vom Centrosom für wahrscheinlich.

derartiges blasses Kügelchen neben dem Centrosom bisher nicht nachgewiesen werden konnte.

Die Anlage der Centralspindel nimmt bald an Grösse zu, wobei sie sich immer mehr vom Centrosom entfernt und gegen die Oberfläche des Kerns hinrückt, wo sie schliesslich zu einer gegen früher ziemlich voluminösen, aber stets ausserordentlich blassen Kugel anschwillt. (Fig. 113 Taf. VII.)

Erst jetzt beginnen auch die Veränderungen im Innern des Kerns etwas deutlicher in Erscheinung zu treten. Das netzig-wabige Gerüstwerk lockert sich, wohl sicher infolge osmotischer Vorgänge, etwas auf und wird gröber, unregelmässiger. Die Chromatinkörnchen, die sich im ruhenden Kern hauptsächlich in den Knotenpunkten angesammelt finden, fangen an, sich an verschiedenen Stellen reihenweise hinter einander anzuordnen, sodass sich da und dort bereits perlschnurartige Stränge in dem übrigen wabigen Gerüstwerk verfolgen lassen. (Fig. 113 Taf. VII.) Hierbei bleibt die dichtere Ansammlung des Chromatins in der Mitte des Kerns noch lange erhalten; auch die zahlreichen Nukleolen sind noch vorhanden, wenschon sie im Vergleich zum ruhenden Zustand des Kerns viel blasser erscheinen. Ich hebe das lange Bestehenbleiben der Nukleolen darum besonders hervor, weil die Lage und das Aussehen der kugeligen Centralspindelanlage, hart an der Oberfläche des Kerns, ja sehr leicht den Eindruck hervorrufen könnten, dass die Centralspindelanlage nur ein aus dem Kern ausgetretener Nukleolus sei, eine Annahme, die durch die oben mitgetheilten Beobachtungen aber keinerlei Stütze findet.

Während der allmählichen Ausbildung der Knäuelfigur bleibt die netzig-wabige Anordnung des Gerüstwerkes erhalten, da sich überall zwischen den benachbarten Körnchenreihen zärtere Verbindungsfäden erkennen lassen. (Vergl. Fig. 113, 114 Taf. VII.)

Mittlerweile beginnt auch das Plasma einige Veränderungen zu zeigen. Wir sahen früher, dass es eine ungefähr H oder Xförmige Anordnung in der Zelle besitzt, indem von einer mittleren, den Kern umschliessenden Partie vier stark fibrillär gestreifte Stränge ausstrahlen, welche nur selten sekundäre Verzweigungen abgeben. Nun wird es anders. Vom centralen Plasma -- und zwar besonders von dessen den Gürtelbändern angrenzenden Partien -- sowie von den vorderen Plasmasträngen beginnen sich zahlreiche Ausläufer zu erheben, welche alle dem breiten Zellende zustreben und sich in ihrem Verlaufe öfters noch verästeln. Dieses Auftreten schwächerer Plasmazüge kündigt einen merkwürdigen Vorgang an, nämlich die Wanderung des centralen Plasmas mit dem sich teilenden Kern nach dem breiten Zellende, wo die eigentliche Kernteilung erfolgt, wie bereits Pfitzer (101) beobachtete¹⁾.

¹⁾ Der Grund für dieses eigentümliche Wandern dürfte meiner Ansicht nach darin zu suchen sein, dass an der in der Ruhe eingenommenen Stelle eine Teilung oder, genauer gesagt, ein Auseinanderreihen der Tochterkerne unmöglich erscheint, da der Kern hier auf drei Seiten von Chromatophoren eng umschlossen ist. Gerade in der Richtung der Teilungsachse wölben sich die zeltförmig die Schalen überspannenden Chromatophoren bis hart an den Kern vor, wie besonders aus der Abbildung des Querschnittes (Taf. I Fig. 8) hervorgeht.

Sehr eigenartige Wandlungen ihrer Gestalt macht nun auch die Anlage der Centralspindel durch. Es ist recht schwer, in Worten davon eine anschauliche Darstellung zu geben; ich bitte darum in folgendem immer die Figuren 78—96 auf Taf. V zu vergleichen, wo man eine lückenlose Reihe aller dieser Wandlungen finden wird. Die grosse blasse Kugel, welche früher am Kern lag, beginnt sich zu strecken und erscheint dann bei gewisser Einstellung sichel- oder schiffchenförmig (Fig. 84, 85, Fig. 114 Taf. VII). Eine genauere Betrachtung von verschiedenen Seiten¹⁾ zeigt, dass die Anlage der Centralspindel jetzt die Gestalt einer etwas gewölbten und teilweise schwach verdickten rundlichen Platte besitzt, welche, ihre Fläche den Schalenseiten zuwendend, das Plasma in schiefer Richtung durchsetzt. Aus dieser Orientierung lassen sich die ganz verschiedenen Bilder verstehen, welche bei ein und derselben *Surirella* die Centralspindelanlage bei wechselnder Einstellung zeigt, wofür die Fig. 86—88 Taf. V Belege darbieten.

Nun fliesst das Plasma langsam gegen das breite Zellende hin ab, wobei im Innern des Kerns die Umlagerung des Gerüstwerks immer weitere Fortschritte macht. Nach und nach ordnen sich die Chromatinkügelchen und -Brocken überall reihenartig hinter einander an, verschmelzen unter einander und heben sich dann als stark gefärbte, vielfach gewundene Fäden scharf von dem blassen grobmaschigen Gerüstwerk ab, welches in Gestalt zarter Verbindungsstränge zwischen den dunklen Fäden noch deutlich zu erkennen ist (Fig. 114 Taf. VII). Anfangs haben die scheinbaren Knäuelfäden durch die Aneinanderreihung der Körnchen ein mehr perlschnurartiges Aussehen; später jedoch, wenn die Verschmelzung derselben unter sich sowie mit den sie tragenden Lininsträngen vollzogen ist, verliert sich dies und sie erscheinen in ihrem ganzen Verlaufe glatt, ohne sichtbare Differenzierung etwa in sogen. Pfitznersche Querscheibchen. Um diesen Zeitpunkt ungefähr beginnen auch die Nukleolen, die bis dahin als blasse Kügelchen sichtbar geblieben waren, zu verschwinden; es scheint mir ziemlich sicher, dass ihre Substanz mit derjenigen der Chromatinkörnchen und des Liningerstes zur Bildung der Knäuelfäden verbraucht wird. Dagegen lässt sich die dichtere Anordnung der chromatischen Substanz im Centrum des Kerns, die schon für den ruhenden Kern hervorgehoben wurde, auch auf diesen Stadien noch erkennen (Fig. 114 Taf. VII).

Hand in Hand mit den Veränderungen im Innern des Kerns vollzieht sich auch eine Veränderung seiner äusseren Umrisse, indem die vordere Einbuchtung allmählich verschwindet und so seine Gestalt in eine mehr ellipsoidale übergeht.

Wenn das Plasma etwa den halben Weg gegen das breite Zellende hin zurückgelegt hat, bietet die sich teilende *Surirella calcarata* einen Anblick dar, den ich Taf. IX Fig. 132 wiederzugeben versucht habe. Wir sehen hier (wie auch Fig. 115 Taf. VII) vorn und gleichsam die Richtung der Wanderung bestimmend, das dunkel gefärbte Centrosom, gegen welches alle Plasmazüge strahlenförmig konvergieren. Etwas weiter hinten folgt die auch im Leben sehr deutliche Centralspindel, parallel der vor-

¹⁾ An isolierten Kernen vorgenommen.

herrschenden Bewegungsrichtung des Plasmas angeordnet. Sie erscheint auf diesem Stadium im optischen Durchschnitt als ein stäbchenförmiges Gebilde, welches vorn in der Nachbarschaft des Centrosoms zwei dunkel gefärbte Ansammlungen trägt (vergl. auch Fig. 88 Taf. V). Den Beschluss macht der Kern, welcher im Vergleich zu früher eine sehr charakteristische Veränderung seiner Gestalt erlitten hat: seine Umrisse sind jetzt annähernd die eines Dreiecks mit abgerundeten Ecken, wobei eine etwas vorgezogene Ecke gegen das Centrosom und die Centralspindel hinschaut. Sein Inneres erscheint gleichmässig erfüllt von einem feinfädigen, eng gewundenen Knäuelwerk, dessen stark färbbare Fäden durch blasse Stränge unter einander verbunden sind. Die Plasmamasse, welche dies alles umschliesst, ist von unregelmässiger Gestalt und strahlt in ansehnliche, stark fibrillär gestreifte Stränge aus, die zum Teil lamellenartig senkrecht zur Gürtelseite ausgebildet sind, wodurch die Beobachtung des Kerns etc. etwas erschwert wird. Zahlreiche Doppelstäbchen, meist der Richtung der Fibrillen parallel, lassen sich im Plasma erkennen¹⁾.

Die ganze Anordnung des Plasmas radiär zum Centrosom, die Lage und Richtung der Centralspindel sowie auch die Gestalt des Kerns lassen unwillkürlich den Gedanken entstehen, dass eine vom Centrosom ausgehende Zugwirkung es ist, welche Plasma, Centralspindel und Kern zu der geschilderten Orientierung zwingt.

Sobald das Plasma am Ort seiner Bestimmung, d. h. am breiten Zellende angekommen ist (Fig. 117 Taf. VII), schmiegt es sich der Zellwand bald eng an, während es nach der entgegengesetzten Richtung zwei kräftige fibrilläre Plasmazüge entsendet, von denen zuweilen noch einige schwächere ausstrahlen. Das Centrosom, welches gegen früher kleiner erscheint, kommt hierbei in die Nähe des Schalenrandes zu liegen und berührt beinahe die Centralspindel. Weiter nach hinten folgt dann der Kern, welcher die von früher bekannte dreieckige Gestalt aufgegeben hat und jetzt mehr queroval erscheint. Auch das Gerüstwerk in seinem Innern hat Veränderungen erlitten: das vielfach gewundene dichte Knäuelwerk des vorhergehenden Stadiums ist weit lockerer geworden, die Fäden sind dicker und ohne die früheren zahlreichen Windungen und Biegungen — kurz, wir haben hier bereits das typische Bild des „lockeren Knäuels“ vor uns.

Auf diesem Stadium vollziehen sich an der Anlage der Centralspindel höchst merkwürdige Veränderungen, die sich auch intra vitam mit grosser Deutlichkeit verfolgen lassen. Wir verliessen die Centralspindel auf dem Stadium des „dichten Knäuels“ als ein rundliches plattenförmiges Gebilde, welches von der Gürtelseite im optischen Durchschnitt gesehen die Gestalt eines Stäbchens besitzt und vorn (d. h. gegen das breitere Zellende zu) auf beiden Seiten dunklere Ansammlungen erkennen lässt. (Vergl. Fig. 88—89 Taf. V.) Indem sich nun die Flächen der kreisförmig

¹⁾ Der hier geschilderte Fall, dass der Kern auf der Mitte seines Weges zum breiten Zellende hin sich im Stadium des „dichten Knäuels“ befindet, ist der gewöhnliche; mitunter sieht man jedoch auch Kerne, die hier erst auf dem Stadium der Fig. 114 Taf. VII angelangt sind.

begrenzten plattenförmigen Centralspindelanlage mehr und mehr von einander abheben, nimmt dieselbe die Gestalt eines anfangs sehr niederen Cylinders an, welcher seine Mantelfläche den Gürtelseiten der Diatomee zukehrt (Fig. 117 Taf. VII) und auf ihr bald eine zarte Streifung erkennen lässt, welche in der Richtung des Auswachsens des Cylinders, also von Schale zu Schale verläuft. Die Höhe des Cylinders vergrößert sich rasch immer mehr und infolgedessen wird die Centralspindel bei Ansicht von der Gürtelseite stetig breiter (Fig. 91 und folgende, Taf. V); die Streifung tritt um so deutlicher hervor, je mehr der Cylinder auswächst. Während dieser Vorgänge ist die Begrenzung der Centralspindel auch im Leben ausserordentlich scharf, indem sie gegen das umgebende Plasma durch eine förmliche Membran abgeschlossen erscheint.

Während des Auswachsens der Centralspindel segmentiert sich im Innern des Kerns das lockere Knäuelwerk in mehr oder weniger lange schleifenförmige Abschnitte, welche durch blasse Stränge in ihrer Lage fixiert werden (Fig. 117, 118 Taf. VII u. VIII). Dies lässt sich jedoch nur an Präparaten erkennen, denn im Leben, wo ich auch dieses Stadium mehrere Male vor Augen hatte, ist um diese Zeit von der Struktur des Kerns kaum etwas Deutliches wahrzunehmen, da man die Chromosomen nur an einigen Stellen ganz verschwommen, gleichsam durch einen Nebel, hindurchschimmern sieht.

Um dieselbe Zeit, wo die Centralspindel sich in der Richtung gegen die Schalen-seiten zu verbreitert, beginnt das Centrosom, welches bis dahin stets deutlich und von einer Strahlung umgeben war, zu verschwinden. Im Leben sah ich es zuletzt als kleines Kügelchen hart am Rande der Centralspindel und zwar an der Grenze zwischen Mantelfläche und Basis des Cylinders (etwa auf dem Stadium der Fig. 91 und 92 Taf. V); dann verschwand es vor meinen Augen und ich bin ausser Stande mit aller Sicherheit zu sagen, was eigentlich aus ihm wird. Es machte auf mich ganz den Eindruck, als wenn es sich im Plasma auflösen würde; möglicherweise könnte sich seine Substanz ja an den Polen der Centralspindel, besonders an den da befindlichen dunklen Ansammlungen verteilen, zumal das Centrosom vor seinem Verschwinden zuletzt in der Nähe einer derselben gesehen wird. Die Rolle, welche das Centrosom bisher gespielt hat, wird in der Folgezeit übernommen von den beiden kugeligen dunklen Ansammlungen an den Polen der Centralspindel, die sich, wie der fernere Verlauf lehrt, zu Centrosomen differenzieren. Sehr auffallend ist hierbei der Umstand, dass die Centrosomen nicht, wie doch eigentlich zu erwarten, die Mitte der Polflächen einnehmen, sondern stets einseitig dem einen Ende derselben und zwar demjenigen, welches dem breiten Zellende benachbart ist, anliegen, an welcher Stelle die Membran der Centralspindel oft dellenartig eingedrückt erscheint. Innerhalb relativ kurzer Zeit — es verfließt vom Stadium der Fig. 91 Taf. V bis zu dem von Fig. 94 etwa eine halbe Stunde — wächst die Centralspindel zu einem garbenförmigen Gebilde heran, dessen Polflächen konkav gewölbt oder etwas wellenförmig gebogen erscheinen, und welches etwas schief zur Längsachse des Kerns sowie zur vorderen Schalenwand orientiert ist (vergl. die Fig. 117 Taf. VII).

Sobald die cylindrisch-garbenförmige Centralspindel höher als breit geworden ist, senkt sich dieselbe schief in den Kernraum hinein, wie ich auch am lebenden Objekt mehrere Male beobachten konnte.

II. Phase: Von der Einwanderung der Centralspindel in den Kern bis zu deren Halbierung bei der Zellteilung.

Am Kern war bisher die Membran ziemlich deutlich sichtbar gewesen. Während des Auswachsens der Centralspindel beginnt sie allmählich undeutlich zu werden, doch möchte ich keineswegs ein gänzlichliches Schwinden annehmen, da auf späteren Stadien die Umgebung des Kerns durch einen deutlichen hellen Hof vom umgebenden Plasma abgegrenzt erscheint.

Nach ihrem Eindringen in den Kernraum liegt die Centralspindel hier zunächst exzentrisch (Fig. 118 Taf. VIII), rückt dann aber unter stetiger Grössenzunahme gegen die Mitte, wo sie sich senkrecht auf beide Schalenseiten einstellt (Fig. 119 Taf. VIII). Um diese Zeit erfolgt die Längsspaltung der Chromosomen. Diese haben sich gegen früher noch mehr verkürzt und verdickt und meist hackenförmige, U oder C-förmige Gestalt angenommen (Fig. 119 Taf. VIII). Nach der Längsspaltung bleiben beide Teilhälften noch längere Zeit beisammen, was sich ganz besonders gut an jenen Chromosomen wahrnehmen lässt, die senkrecht zu den Gürtelseiten orientiert sind. Die Schleifen mit ungleich langen Schenkeln erscheinen im Durchschnitt als dunkel gefärbte Doppelpunkte, während die U-förmig gebogenen in derselben Lage als „Vierergruppen“ imponieren.

Blasse gefärbte Verbindungsstränge, welche auf allen früheren Stadien die einzelnen Chromosomen unter einander verbanden, habe ich hier nicht beobachten können, doch zweifle ich nicht an deren Vorhandensein; sie sind wahrscheinlich in meinen von Damarlack umschlossenen Surirellen nur zu stark aufgehellt.

Sobald die Centralspindel in den Kern eingerückt ist und dessen Mitte zustrebt, beginnen auch schon die Chromosomen von allen Seiten her sich gegen sie hinzubewegen, um sich in dem dunkler gefärbten Äquator der Spindel in Gestalt eines immer dicker werdenden Ringes anzuordnen. Die Gruppierung rings um den Äquator der Centralspindel beginnt schon lange bevor diese ihre definitive Grösse erreicht hat, wie auch die Betrachtung einer lebenden Surirella lehrt (Fig. 119 Taf. VIII). Stellt man nämlich bei einer solchen scharf auf die Mitte der Centralspindel ein, so erblickt man den Durchschnitt des Chromosomenrings in Gestalt zweier grauer, etwas glänzender Hügel zu beiden Seiten der Centralspindel, welche anfangs ganz flach und schmal sind, dann aber mit der Grössenzunahme der Spindel sich zusehends immer höher wölben und verbreitern. Es ist intra vitam unmöglich, die einzelnen Chromosomen bei ihren Wanderungen nach dem Spindeläquator zu verfolgen, da sie hierbei nur in ganz verschwommenen Umrissen sichtbar sind; sobald sie jedoch am Äquator angelangt sind, tritt ihre Gesamtheit ebenso wie die Centralspindel ausserordentlich scharf und

deutlich hervor. An Präparaten sind die der Spindel zustrebenden Chromosomen recht deutlich (Fig. 120 Taf. VIII), namentlich bei polaren Ansichten des Kerns (Fig. 121), jedoch nur so lange, als sie sich noch nicht zu einem Ringe um die Spindel zusammengeschlossen haben; dann kostet es selbst bei starken Vergrößerungen einige Mühe etwas von einzelnen Chromosomen wahrzunehmen. Während die Spindel sich immer mehr vergrössert, sammeln sich allmählich alle Chromosomen um ihren Äquator an und dann erhalten wir als Resultat das Bild, welches Fig. 122 nach dem Leben wiedergibt¹⁾.

Wir erblicken hier inmitten des ungefähr kreisförmig begrenzten Kernraums die garbenförmige, allseitig scharf konturierte²⁾ Centralspindel, deren Fasern ununterbrochen von Pol zu Pol verlaufen und hier etwas divergieren. Im ganzen Umkreis ihres verschmälerten Äquators hat sich die Masse der Chromosomen zu einem dicken Ring vereinigt, der im Leben fast vollkommen homogen erscheint, an gefärbten Präparaten jedoch bei hoher Einstellung da und dort die freien Enden der Chromosomen erkennen lässt. An den beiden schwach bogenförmig begrenzten Polflächen liegt je ein aus den früher erwähnten dunklen Ansammlungen hervorgegangenes Centrosom in Gestalt einer grossen, überaus blassen Kugel, und zwar einseitig dem Rand der Pole genähert; also genau an jener Stelle, wo auf früheren Stadien die dunklen kugeligen Ansammlungen zu beiden Seiten der noch sehr kleinen Centralspindel lagen. Es kann nach allem, was ich beobachtet habe, wohl keinem Zweifel unterliegen, dass die Centrosomen aus jenen dunklen Kugeln sich hervorgebildet haben.

Im Leben habe ich sie als distinkte Körper bis jetzt noch nicht zu Gesicht bekommen können, wohl aber die Strahlung des Plasmas, die, besonders auf späteren Stadien, sich ganz deutlich einseitig nach jener Stelle hin centriert, an welcher man in Präparaten bei angestrenzter Aufmerksamkeit³⁾ die Centrosomen wahrnimmt. Ich verweise hierbei auf die Figuren 122, 123 etc. Tafel VIII, welche diese Verhältnisse am besten illustrieren.

Die ganze den Kern umschliessende Plasmamasse, welche erfüllt ist von den kleinen, früher geschilderten Doppelstäbchen, unterliegt auch auf diesem Stadium noch langsamen Gestaltsveränderungen, welche besonders die nach hinten ziehenden, sehr grob fibrillär gestreiften Plasmazüge betreffen. An den beiden Polen der Centralspindel ist während des Monaster-Stadiums nur wenig Plasma angehäuft, indem die bogenförmigen Konturen der Plasmamasse bis in die Nähe der Pole vordringen. Auf späteren Stadien der Kernteilung sammelt sich jedoch hier immer mehr Plasma an, wie sich aus der Vergleichung der Fig. 122—127 Taf. VIII ergibt.

¹⁾ Nur die Centrosomen sind nach Präparaten eingezeichnet.

²⁾ An Präparaten erscheint die Membran der Centralspindel bei polarer Ansicht sehr deutlich doppelt konturiert. Vergl. Fig. 121 Taf. VIII.

³⁾ Ich spreche hier immer von Diatomeen, die in Damarlack eingeschlossen sind. In Wasser dürften an gefärbten Surirellen die Centrosomen schärfer hervortreten.

In dem eben geschilderten Zustand verharrt der Kern beinahe eine Stunde und dies mag wohl auch der Grund sein, dass man dieses Stadium des „Muttersterns“ oder der „Kernplatte“ noch am relativ häufigsten von allen Phasen der Kernteilung zu sehen bekommt. Während dieser Zeit trennen sich die Hälften der längsgespaltene Chromosomen und ordnen sich so an, dass bei der Metakinese jeder Tochterkern die Hälfte einer Schleife erhält.

Als erstes Anzeichen der beginnenden Metakinese bemerkt man im Leben, dass die der Centralspindel direkt anliegende Partie des Chromosomenrings sich beiderseits etwas mehr gegen die Pole hinzieht, wodurch die Konturen des Rings geschweift erscheinen, wie ein Vergleich der Fig. 122 und Fig. 123 Taf. VIII am besten zeigt. Gleichzeitig beginnt im Äquator des Ringes eine helle Trennungslinie aufzutreten, die sich immer mehr verbreitert. Damit ist der ursprünglich einheitliche Chromosomenring in zwei Tochterringe zerlegt worden, die, immer die Centralspindel umschliessend, sich mehr und mehr von einander entfernen und den Polen zustreben. Die Ursache dieses Auseinanderweichens muss — wenn man nicht etwa von den Centrosomen der Centralspindel ausgehende Reize chemotaktischer Art annehmen will — bei *Surirella* wohl in den Tochterchromosomen selbst gesucht werden, also eine vitale Funktion derselben sein, da man weder an lebenden noch an gefärbten *Surirellen* auch nur die geringste Andeutung anderer Spindelfasern als die der Centralspindel wahrnimmt. „Halbspindeln“ im Sinne von van Beneden (6) und Boveri (11) fehlen jedenfalls bei *Surirella* vollständig.

Wenn im Äquator des Muttersterns die helle Trennungslinie auftritt, beginnt auch die Zellteilung ihren Anfang zu nehmen, und zwar vom schmalen Zellende her, also von einer Region der Zelle aus, welche derjenigen des sich teilenden Kerns diametral entgegengesetzt liegt. Dieser Umstand nötigt uns, einen Blick auf jene Veränderungen zu werfen, welche während der Kernteilung in der Zelle vor sich gegangen sind. Wir können uns hierbei kurz fassen.

Die sichtbaren Veränderungen bestehen vor allem darin, dass die Zelle durch das stetige Auseinanderweichen der beiden Schalenhälften gegen früher bedeutend breiter geworden ist (Taf. IX Fig. 133, 134). Ausserdem haben sich die oberflächlichen Chromatophoren mehr gegen die Schalenseiten zurückgezogen, von wo sie als tief braune, an ihrem freien Ende verbreiterte Bänder gegen die farblose mittlere Längszone vorspringen; die mittlere Chromatophorenbrücke bleibt dabei erhalten. Während in der Plasmamasse am breiten Zellende im Innern des Kerns die eben geschilderten Veränderungen vor sich gehen, sammelt sich am schmälern Zellende etwas Protoplasma an, in dessen Umgebung zahlreiche Bütschli'sche Körnchen sichtbar sind. Sobald nun am Kern die Tochterchromosomen auseinanderzuweichen beginnen, tritt am schmalen Zellende die die Zellteilung bewirkende einschneidende Ringfalte auf, welche als dunkle Linie langsam gegen das breite Zellende hin vorschreitet, wie bereits Pfitzer (101) beobachtet hat. Wenn die Ringfalte die noch bestehende mittlere Chromatophorenbrücke erreicht hat, schiebt sie dieselbe in einem immer spitzer werdenden Winkel vor sich hin (Fig. 135

Taf. IX) bis in die Nähe der grossen Plasmaansammlung, wo die Brücke endlich durchschnürt wird. Die beiden lang ausgezogenen Hälften verbleiben noch geraume Zeit in der zuletzt eingenommenen Lage (Fig. 136 Taf. IX).

Während dieser Vorgänge sind die Tochterchromosomen, auf der Centralspindel entlang gleitend, immer mehr gegen die Pole auseinandergerückt, wodurch die Kernteilung nach und nach in das Stadium des „Dyasters“¹⁾ übergeht. Im Leben erscheinen die Chromosomenringe auch jetzt noch fast vollständig homogen, während an gefärbten Präparaten die einzelnen Chromosomen zwar besser zu unterscheiden sind als auf dem Stadium des „Monaster“, eine genauere Zählung indessen als fast aussichtslos erscheinen lassen. Besonders deutlich tritt auf diesem Stadium die Strahlung des Plasmas gegen die einseitig gelegenen Centrosomen hervor, welche letztere als sehr grosse und immer noch sehr blasse Kugeln in einiger Entfernung von den gewölbten Polflächen liegen (Fig. 124 Taf. VIII). Weiterhin können wir noch beobachten, dass die Plasmaansammlung gegen früher schon beträchtlich breiter geworden ist.

Je mehr sich die Entfernung zwischen beiden Chromosomenringen vergrössert, desto mehr streckt sich auch die Centralspindel in die Länge, wobei ihre garbenförmige Gestalt immer mehr in eine cylindrische übergeht. Ihr äquatorialer Teil entspricht hierbei vollständig den sogenannten „Verbindungsfäden“, die bei der typischen Karyokinese sich zwischen den auseinanderweichenden Tochterkernen ausspannen. Wenn dann die Tochterchromosomen in der Nähe der Pole angelangt sind, zeigen sich die bogenförmig begrenzten Polflächen der Centralspindel durch eine deutliche dunkle Linie von dem äquatorialen Teil abgegrenzt (Fig. 124 Taf. VIII). Diese Erscheinung steht jedenfalls im Zusammenhang mit einem merkwürdigen Vorgang, der sich jetzt immer deutlicher beobachten lässt: je mehr sich nämlich die Chromosomenringe den Polen nähern, desto mehr verengt sich ihre centrale Öffnung, wodurch schliesslich die polaren Enden der Centralspindel von deren äquatorialem Teil abgeschnürt werden. Wir sehen ein derartiges Stadium ganz besonders deutlich auf Fig. 125 Taf. VIII. Hier haben die Chromosomenringe die Pole fast erreicht und hierbei durch die stetig zunehmende Verengung des centralen Loches die Spindel bereits soweit eingeschnürt, dass deren polare Enden als ovale, ziemlich glänzende Körper den schwach eingebuchteter Tochterkernen aufzusitzen scheinen; trotzdem ist, wie eine genaue Einstellung auf die Mitte lehrt, die Kontinuität der Spindel noch vollständig erhalten. Hand in Hand mit der Verengung des Loches der Tochterkernanlagen vollzieht sich eine Krümmung derselben gegen die Schalen-seiten hin, wodurch die Spindelenden allmählich von den Seiten her umfasst werden,

1) Obwohl die Chromosomen in ihrer Gesamtheit viel mehr eine ringförmige als sternförmige Anordnung zeigen, glaube ich doch die einmal eingebürgerten Namen „Mutterstern, Dyaster“ beibehalten zu dürfen, da ich sie nur zur Charakterisierung bestimmter Stadien der Karyokinese verwende. Ebenso habe ich auch den Ausdruck „Spindel“ angewendet, obwohl die garbenförmige Central„spindel“ der Diatomeen mit einer wirklichen Spindel so gut wie gar keine Ähnlichkeit hat.

sodass sie schliesslich fast ganz in die entstandene Höhlung hineingezogen erscheinen und dann nur zum Teil sichtbar sind (Fig. 126 Taf. VIII).

Unterdessen ist die einschneidende Ringfalte vom schmälern Zellende her bis zur Plasmamasse vorgedrungen und zerklüftet dieselbe nun, von der Peripherie der Zelle nach innen vordringend (Fig. 126 Taf. VIII, Fig. 136 Taf. IX). Die Spindelfasern oder Verbindungsfäden sind bis zu dieser Zeit wie immer scharf und deutlich wahrzunehmen; in dem Augenblicke, wo die Ringfalte von aussen her gegen sie vorrückt, erscheinen sie nicht mehr wie früher geradelinig, sondern wellig hin und hergebogen und in ihrem Äquator etwas verdickt (Fig. 126 Taf. VIII). Nach der Zerklüftung des Plasmas werden ihre äquatoriale Hälften höchst wahrscheinlich durch die noch nicht geschlossene centrale Öffnung der Tochterkerne in die polaren Spindelkörper eingezogen, was ich indessen nur nach meinen Präparaten schliessen kann, da ich diesen jedenfalls bedeutungsvollen Vorgang bis jetzt noch nicht im Leben zu verfolgen imstande war. Mit der Halbierung der Centralspindel ist die Kernteilung im wesentlichen vollzogen und beide Tochterkerne beginnen sich wieder zu rekonstruieren.

III. Phase: Rekonstruktion der Tochterkerne.

Sobald der Zusammenhang zwischen beiden Tochterkernen durch die Halbierung der Centralspindel, resp. der „Verbindungsfäden“ aufgehoben ist, rücken dieselben immer mehr gegen die vorderen Schalenecken hin, welche jetzt in beiden Tochterzellen von Plasma erfüllt sind (Fig. 137, 138 Taf. IX). Dadurch kommen die Kerne teilweise unter die runzeligen Lappen der oberflächlichen Chromatophoren zu liegen, wodurch ein genaueres Verfolgen der Vorgänge bei der Kernrekonstruktion, namentlich an lebenden Surirellen, sehr erschwert wird. Werden die Kerne bald nach der Durchschürung des Plasmas fixiert und gefärbt, so zeigen sie zunächst das in Fig. 127 Taf. VIII wiedergegebene Aussehen. Sie liegen im Plasma beider Tochterzellen einander spiegel-symmetrisch gegenüber und scheinen, von der Gürtelseite gesehen, ungefähr ovale Gestalt zu besitzen. In Wirklichkeit sind die Kerne jedoch mehr oder weniger stark nieren- oder bohnenförmig gekrümmt, wobei sie ihre Einbuchtung den Schalenseiten zuwenden, so dass das Bild, welches man bei Betrachtung von den Gürtelseiten her bei mittlerer Einstellung erhält, eigentlich nur den Querschnitt der Kerne repräsentiert¹⁾. Von der inneren Struktur lässt sich auf diesem Stadium an Totalpräparaten von *Surirella* recht wenig erkennen, da im Innern der Kerne nur unregelmässig gewundene dunklere Partien sowie die Andeutung des centralen Spaltes wahrnehmbar sind (Fig. 119 Taf. VIII). Einen weit besseren Einblick gewähren isolierte Kerne, wie ein solcher in Fig. 120 Taf. VIII von der Breitseite abgebildet ist. Hier ist vor allem zu ersehen, dass die frühere Öffnung des Chromosomenringes auch jetzt noch als länglicher gebogener Spalt

¹⁾ Durch diese Orientierung der Tochterkerne kommt es auch, dass dieselben auf diesem Stadium relativ klein erscheinen, wenn man sie nur von den Gürtelseiten betrachtet.

in der Mitte des Kerns persistiert. Gegen diesen Spalt zu streben von der Peripherie her zahlreiche dunkel gefärbte und geschlängelte Kernfäden, welche in ihrer radiären Anordnung noch deutlich ihre Abstammung aus den Chromosomen der „Tochtersterne“ verraten. Zu beiden Seiten der Kerne, und deren Einbuchtung zugewendet, liegen die auf diesem Stadium sehr scharf hervortretenden abgeschnürten Spindelenden, ebenfalls einander symmetrisch gegenüber. Sie besitzen eine ungefähr C-förmige Gestalt und sind gegen die Schalenseiten zu distinkt begrenzt, während gegen den Kern zu ihre Begrenzung nur sehr verschwommen oder fast unsichtbar erscheint. Dieser letzte Umstand rührt wohl davon her, dass auf diesem Stadium die Einziehung der äquatorialen Teile der Centralspindel noch nicht vollständig durchgeführt ist; möglicherweise steht eine schwache Streifung, die ich zwischen Spindelkörper und Kern in Andeutungen wahrnahm, mit diesem Vorgang in Verbindung. Den konvexen Seiten der Spindelenden liegen schwer sichtbare Centrosomen an, gegen welche sich das Plasma der Tochterzellen centriert.

Im weiteren Verlaufe der Rekonstruktion fangen die Kerne an, sich allmählich um 180° zu drehen und zwar so, dass ihre Einbuchtung schliesslich der Mitte der Zelle, also den sich neubildenden Schalen der Tochterzellen zugekehrt ist. Eine Phase dieses Vorgangs veranschaulicht Fig. 129 Taf. VIII und Fig. 138 Taf. IX. Hier haben beide Kerne bereits eine Drehung von ca. 90° gegen ihre frühere Lage vollführt und wenden ihre Einbuchtung gegen das breite Zellende. Wenn man dieses Stadium mit dem vorhergehenden (Fig. 127) von der Gürtelseite her einer vergleichenden Betrachtung unterzieht, so überrascht im ersten Augenblick die scheinbar ganz verschiedene Gestalt der Kerne; vergegenwärtigt man sich aber das wirkliche Aussehen der Kerne (Fig. 128), so erkennt man bald, dass die vorgegangenen Veränderungen in Gestalt und Struktur keineswegs so bedeutend sind, wie es bei flüchtiger Betrachtung wohl scheinen möchte. Die innere Struktur bietet jetzt ein sehr charakteristisches Bild dar. Von der wieder deutlicher gewordenen Kernmembran strahlen wie die Speichen eines Rades zahlreiche dunkel gefärbte Balken gegen das Innere, welches mit vielen kleineren und grösseren Kugeln erfüllt ist, zwischen denen sich strangartige Verbindungen erkennen lassen. Ganz im Centrum des Kerns und dessen Begrenzung ungefähr wiederholend, befindet sich ein von Kugeln und Gerüstwerk freier Raum, der zweifellos dem früheren Loch der Chromosomenringe entspricht. Neben den Kernen und zwar in einiger Entfernung von der Einbuchtung liegen die Centrosomen als relativ grosse, dunkel gefärbte Kugeln im Mittelpunkt der plasmatischen Strahlung. Von den abgeschnürten Spindelenden ist nichts mehr zu sehen; sehr wahrscheinlich wurde ihre Substanz in die Centrosomen eingezogen, wie sie ja auch am Beginn der Kernteilung aus diesen hervorgegangen ist.

Sobald die Kerne sich um 180° gedreht haben und ihre Buchten mit den Centrosomen den neuen Tochterchalen zukehren, beginnt das Plasma beider Tochterzellen sich wieder gegen die Mitte der Zelle zu in Bewegung zu setzen. Während dieser Zeit schreitet die Rekonstruktion der Gerüstsubstanz immer weiter, wobei vor allem

die Sonderung von Liningerüst und eingelagerten Chromatinkörnchen – die, wie aus Fig. 129 zu ersehen ist, schon früher ihren Anfang nahm – immer deutlicher wird. Die allgemeinere Anordnung des Gerüstwerkes im Innern der Kerne bleibt hierbei im grossen und ganzen noch annähernd dieselbe wie früher: noch sehen wir (Fig. 130 Taf. VIII, Fig. 139 Taf. IX) die zahlreichen groben Balken von der Peripherie radiär nach innen streben, wo der frühere Spalt, umgeben von Chromatinkugeln und -kügelchen, wenigstens noch in Andeutungen erhalten ist. Während jedoch früher die Balken sich in ihrer ganzen Ausdehnung ziemlich gleichmässig dunkel färbten und meist nur in den Knotenpunkten grössere Kügelchen erkennen liessen, erscheinen sie jetzt aufgelöst in ein Geflecht zarter blasser Stränge, welche mit zahlreichen kleineren und grösseren dunklen Chromatinkügelchen dicht besetzt sind. (Fig. 130 Taf. VIII.) Auch das Innere des Spaltes durchziehen blasse Stränge, zwischen denen jetzt wieder die Nukleolen zum Vorschein kommen. An den beiden neuen Schalen zugekehrten Seiten der Kerne haben die Centrosomen wie am Beginne der Kernteilung ihre Lage an den Einbuchtungen und sind mit dem Kern durch eine deutliche Strahlung verbunden; nach der vom Kern abgewandten Seite hin ist die Strahlung undeutlich und fehlt wohl auch ganz. Diese einseitige Plasmastrahlung, wo das Centrosom die Spitze eines von ihm zur Oberfläche des Kerns ziehenden Strahlenkegels einnimmt, scheint mir eine weitere Illustration für die innigen Beziehungen zwischen Kern und Centrosom zu sein, deren ich schon früher gedachte.

Sobald die Plasmamassen mit ihren Kernen in der Mitte der Zellen angelangt sind, verharren die Kerne anfangs in der eben geschilderten Lage, d. h. Längsachse parallel dem Längsdurchmesser der ganzen Zelle, Centrosomen den neuen Tochterschalen zugekehrt. (Taf. IX Fig. 140.) Hierbei liegen die Kerne in einer schwachen Einbuchtung der Chromatophoren; von der Plasmamasse gehen vier ansehnliche, fibrillär gestreifte Stränge aus, welche nach den Zellenden hinziehen. Nach vollzogener Teilung der Chromatophoren nehmen die Kerne und Centrosomen ihre Ruhelage wieder ein, indem sie Bucht und Centrosom gegen das breite Zellende hin richten. Ihre innere Struktur hat jetzt ebenfalls fast vollständig wieder das Aussehen derjenigen des ruhenden Kerns angenommen: der Spalt im Innern, der auf dem früheren Stadium noch in Andeutungen vorhanden war, ist verschwunden und seine Stelle nimmt ein von zahlreichen Chromatinkörnchen erfülltes Gerüstwerk mit den Nukleolen ein.

Es erübrigt schliesslich noch, kurz auf die Neubildung der Tochterschalen sowie das Verhalten der Chromatophoren während dieser Phase der Teilung einen Blick zu werfen. Wenn die einschneidende Ringfalte die ganze Zelle in zwei Hälften geteilt hat, liegen die Trennungsf lächen der Tochterzellen anfangs in gerader Linie fest aneinander. Nach kurzer Zeit indessen macht sich eine Abrundung der jetzt schon deutlich sichtbaren, noch glatten Zellhäute bemerkbar, wobei sich der Zwischenraum zwischen letzteren immer mehr verbreitert. Während der Rückwanderung der Plasmamassen mit ihren Kernen gegen die Mitte zu zeigen sich an den neuen Tochterschalen die

ersten Andeutungen der Flügel als zarte Falten der Zellhaut, die anfangs keinerlei Strukturen erkennen lassen. Indem aber bald darauf die beiden Blätter der Falten sich in regelmässigen Abständen teils eng aneinander legen, teils zwischen sich röhrenförmige Hohlräume frei lassen, entsteht nach und nach das früher geschilderte System der U- oder fensterförmigen Verbindungsstücke und der Flügelkanäle. Erst wenn die Struktur der Tochterschalen sich vollständig herausgebildet hat, teilt sich auch das Chromatophor, welches bis dahin in jeder Tochterzelle in Einzahl vorhanden war. Die Teilung erfolgt nach Pfitzers Ermittlungen — ich selbst habe diesen Vorgang nicht näher verfolgt — der Fläche nach, indem sich zwei Lamellen von einander abheben. Zwischen beide auseinanderweichenden Hälften dringt das Plasma mit dem Kern ein, um sich in seiner Ruhelage zu orientieren, wobei die Chromatophoren gegen die Schalen-seiten gedrängt werden. Anfangs an ihrem freien Rande noch wenig zerschnitten und zerschlitzt, entsenden sie bald ihre lappigen Ausläufer nach den Gürtelseiten sowie in die Kanäle der Flügel. Auf diesem Zeitpunkt trennen sich gewöhnlich die bis dahin mehr oder weniger fest zusammenhängenden Tochterzellen und jede führt ein geson-dertes Dasein. Noch einige Zeit nachher kann man die kürzlich aus einer Teilung hervorgegangenen Zellen daran erkennen, dass die älteren Schalen mit ihren Gürtel-bändern weit über die jüngeren hinweggreifen. (Vgl. Taf. IX Fig. 140.)

Nach dieser Schilderung der Kern- und Zellteilung von *Surirella calcarata* möchte ich in folgendem noch die Zeitdauer einzelner Phasen der Kernteilung zusammenstellen. Es dürften derartige Angaben wohl schon darum nicht ohne Interesse sein, weil bei zahlreichen Objekten, an denen man bisher den Verlauf der Karyo-kinese besonders eingehend studiert hat, ein Verfolgen der Kernteilung *intra vitam* und damit auch die Möglichkeit einer genaueren Zeitangabe über den Verlauf der ein-zelnen Phasen durch die Natur der betreffenden Zellen von vornherein ausgeschlossen erscheint.

Die Zeit, welche von der Ausbildung der Centralspindel, vom Beginn der Wanderung des Plasmas bis zu dessen Ankunft am breiten Zellende verfliesst, beträgt etwa 1½ Stunden. Während dieses Zeitraumes geht im Innern des Kerns die Um-lagerung des Gerüstwerkes und die allmähliche Ausbildung der Knäuelfigur vor sich; das Resultat dieser Vorgänge zeigt uns Fig. 116 Taf. VII. Nun vollzieht sich vor allem das Auswachsen der Centralspindel und deren Wanderung in den Kern, was relativ rasch geschieht, wie aus folgenden Zeitangaben hervorgeht. In einem der beobachteten Fällen zeigte die Centralspindel:

- 10 Uhr 15 Min. das in Fig. 90 Taf. V wiedergegebene Aussehen,
- 10 „ 28 „ dasjenige von Fig. 91 Taf. V,
- 10 „ 40 „ „ „ „ 92 „ V (Fig. 117 Taf. VII),
- 10 „ 50 „ „ „ „ 93 „ V,
- 10 „ 58 „ „ „ „ 94 „ V,
- 11 „ — „ rückte die Centralspindel, in ihrer Gestalt zwischen Fig. 94 und

Fig. 95 Taf. V stehend, gegen den Kern und senkte sich in diesen hinein¹⁾.

- 11 Uhr 10 Min. präsentirte sich die Centralspindel, excentrisch im Kernraum liegend, wie in Fig. 118 Taf. VIII. Bereits um diese Zeit zeigte sich an ihrem Äquator ein Teil der kurz vorher deutlicher gewordenen Chromosomen in Gestalt eines Ringes angeordnet, welcher zusehends sich verbreiterte und bei fortwährender Grössenzunahme der Centralspindel
- 11 „ 15 „ ungefähr dem Stadium der Fig. 116 Taf. VIII und
- 11 „ 18 „ ungefähr demjenigen von Fig. 120 Taf. VIII entsprach. Gegen
- 11 „ 20 „ schienen sämtliche Chromosomen zum Äquatorialring vereinigt. (Fig. 122 Taf. VII).
- Dieses Aussehen behielt der Kern bis gegen
- 12 „ — „ wo der die Centralspindel unmittelbar umgebende Teil des dicken Chromosomenringes sich mehr gegen die Pole hinzuziehen begann. Die fibrillären, gegen das schmale Zellende zustrebenden Plasmazüge hatten während dieser Zeit ihre Lage verändert. Ungefähr um
- 12 „ 15 „ trat am schmälern Zellende die einschneidende Ringfalte auf und schritt gegen den Kern vor (Fig. 134 Taf. IX),
- 12 „ 20 „ trat im Äquator des Chromosomenrings die helle Trennungslinie auf. Um
- 12 „ 50 „ erfolgte die Durchschnürung der gesamten Plasmamasse und des Kerns. (Fig. 136 Taf. IX.)

Die Zeitdauer der weiteren Phasen habe ich nicht verfolgt. Nach Pfitzers (101 pag. 116) Angaben sind 45 Minuten nach der Zerklüftung des Plasmas die beiden Tochterzellen nicht mehr in Berührung mit einander und nach weiteren 10 Minuten hat das Plasma beider Tochterzellen bereits wieder die Zellmitte erreicht. Die Ausbildung der flügelartigen Fortsätze der neuen Zellwände nimmt etwa 20 Minuten in Anspruch.

Die ganze Kern- und Zellteilung von *Surirella calcarata* würde sich also nach diesen Beobachtungen im Verlauf von etwa 5—5^{1/2} Stunden abspielen. Man darf indessen nicht ausser acht lassen, dass alle diese Beobachtungen über die Zeitdauer der Teilung an Diatomeen gemacht wurden, welche sich unter einem Deckglase, also in doch naturgemäss stets mehr oder weniger ungünstigen äusseren Lebensbedingungen befanden. Es ist somit sehr wohl möglich, ja sogar recht wahrscheinlich, dass im Freien, am Grunde der Gewässer, die Kernteilung rascher vor sich geht, als man nach Beobachtungen unter dem Mikroskope schliessen möchte.

¹⁾ Die folgenden Zeitangaben basieren auf der Untersuchung eines anderen, eine Stunde später untersuchten Exemplares von *Surirella*, da das erste auf dem Stadium der Fig. 118 Taf. VIII fixiert wurde. Der Übersichtlichkeit halber habe ich die hierbei erhaltenen Zeiten umgerechnet und sie als Fortsetzung derjenigen des ersten Exemplares angeführt.

2. Kern- und Zellteilung von *Nitzschia sigmoidea*, *Pleurosigma attenuatum*, *Pinnularia oblonga* und *Pinnularia viridis*.

Da die in vorstehendem aufgezählten Formen — besonders die drei erstgenannten — in Bezug auf ihre Kernteilung eine recht weitgehende Übereinstimmung zeigen, so habe ich vorgezogen, dieselben hier zusammen zu behandeln. Meine Beobachtungen wurden, wie ich nochmals hervorhebe, fast ausschliesslich an mit Pikrinschwefelsäure oder Jodalkohol fixierten und mit Hämatoxylin gefärbten Diatomeen gemacht; sie sind darum auch in erster Linie eigentlich nur in Bezug auf die färbbaren Bestandteile des Kerns einigermaßen befriedigend, während sie bezüglich der achromatischen Bestandteile des Kerns sowie des Plasmas noch der Vervollständigung durch spätere Untersuchungen bedürfen.

I. Phase: Umlagerung der Gerüstsubstanz des Kerns bis zur Einwanderung der Centralspindel in denselben.

Die Umlagerungen, welche beim Beginn der Kernteilung mit der Gerüstsubstanz des ruhenden Kerns vor sich gehen und die Ausbildung der Knäuelfigur im Gefolge haben, lassen sich am klarsten bei dem Kern von *Nitzschia sigmoidea* überblicken, der sich wegen seiner relativen Grösse und regelmässigen Struktur ganz besonders für derartige Studien eignet.

Wie schon früher (pag. 46) geschildert wurde, besitzt der ruhende Kern von *Nitzschia sigmoidea* eine langgestreckt elliptische, in der Mitte mehr oder weniger verbreiterte Gestalt. Sein Inneres ist erfüllt von einem sehr regelmässigen, engmaschigen Gerüstwerk in netzig-wabiger Anordnung, dessen Knotenpunkte zahlreiche kleine Chromatinkörnchen in ziemlich gleichen Abständen von einander eingelagert enthalten; Nukleolen sind in Mehrzahl vorhanden (Taf. III Fig. 23). Sobald der Kern sich zur Teilung anschickt, geht diese regelmässige Struktur verloren: das Gerüstwerk wird gröber, unregelmässiger, indem sich da und dort die Chromatinkörnchen auf gewundenen Bahnen des Liningerüsts hinter einander aufzureihen beginnen und dann in Gestalt perlschnurartiger Stränge sich vom netzigen Gerüstwerke abheben. Dadurch erhält der Kern ein mehr faseriges Aussehen (Taf. III Fig. 24). Parallel mit diesen Veränderungen im Innern verkürzt sich der Kern in der Richtung seines Längsdurchmessers immer mehr, um dafür an Breite zuzunehmen, wodurch er schliesslich ellipsoide Umriss erhält. Indem die Aneinanderreihung der Chromatinkörnchen immer weiter um sich greift, wobei kleinere Körnchen mit einander zu grösseren verschmelzen, ist schliesslich der ganze Kernraum erfüllt von einem perlschnurartigen Knäuelwerk, dessen vielfach verschlungene Stränge durch zarte Verbindungsfäden zu einem weitmaschigen Netzwerk vereinigt sind (Fig. 25 Taf. III). Im weiteren Verlauf verschmelzen nach und nach die aneinandergereihten Chromatinkörnchen unter sich, sowie mit dem sie tragenden Liningerüst zu

stark färbbaren Fäden¹⁾, welche in mannigfachen Windungen den Kernraum durchsetzen (Taf. III Fig. 26). Die Nukleolen lassen sich als sehr blasse Kugeln bis zu diesem Stadium verfolgen; später sind sie nicht mehr nachzuweisen.

In ganz entsprechender Weise vollzieht sich der Übergang zum Knäuelstadium auch bei den Kernen von *Pinnularia oblonga*, *P. viridis* und *Pleurosigma attenuatum*; ich darf darum wohl, um Wiederholungen zu vermeiden, auf die Abbildungen der Tafeln IV und V, sowie auf die dazugehörigen Erklärungen verweisen. Bei *Pleurosigma* lässt sich noch beobachten, dass am Ende des Knäuelstadiums die Fäden sich besonders an der Peripherie des Kerns ansammeln und zwar vorzugsweise an jener Seite, wo später die Centralspindel einrückt²⁾ (Fig. 42 Taf. IV).

Auf dem Stadium des lockeren Knäuels wird im umgebenden Plasma die Anlage der Centralspindel deutlicher sichtbar. Während dieselbe bei *Surirella*, wie wir gesehen haben, schon zu einer Zeit auftrat, wo die Struktur des Kerns noch keine tiefgreifenden Veränderungen erkennen liess, tritt die Centralspindel in meinen Präparaten von *Pinnularia viridis* und *Pleurosigma attenuatum* erst am Ende des Knäuelstadiums in Erscheinung. Dieses späte Sichtbarwerden in Präparaten, welche in erster Linie zum Studium der chromatischen Verhältnisse des Kerns angefertigt wurden, schliesst natürlich nicht aus, dass die Centralspindel sich schon viel früher im Plasma differenziert. Sehr wahrscheinlich nimmt sie, wie bei *Surirella*, ihren Ursprung vom Centrosom, wenschon es mir nicht gelungen ist, dies direkt nachzuweisen. Indessen dürfte sich wohl zur Stütze dieser Auffassung geltend machen lassen, dass bei *Pinnularia viridis* (ebenso *P. maior*, *nobilis*), wo ich im Leben das Centrosom als kleines Kügelchen hart an der Oberfläche des Kerns auf einer der Gürtelseiten beobachten konnte, auch die erste Anlage der Centralspindel genau an derselben Stelle sichtbar wird (Fig. 49 Taf. IV). Die Centralspindel hat auf diesem frühesten beobachteten Stadium bereits ganz die typische garbenförmige Gestalt, welche wir schon von *Surirella* her kennen, und stellt wie diese ein allseitig scharf begrenztes und in der Richtung des Auswachsens zart gestreiftes Körperchen dar³⁾. Bei *Pleurosigma* tritt sie in einiger Entfernung vom Kern im Plasma auf und zeigt hier, von den Schalenseiten gesehen, mehr ovale Umrisse (Fig. 42 Taf. IV). Schon auf dem Knäuelstadium macht sich eine Einwirkung der Centralspindel auf den Kern geltend, indem die mittlerweile in mehr oder weniger lange schleifenförmige Abschnitte segmentierten Knäueläden sich an jener Seite

1) Als solche erscheinen sie an meinen in Damarlack aufgestellten Präparaten. Ich zweifle indessen nicht daran, dass, wie bei *Surirella*, auch bei *Nitzschia*, *Pleurosigma*, *Pinnularia* während des typischen Knäuelstadiums zarte Verbindungsstränge zwischen den Windungen der stark gefärbten Knäueläden vorhanden sind.

2) Bei *Pinnularia oblonga* sah ich diese einseitige Ansammlung der Knäueläden an der Peripherie des Kerns bereits auf jenem Stadium, wo das Knäuelwerk noch ein perlschnurartiges Aussehen besass, etwa wie in Fig. 54 Taf. V.

3) Von den Schalenseiten, also von den Polen gesehen, präsentiert sich die kleine Centralspindel in viereckiger Gestalt.

des Kernes dichter ansammeln, welche der Centralspindel am nächsten liegt, also gewissermassen zu letzterer hinzustreben scheinen (Fig. 42 Taf. IV, Fig. 49 Taf. IV). Noch viel auffallender offenbart sich die Einwirkung der Centralspindel auf die Chromosomen auf jenem Stadium, wo dieselbe sich, wie bei *Surirella*, in den Kern hineinsenkt, was wie es scheint, stets von einer Gürtelseite aus vor sich geht. Diesen wichtigen Vorgang illustriert in ausgezeichneter Weise Fig. 43 Taf. IV, die nach einem Präparate von *Pleurosigma attenuatum* entworfen ist. Hier ist an dem bedeutend angeschwollenen Kern die bis dahin deutlich erhaltene Membran an einer Stelle dellensartig eingedrückt durch die sich nach dem Kerninnern hin bewegend, noch ziemlich kleine Centralspindel. Gegen sie drängen sich die zahlreichen schleifenförmigen Chromosomen zusammen und umschliessen mit ihren Umbiegungsstellen (Schleifenwinkeln) halbkreisförmig die Centralspindel. Letztere ist in Fig. 43 Taf. IV hauptsächlich von ihrer polaren Seite sichtbar, welche stets den Schalenseiten zugekehrt ist, und zieht schief nach unten, wie sich durch wechselnde Einstellung leicht ermitteln lässt; Fig. 44 repräsentiert denselben Kern in einer anderen Ansicht, mehr von der Gürtelseite her, und zeigt die garbenförmige Gestalt der Spindel mit aller wünschenswerten Deutlichkeit. Der Ort, wo die Centralspindel in den Kern einwandert und dessen Membran vor sich eindrückt, entspricht vollständig einem „Polfeld“ im Sinne Rabls (108), gegen welches auch eine deutliche Strahlung des umgebenden Plasmas zu beobachten ist. Von *Nitzschia*, *Pinnularia oblonga* und *P. viridis* besitze ich keine entsprechenden Stadien in meinen Präparaten, was seinen Grund wohl nur darin hat, dass die Einwanderung der Spindel ziemlich rasch vor sich geht, wie wir bei *Surirella* gesehen haben; indessen dürfte sich hier die Sache wohl kaum anders verhalten als bei *Pleurosigma attenuatum*.

II. Phase: Von der Einwanderung der Spindel in den Kern bis zur Zellteilung.

Sobald die Centralspindel in den Kern eingedrungen ist, streckt sie sich in die Länge und orientiert sich in der Richtung der Teilungsachse, also senkrecht auf beide Schalen. Während sie noch im Wachsen begriffen ist, beginnen sich, wie bei *Surirella*, bereits die schleifenförmigen geschlängelten Chromosomen in ihrem Äquator anzusammeln. Dabei haben dieselben, wie Fig. 57 Taf. V bei *Pinnularia oblonga* zeigt, anfangs noch ein ziemlich knäueliges Aussehen, was besonders bei Betrachtung von den Schalenseiten zu Tage tritt, wo die Schleifenschenkel noch ziemlich wirr durcheinander gewunden sind, im allgemeinen jedoch nach einer excentrisch gelegenen, halbkreisförmig begrenzten Stelle sich centrieren, deren Mitte von der Centralspindel eingenommen wird. Bei Betrachtung desselben Kernes von den Gürtelseiten (Fig. 56 Taf. V) fällt ebenfalls der vielfach geschlängelte Verlauf der Schleifen auf, welche fast die ganze Mantelfläche der Centralspindel halbseitig umfassen. Die Pole der Centralspindel sind auf diesem Stadium, ebenso wie auf den späteren, durch eine dicke dunkler gefärbte Linie begrenzt. Bei *Nitzschia sigmoidea* zeigen die

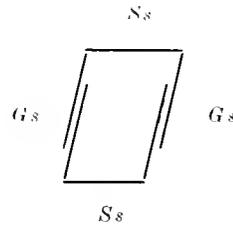
Chromosomen auf dem entsprechenden Stadium ebenfalls noch eine mehr knäueiförmige Anordnung, wie die Skizze Fig. 27 Taf. III erkennen lässt.

Während nun bei *Surirella calcarata* die Chromosomen bei Bildung der „Äquatorialplatte“ sich so eng zusammenschliessen, dass sie einen förmlichen Ring bilden, zeigen Präparate von *Nitzschia*, *Pleurosigma* und *Pinnularia oblonga* die einzelnen Chromosomen in ihrem ganzen Verlaufe frei wie in den typischen Fällen der Karyokinese. Nur *Pinnularia viridis* scheint hierbei eine Ausnahme zu machen und sich *Surirella* darin zu nähern, dass die Chromosomen im Stadium des „Muttersterns“ zu einem breiten klumpigen Ring verschmelzen, in welchem die einzelnen Schleifen nur mit Mühe zu unterscheiden sind. Ein weiterer und, wie mir scheinen will, nicht unwichtiger Unterschied zwischen *Surirella* einerseits und *Nitzschia*, *Pleurosigma* und *Pinnularia oblonga* andererseits besteht darin, dass bei den drei letztgenannten Formen sich während des Übergangs zum Mutterstern eine tonnenförmige Spindel ausbildet, welche die garbenförmige Centralspindel allseitig umschliesst. Die Fasern dieser tonnenförmigen Spindel dürften ihren Ursprung wohl sicher aus den Linienbestandteilen des Kerns nehmen und würden sich dann wesentlich von jenen der extranuklear entstandenen Centralspindel unterscheiden; sie weichen von letzterem auch in ihrem optischen Verhalten ab, da sie dicker und rauher erscheinen als die überaus zarten Fasern der Centralspindel. Um den bauchig verbreiterten Äquator dieser nuklearen Spindel ordnen sich dann die zahlreichen Chromosomen zur Bildung des „Muttersterns“ an, ohne hierbei, wie bei *Surirella*, in direkte Verbindung mit der Centralspindel zu treten. Bei *Pinnularia viridis* umschliesst der Chromosomenring allseitig die Centralspindel direkt (Fig. 50, 51 Taf. IV), also genau wie bei *Surirella*; eine tonnenförmige Spindel kommt hier nicht zur Ausbildung.

Damit wären wir beim Stadium des „Muttersternes“ angelangt, das uns Fig. 28–31 Taf. III von *Nitzschia*, Fig. 45 Taf. IV von *Pleurosigma attenuatum* und endlich Fig. 58, 59 Taf. V von *Pinnularia oblonga* vor Augen führt. Überall finden wir die mehr oder weniger deutliche Membran des ovalen Kerns an dessen den Schalen-seiten der Diatomee zugekehrten Polen beiderseits eingebuchtet. Zwischen diesen beiden einander gegenüberliegenden Dellen spannt sich die garben- oder stempelförmige Centralspindel aus und ihre breiten Polflächen nehmen den Boden der beiden Einbuchtungen ein. Die Centralspindel erstreckt sich mit ihren zarten Fasern kontinuierlich von Pol zu Pol und zeigt in ihrem verschmälerten Äquator ein ziemlich breites dunkel gefärbtes Band, das ich am deutlichsten bei *Nitzschia sigmoidea* (Fig. 28 Taf. III), etwas weniger gut bei *Pinnularia oblonga* und *Pleurosigma attenuatum* wahrnehmen konnte. Die tonnenförmige nukleare Spindel umhüllt wie ein Mantel allseitig die Centralspindel und besteht eigentlich aus zwei von den Polen ausgehenden „Halbspindeln“, die im Äquator der Teilungsfigur aufeinander stossen; sie zählt nur relativ wenige Fasern, welche bei *Nitzschia* etwas rauh erscheinen und sich in Kernfärbemitteln, wie z. B. Hämatoxylin, schwach tingieren. Da, wo die Fasern beider Halbspindeln auf einander

stossen, heften sich die jetzt deutlich schleifenförmigen Chromosomen an, und zwar mit zwei kleinen gefärbten Zäckchen, welche von den Schleifenwinkeln ausgehend die Fasern umfassen (Fig. 28—31 Taf. III Nitzschia).

Ein eigentümliches Bild bietet dieses Stadium dar, wenn man es von den Polen her, also von den Schalenseiten betrachtet. Am meisten frappiert hierbei der Umstand, dass die Chromosomen in ihrer Gesamtheit keinen geschlossenen Ring um die Spindel bilden, sondern gegen eine der Gürtelseiten hin eine mehr oder weniger grosse Lücke offen lassen (Taf. III Fig. 29, 31 Nitzschia; Taf. IV Fig. 45 Pleurosigma, Taf. V Fig. 59 Pinnularia). Besonders auffallend tritt dieser Umstand bei *Nitzschia sigmoidea* zu Tage, wo die Chromosomen sich nur in der Richtung des Längsdurchmessers der Zelle¹⁾ um den Äquator der Spindel gruppieren. Die Erklärung für dieses sonderbare, mit den Fällen der typischen Karyokinese durchaus nicht harmonisierende Verhalten dürfte wohl sicher in den räumlichen Verhältnissen der *Nitzschia*-Zelle zu suchen sein. *Nitzschia sigmoidea* besitzt einen rhombischen Querschnitt (vergl. neben-



stehendes Schema). Während des Verlaufs der Kernteilung verbreitert sich, wie bei allen Diatomeen, die Fläche der Gürtelseiten (*Gs*) durch das Auseinanderweichen der übereinandergreifenden Schalenhälften ziemlich beträchtlich, wobei sich natürlich der Abstand beider Schalenseiten (*Ss*) (= Pervalvarachse O. Müllers [96]) entsprechend vergrössert und dadurch für den sich teilenden Kern und besonders für die in der Richtung der von Schale zu Schale verlaufenden Teilungsachse (Pervalvarachse nach Müller [96]) auseinanderweichenden Tochterkerne Raum geschaffen wird. Der Abstand beider Gürtelseiten, dargestellt durch die Länge der Transapikalachse, kann sich natürlich niemals vergrössern, da ja beide starren Schalenhälften bis an das Ende der Zellteilung immer noch etwas übereinandergreifen. Nun gruppieren sich auf dem Stadium des Muttersterns die Chromosomen strahlenförmig um die Spindel und zwar in der Zellteilungsebene (Müllers Valvarebene), welche bei den Diatomeen stets den Schalenseiten parallel liegt und in ihrer räumlichen Begrenzung von der Ausdehnung der letzteren abhängig ist. Da nun bei *Nitzschia* die Valvarebene zwar sehr langgestreckt aber auch sehr schmal ist, ist auch die Teilungsebene sehr schmal; es können sich darum die Chromosomen hier nicht strahlenförmig nach allen Seiten hin, sondern nur parallel dem längsten Durchmesser der Zelle im Äquator der sehr voluminösen Spindel anordnen, da ihre Länge derjenigen des Schalendurchmessers ungefähr gleichkommt. Ein Blick auf die Fig. 29 und 31 Taf. III und ein Vergleich derselben mit der Fig. 28 und 30 derselben sowie den hier gegebenen schematischen Querschnitt durch die Zelle wird das Gesagte wohl verständlich machen. Bei *Pleurosigma* sowie bei *Pinnularia oblonga* und *Nitzschia* scheint die einseitige

1) D. h. in der Richtung der Apikalachse O. Müllers (96).

Unterbrechung des Chromosomensterns stets derjenigen Seite zu entsprechen, von welcher her die Centralspindel in den Kern einrückte, was, soweit meine Beobachtungen reichen, stets von einer der Gürtelseiten aus geschieht und zwar von derjenigen, welche durch die Lage des Centrosoms vorgezeichnet ist.

Eine einigermaßen genaue Zählung der zum Mutterstern vereinigten Chromosomen ist bei den Diatomeen überaus schwierig und dürfte bei manchen Formen überhaupt kaum durchführbar sein. Bei *Nitzschia sigmoidea* habe ich bei den zwei Exemplaren, die in meinen Präparaten das genannte Stadium repräsentieren, ungefähr 16 Chromosomen feststellen können und glaube ich, dass sich diese Zahl nicht allzuweit von der Wirklichkeit entfernt. Bei *Surirella calcarata* ist die Zahl jedenfalls grösser.

Ich habe mich auch bemüht der Centrosomen ansichtig zu werden, die wohl sicher an den Polen der Centralspindel in der Einbuchtung des Kerns vorhanden sind; indessen, wie ich gestehen muss, mit ziemlich negativem Erfolg. Es gelang mir zwar manchmal an den bezeichneten Stellen dunkler gefärbte Kügelchen wahrzunehmen; ob dieselben aber wirklich Centrosomen sind, liess sich an meinen zu stark aufgehellten Präparaten nicht mit der nötigen Sicherheit feststellen. Trotz alledem scheint mir das Vorhandensein von Centrosomen an den Polen der Centralspindel indirekt dadurch erwiesen, dass eine recht deutliche Strahlung des Plasmas gegen jene Stellen vorhanden ist und dass auf späteren Stadien wenigstens in einigen Fällen an den Polen der Spindel Kügelchen beobachtet wurden, die nach Gestalt und Lage nichts anderes als Centrosomen gewesen sein können.

Auf dem Stadium des Muttersterns (oder schon früher) dürfte bei den genannten Formen auch die Längsspaltung der Chromosomen erfolgen; doch stehen mir Präparate, welche die Umlagerung der Chromosomen veranschaulichen, nicht zur Verfügung. Dagegen besitze ich ein Präparat von einer in den Formenkreis der *Navicula amphibaena* gehörigen Diatomee, welches wohl sicher das genannte Stadium wiedergibt; dasselbe ist auf Taf. VI Fig. 105 und 106 abgebildet. Bei Ansicht von der Gürtelseite liegt der Kern inmitten der queren Plasmabrücke und wird von der Zellteilungsebene, Müllers Valvarabene, halbiert. In seinem Innern spannt sich von Pol zu Pol eine langgestreckte Centralspindel aus, deren verschmälerter Äquator in einer breiten Zone von der Masse der schleifenförmigen Chromosomen umschlossen ist. Letztere sind deutlich längsgespalten und richten ihre Winkel nach beiden Polen; dies, sowie ihre etwas wirr erscheinende Anordnung lässt kaum eine andere Deutung zu, als dass sie im Begriffe sind, ihre Wanderung polwärts anzutreten. Von den Schalenseiten gesehen (Fig. 106) zeigen sich die Chromosomen in typischer Sternform rings um die Spindel angeordnet, wobei auffällt, dass die ganze Kernteilungsfigur einseitig einer Gürtelseite anliegt¹⁾.

¹⁾ Eine ähnliche asymmetrische Lage des Kerns auf diesem Stadium habe ich auch bei anderen Formen beobachtet; so ist z. B. der auf Taf. V Fig. 50 abgebildete Mutterstern von *Pinnularia oblonga* ebenfalls deutlich einer Gürtelseite genähert. Späteren Untersuchungen bleibt es vorbehalten zu entscheiden, ob dieser Lage (wie mir wahrscheinlich ist) eine weitere Verbreitung zukommt oder ob sie durch die Behandlung mit Reagentien entstanden ist.

Nach ihrer Längsspaltung und Umlagerung rücken die Chromosomen entlang den Spindelfasern gegen beide Pole auseinander, wobei sich die bis dahin ellipsoidale Kernteilungsfigur immer mehr in der Richtung der Teilungsachse streckt und so eine mehr kugelförmige Gestalt annimmt. In der Nähe der Pole angelangt, gruppieren sich die Tochterchromosomen zu deutlichen Tochtersternen, welche besonders schön bei *Nitzschia sigmoidea* (Taf. III Fig. 32) und *Pinnularia oblonga* (Taf. V Fig. 60) ausgeprägt erscheinen¹⁾; bei *Pinnularia viridis* dagegen schliessen sie mehr ringförmig zusammen wie bei *Surirella* (vergl. Fig. 50, 51 Taf. IV). Bei *Nitzschia* werden auf dem Stadium des Dyasters die Pole eingenommen von halbkugelig sich vorwölbenden Körperchen, um welche sich die zahlreichen Chromosomen mit ihren Umbiegungsstellen kranzartig zusammenschliessen, während die Schleifenschenkel in radiärer Richtung gegen die Mitte des Kerns zu ausstrahlen. Diese „Polkörper“, welche sich in Hämatoxylin schwach färben, erinnern in ihrem Aussehen sehr an die sich abschnürenden Enden der Centralspindel bei *Surirella*, denen sie wohl auch entsprechen dürften; ebenso scheinen sie Beziehungen zu jenen „Polkörpern“ zu haben, die Schewiakoff (120) an den Polen der Kernspindel von *Euglypha alveolata* beschrieben und abgebildet hat. An meinen Präparaten von *Pinnularia oblonga* kamen ähnliche Gebilde wie die bei *Nitzschia* erwähnten nicht zur Beobachtung; dagegen konnte ich auf einem ziemlich entsprechenden Stadium (Taf. V Fig. 60), welches zeitlich etwas weiter vorgeschritten erscheint als jenes von *Nitzschia*, in den polaren Einbuchtungen der Tochtersterne ziemlich deutliche Centrosomen in Gestalt schwach bläulich gefärbter Kügelchen wahrnehmen. Auch bei *Nitzschia* dürften diese Gebilde sicher nicht fehlen.

Ein Stadium der Kernteilung von *Nitzschia sigmoidea*, welches etwa dem auf Taf. III Fig. 32, 33 dargestellten entspricht, habe ich auch einmal lebend beobachten können; leider standen mir hierbei nur relativ schwache Vergrösserungen (Leitz Obj. VII, Oc. III) zur Verfügung. Ausserdem wurde eine eingehendere Betrachtung noch dadurch sehr erschwert, dass das betreffende Exemplar von *Nitzschia* sich auch während der Kernteilung sehr lebhaft bewegte und hierbei dem Beschauer eine der schmalen gekielten Schalenseiten zukehrte, die einen Einblick in das Innere vollständig unmöglich machen²⁾. Indessen liess sich doch in jenen Augenblicken, wo *Nitzschia* in ihren Bewegungen einhielt und die sehr verbreiterten Gürtelseiten den Blicken darbot, erkennen, dass die zart gestreifte Centralspindel auch hier, wie bei *Surirella*, ausserordentlich deutlich hervortritt und sich kontinuierlich von Pol zu Pol erstreckt. Die Chromosomen

¹⁾ Bei *Nitzschia sigmoidea* müssen diese Tochtersterne, von den Polen gesehen, seitlich zusammengedrückt erscheinen, wegen der früher geschilderten räumlichen Verhältnisse der Zelle.

²⁾ Der Umstand, dass zahlreiche Diatomeen, so z. B. *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Navicula*, auch während der Teilung ihrer Kerne lebhaft hin- und hergleiten, erschwert die Beobachtung der Kernteilungsvorgänge *intra vitam* namentlich bei Anwendung sehr starker Systeme ganz ausserordentlich, zumal bei der Bewegung meist auch noch die skulpturierten Schalenseiten dem Beschauer zugekehrt werden. Dagegen ist *Surirella*, wie schon bemerkt, ein ausgezeichnetes Objekt für Lebendbeobachtungen, da sie sich nur wenig und langsam bewegt, gewöhnlich nur ab und zu von einer Seite auf die andere rollt.

hatten an dem mir vorliegenden Exemplare die Pole des rundlich-ovalen Kerns erreicht und wölbten sich hier als eine anscheinend zusammenhängende graue und etwas glänzende Masse gegen die Enden der Centralspindel zusammen. Im Verlauf von etwa fünf Minuten streckte sich die Centralspindel ganz bedeutend in die Länge, wodurch der Kern sich mehr dem in Fig. 34 Taf. III dargestellten Stadium näherte, und nach weiteren zehn Minuten wurde sie durch die von beiden Zellenden her einschneidende Ringfalte in ihrer Mitte durchschnürt.

Während die Umlagerung und Überwanderung der Tochterchromosomen nach den Polen der Centralspindel vor sich geht, beginnt die Zellteilung ihren Anfang zu nehmen, indem von beiden Enden der Zelle her eine einschneidende Ringfalte — im optischen Durchschnitt als dunkle Linie erscheinend — gegen die Mitte der Zelle vorschreitet und hier schliesslich Plasma und Kern durchschnürt.

Während des Vorschreitens der Ringfalte gegen die Zellmitte ziehen sich die Chromosomen der Tochterkerne immer mehr gegen die Pole hin, wo sich unter anscheinender Verkürzung der Schleifen die radiäre oder sternförmige Anordnung mehr und mehr verliert. Halbkugelige „Polkörper“ habe ich auf diesen Stadium in meinen Präparaten von *Nitzschia sigmoidea* nicht mehr wahrnehmen können; die Polflächen erscheinen jetzt vielmehr breit abgerundet und die Chromosomen verlaufen mehr bogenförmig gegen die Kernpole, wo ihre Umbiegungsstellen in ihrer Gesamtheit eine schwach konvexe Linie bilden, wie die Abbildung Fig. 33 Taf. III am besten zeigt.

Je mehr die Tochterkerne auseinanderweichen, desto deutlicher treten auch die zwischen ihnen ausgespannten „Verbindungsfasern“ zu Tage (Fig. 32—34 Taf. III *Nitzschia*, Fig. 46 Taf. IV *Pleurosigma*, Fig. 60—61 Taf. V *Pinnularia oblonga*, Fig. 52 Taf. IV *Pinnularia maior*). Es kann, wie ein Vergleich der citierten Abbildungen erkennen lässt, wohl keinem Zweifel unterliegen, dass diese Verbindungsfasern nichts weiter sind als die Fasern der Centralspindel, die sich immer mehr in die Länge streckt, je grösser der Abstand zwischen beiden Tochterkernen wird.

Im weiteren Verlauf der Teilung wird es besonders bei *Nitzschia sigmoidea* (Taf. III Fig. 34), sowie bei *Pinnularia oblonga* (Taf. V Fig. 61) unmöglich, einzelne Chromosomen an den beiden schwach eingebuchteten Polflächen zu unterscheiden, da die ganze Region hier tiefdunkel gefärbt erscheint; nur die freien Enden der Chromosomen sind deutlich sichtbar.

Abweichend von diesen bei *Nitzschia sigmoidea* und *Pinnularia oblonga* beobachteten Verhältnissen verhält sich *Pinnularia viridis* auf entsprechenden Stadien (Taf. IV Fig. 52). Wir sahen schon früher, dass diese Form bei ihrer Kernteilung Anklänge an *Surirella* darbietet, indem die Chromosomen im Stadium des „Muttersterns“ den Äquator der Spindel als breiter Ring umgeben, in welchem einzelne Schleifen nur schwer zu unterscheiden sind. Dieselbe Anordnung wird auch beim Auseinanderweichen der Tochterchromosomen beibehalten. Auf dem in der genannten

Figur wiedergegebenen Stadium haben dieselben die Enden der Centralspindel erreicht und umschliessen sie ringförmig, wobei sie sich noch hügel förmig über die abgerundeten Polflächen der Centralspindel vorwölben, sodass dieselben gleichsam wie in einem Krater der ringförmigen Chromosomenhügel liegen. In letzteren sind die einzelnen Schleifen deutlicher als auf früheren Stadien, namentlich bei polaren Ansichten von den Schalenseiten der Diatomee. Ausserordentlich deutlich ist zwischen beiden Tochterkernen die Centralspindel sichtbar, welche sich, wie ein vergleichender Blick auf Fig. 50 und 51 Taf. IV lehrt, während der Überwanderung der Tochterkerne ganz bedeutend in die Länge gestreckt und dabei cylindrische Gestalt angenommen hat. Sie entspricht vollkommen den „Verbindungs-fäden“ und lässt sich in ihrer ganzen Breite durch die Tochterkerne hindurch verfolgen; polare Ansichten zeigen, dass ihr Querschnitt nicht kreisförmig, sondern mehr ellipsoid ist.

Wenn die Tochterkerne die Enden der Spindel erreicht haben, langt auch die von beiden Zellenden her einschneidende Ringfalte bei der mittleren Plasmamasse an. Sie dringt von beiden Seiten her in das Plasma ein und zwar in Gestalt zweier dunkler Linien, welche, einander zustrebend, schliesslich Plasma und Kern zerklüften.

III. Phase: Rekonstruktion der Tochterkerne.

Sobald durch die Zerklüftung der mittleren Plasmamasse und der Verbindungs-fäden (= Centralspindel) der direkte Zusammenhang zwischen beiden Tochterkernen unterbrochen ist, beginnen diese sich zu rekonstruieren. Bei *Pleurosigma attenuatum* habe ich hierbei beobachtet, dass unmittelbar auf das Stadium des Dyasters ein anderes folgt, das man ganz gut als das des Tochterknäuels bezeichnen kann und das schon angedeutet ist, wenn die Ringfalte eben die mittlere Plasmamasse erreicht (Taf. IV Fig. 46). Die Chromosomen, welche auf dem Dyasterstadium die Pole sternförmig umgaben, verlieren ihre radiäre Anordnung und nehmen einen mehr geschlängelten Verlauf an, sodass sie bei Ansicht von der Gürtelseite knäuelig durcheinander gewunden scheinen; die Betrachtung von der polaren Seite, also von den Schalenseiten her, zeigt jedoch, dass die radiäre Anordnung auch jetzt noch nicht ganz aufgegeben ist und dass die Chromosomen der Oberfläche des Kerns genähert verlaufen. Indem nun im weiteren Verlaufe der Rekonstruktion in den Fäden des Knäuelwerkes eine Sonderung in Linin und Chromatin vor sich geht, zeigen die Tochterkerne schliesslich ein Aussehen, welches prinzipiell vollkommen dem in Fig. 40 Taf. IV abgebildeten „Perlschnurknäuel“ gleicht, indem auch hier das Innere des nierenförmigen Kerns durchzogen erscheint von einem vielfach gewundenen, aus Linin bestehenden Knäuelwerk, welches mit zahlreichen Chromatinkörnchen dicht besetzt ist; zwischen den Windungen beginnen die Nukleolen wieder sichtbar zu werden.

Bei *Nitzschia sigmoidea* und wohl auch bei *Pinnularia oblonga* liegen — wenn meine Präparate hier keine Lücke aufweisen — die Verhältnisse insofern etwas anders, als ein besonderes Stadium des Tochterknäuels, entsprechend dem Knäuel am Beginn der Karyokinese, nicht zur Ausbildung zu gelangen scheint. Es lässt sich

bei *Nitzschia sigmoidea* das in Fig. 35 Taf. III dargestellte Stadium ohne weiteres von dem vorhergehenden der Fig. 34 ableiten. Die Chromosomen, welche auf dem Stadium der Fig. 34 gleichmässig dunkel gefärbt erscheinen, jedoch in der Nähe der Polflächen nicht mehr einzeln zu unterscheiden sind, sondern sich in Chromatin und Linin, ersteres in Gestalt zahlreicher Kügelchen, welche bei genauerer Betrachtung öfters noch Reihenordnung erkennen lassen, letzteres in Gestalt schwächer gefärbter Verbindungen, welche die einzelnen Körnchen verbinden. Ganz besonders deutlich lässt sich diese Sonderung an den freien Enden der Chromosomen verfolgen, indem diese noch zu einer Zeit, wo das übrige Innere des Kerns schon vollständig von Kügelchen erfüllt ist, als gesonderte Körnchenreihen gegen die Mitte der Zelle vorspringen (Fig. 35). Eine Kernmembran ist auf diesem Stadium sehr deutlich zu erkennen, dagegen scheinen die Nukleolen sich erst etwas später herauszubilden. Im weiteren Verlauf der Rekonstruktion werden die eben erwähnten, fingerförmig vorspringenden Körnchenreihen eingezogen und der ganze Kernraum ist dann gleichmässig durchsetzt von zahlreichen, relativ grossen Chromatinkügelchen, welche in ein Liningerüst eingelagert sind (Fig. 36 Taf. III). Dann beginnt der Kern sein Volumen zu vergrössern, wobei, wie es scheint, die Chromatinkugeln in kleinere Kügelchen zerfallen, welche die Knotenpunkte eines regelmässigen und feinmaschigen, netzig-wabigen Liningerüsts einnehmen. Während der Längsstreckung der Kerne bilden sich auch die für den *Nitzschia*-Kern ziemlich charakteristischen, buckelförmigen Auftreibungen in der Mitte aus und erscheinen dieselben zuerst an den den Mutterschalen zugekehrten Seiten beider Tochterkerne. Auf solchen Stadien, wo auch die feinere Struktur der neugebildeten Tochterschalen deutlich wird, treten auch die Nukleolen und zwar in Mehrzahl auf und lassen dann die Tochterkerne keinerlei Verschiedenheit ihrer Struktur von derjenigen des ruhenden Kerns mehr erkennen. Mit dem Auseinanderweichen der bis dahin fest zusammenhängenden Tochterzellen ist die Zellteilung vollendet.

Pinnularia oblonga verhält sich in der Hauptsache ebenso, wie es für *Nitzschia* geschildert wurde. Bei ihr haben beide Tochterkerne nach der Zerklüftung des Plasmas eine ungefähr hantelförmige Gestalt, indem sie in ihrer Mitte beiderseits stark eingeschnürt sind (Fig. 62 Taf. V). Das Innere enthält zahlreiche, ziemlich grosse und stark gefärbte Chromatinkugeln, welche dicht gedrängt sind und wie bei *Nitzschia* stellenweise noch reihenartig aneinanderschliessen. Später wird die Gestalt der Tochterkerne eine mehr langgestreckt wurstförmige, wobei die konkaven Seiten nach aussen, d. h. den Mutterschalen zugekehrt sind; an solchen Kernen sieht man auch die früheren grossen Chromatinkugeln in zahlreiche kleinere zerfallen, welche unter sich durch zarte Lininfäden in Verbindung stehen (Taf. V Fig. 63). Nukleolen sind um diese Zeit noch nicht sichtbar, treten aber auf, wenn die Kerne sich in der Richtung ihres längsten Durchmessers verkürzen und die kugelige oder mehr ellipsoidale Gestalt der Ruhe annehmen. (Vergl. auch Taf. VI Fig. 102—104.)

Wie wiederholt bemerkt, ist in meinen Präparaten das Plasma sehr stark aufgehellt, wodurch ich ausser stande bin, genauere Angaben über das Verhalten der

Centrosomen während der Rekonstruktion der Tochterkerne zu machen. Auch die Teilung der Chromatophoren, welche in meinen Präparaten ihren Farbstoff fast vollständig abgegeben haben, habe ich nur beiläufig berücksichtigen können.

Allgemeine Bemerkungen.

In vorstehendem habe ich versucht, eine Schilderung des Verlaufes der Kernteilung bei den Diatomeen zu geben, wobei ich mich auf die Wiedergabe meiner eigenen Beobachtungen beschränkte und ein Eingehen auf die Litteratur absichtlich unterliess. Es erwächst mir nunmehr die Aufgabe, meine Befunde mit denjenigen an anderen Objekten gemachten zu vergleichen und darzulegen, in wiefern sich die Vorgänge bei der Kernteilung der Diatomeen für die Beurteilung einiger besonders strittiger Punkte der Karyokinese heranziehen lassen.

Dasjenige, was der Kernteilung der Diatomeen in erster Linie ein so charakteristisches Gepräge verleiht, ist das merkwürdige Verhalten der Centralspindel. Das — zum mindesten sehr wahrscheinliche — Hervorgehen derselben aus dem Centrosom bereits zu einer Zeit, wo die Struktur des Kerns noch kaum tiefer greifende Veränderungen erlitten hat (*Surirella*), die eigenartigen Gestaltsveränderungen, welche sie erleidet, während der Kern in das Knäuelstadium übergeht, ihr Einwandern in den Kern, wo sie zu einem faserigen, garbenförmigen Gebilde auswächst, die Ausbildung sekundärer, einseitig gelegener Centrosomen an ihren Polflächen (*Surirella*), die Differenzierung der Spindelpole — das sind alles Erscheinungen, welche von dem üblichen Schema der Karyokinese so bedeutend abweichen, dass es angezeigt erscheint nach Berührungspunkten zu suchen.

Ich beginne zunächst mit dem

Centrosoma.

Seit van Beneden (6) und Boveri (11) 1887 auf Grund ihrer Untersuchungen an den Eiern von *Ascaris megaloccephala* das Centrosoma als ein permanentes Zellorgan erklärt haben, war man mit vielem Eifer bestrebt, dies Gebilde auch anderwärts nachzuweisen und hat es in der That auch bei den verschiedensten Zellen des Tier- und Pflanzenkörpers konstatieren können. In Bezug auf die Protozoen hält freilich R. Hertwig (67) den Beweis, dass hier Centrosomen vorkommen, nicht für erbracht und ist sogar der Ansicht, „dass wir mehr denn früher Veranlassung haben, anzunehmen, dass mindestens bei der Mehrzahl der Protozoen die Centrosomen fehlen“. (l. c. pag. 57.) So sehr ich die Skepsis R. Hertwigs in Bezug auf die Angaben Rompels (114), nach welchem bei *Kentrochona nebaliae* neben dem Hauptkern und Nebenkern auch noch ein „Centrosoma“ vorkommen soll, teile, glaube ich doch, dass Hertwig zu weit geht, wenn er auch Ishikawas (70, 71) Beobachtungen an der Cystoflagellate *Noctiluca* nicht für beweiskräftig hält, zumal ja das Vorkommen von

Centrosomen für eine andere Abteilung der Protozoën, die Heliozoën, und zwar für *Actinosphaerium* von Brauer (15) angegeben ist, also von einem Forscher, dem man nach seinen Arbeiten über die Spermatogenese von *Ascaris* (14) doch wohl ein Vertrautsein mit derartigen Dingen nicht absprechen kann¹⁾. Schliesslich ist auch *Surirella* bis zu einem gewissen Grade ein „Protozoon“ und wenn sich bei diesem einzelligen Organismus ein Centrosoma mit prächtiger Strahlung schon im Leben mit aller Deutlichkeit nachweisen lässt, so liegt doch wohl kein Grund vor zu bezweifeln, dass entsprechende Gebilde nicht auch bei anderen Einzelligen vorkommen können.

Allerdings muss ich hier einschalten, dass die Natur des von Bütschli und mir Centrosoma genannten Gebildes nach der Behauptung Keutens (75) noch nicht aufgeklärt sein soll. Ein derartiger Zweifel scheint mir indessen unbegründet, denn einem sich wie ein typisches Centrosom färbenden kugeligen Körper, welcher in einer sehr charakteristischen Lage in der Einbuchtung des ruhenden Kerns liegt, beim Beginn der Kernteilung aus dieser heraustritt und zum Mittelpunkt der prächtigsten Strahlungserscheinungen des Zellplasmas wird, der schliesslich, wie ich nachgewiesen zu haben glaube, zur Bildung der Centralspindel in innigster Beziehung steht, darf man doch bei dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse ohne Bedenken den Namen Centrosoma vindizieren. Was sollte denn das fragliche Gebilde auch wohl anders sein? Zugeben will ich, dass man bei der relativ bedeutenden Grösse, welche das Centrosoma von *Surirella* am Beginn des Knäuelstadiums des Kerns (sowie später auf dem „Dyaster“-Stadium) besitzt, etwas im Zweifel sein kann, ob hier ein einfaches Centrosoma oder eine „Sphäre“ vorliegt. Da indessen das erwähnte Gebilde auch auf diesem Stadium keinerlei Differenzierungen in seinem Inneren erkennen lässt und die Strahlung des Plasmas sich stets direkt an dem Kügelchen inseriert, so glaube ich, dass die Bezeichnung Centrosom und zwar in dem Sinne, wie sie Boveri (11) zuerst angewandt hat, zu Recht besteht. Der Umstand, dass um das Centrosom der *Surirella* eine ausgeprägte plasmatische Strahlung während der Kernruhe fehlt, dürfte gegenüber der erwähnten Deutung kaum ins Gewicht fallen, da ja auch schon von anderer Seite (z. B. von Platner [105]) „nackte“ Centrosomen beschrieben worden sind, deren Vorhandensein auch von Boveri (12) zugegeben wird.

Eine Frage, die neuerdings mehrfach behandelt wurde, ist diejenige, ob die Centrosomen permanente Bestandteile des Zellplasmas sind, oder ob sie eigentlich dem Kern angehören und nur während dessen Teilung aus ihm heraustreten. Es ist bekannt, dass erstere Annahme lange Zeit die herrschende und unbestrittene war, bis O. Hertwig (63) die Ansicht äusserte, „dass die Centralkörperchen für gewöhnlich Bestandteile des ruhenden Kerns sind, indem sie nach der Teilung in seinen Inhalt eintreten und bei der Vorbereitung zur Teilung in das Protoplasma wieder austreten“. (l. c. pag. 48.)

¹⁾ Merkwürdigerweise werden die Befunde Brauers (ebenso wie die meinigen an Diatomeen) in der Abhandlung R. Hertwigs nicht genannt, worauf schon v. Erlanger (37) in einem Referate über Hertwigs Arbeit hingewiesen hat.

Diese Auffassung, zu deren Gunsten O. Hertwig eine Reihe von Gründen aufgeführt hat, fanden eine starke Stütze in den interessanten Beobachtungen Brauers (13, 14), durch welche in den Spermatoocyten von *Ascaris megalocephala univalens* das Vorhandensein eines Centrosoms innerhalb des Kerns nachgewiesen wurde. Auf Grund seines Befundes hielt sich Brauer zur Annahme berechtigt, dass auch in jenen Fällen, wo ein Centrosom scheinbar dauernd im Plasma verbleibt, dessen Sitz während der Ruheperiode der Zellen im Kern sich befindet.

Mit diesen Auffassungen Brauers und Hertwigs harmonieren nun die Verhältnisse bei *Surirella* nicht. Denn hier haben wir den klar zu überblickenden Fall, dass auch während der Kern- und Zellruhe das Centrosom konstant ausserhalb des Kerns im Plasma gelegen ist. Weiterhin zeigt uns *Surirella*, dass in jenen Fällen, in welchen ein Centrosom dauernd ausserhalb des Kerns zu beobachten ist¹⁾, es sich keineswegs immer um Zellen handeln muss, die sich in rascher Folge teilen (z. B. Furchungszellen), wie Brauer annimmt, denn die Zeit, welche bei *Surirella* zwischen zwei aufeinanderfolgenden Teilungen verfliesst, ist jedenfalls eine relativ recht lange, was sich ja schon aus der Seltenheit von Teilungsstadien der Diatomee schliessen lässt. Übrigens fragt es sich denn doch, ob der Gegensatz zwischen extra- und intranuklearer Lage des Centrosoms wirklich ein so fundamentaler ist, als es im ersten Augenblick vielleicht scheinen möchte. Schon der Umstand, dass Brauer nur bei einem Exemplar von *Ascaris megalocephala univalens* das Centrosom im Kern antraf, bei zahlreichen andern jedoch das Centrosom in seiner gewöhnlichen Lage ausserhalb des Kerns gelagert fand, lässt Zweifel an einem prinzipiellen Gegensatze bestehen. Vergewärtigen wir uns dazu noch das Verhalten bei *Surirella*, wo sich die aus dem Centrosom hervorgegangene Centralspindel mit ihren sekundären Centrosomen in den Kernraum hineinsenkt und während der Teilung eine Zeitlang ein wirklicher Kernbestandteil ist, welcher von den Chromosomen ringförmig umschlossen wird, so kann man allerdings auf den Gedanken kommen, die Frage nach der Zugehörigkeit der Centrosomen mit Boveri (12) lediglich als eine reine Lokalitätenfrage aufzufassen. Welche Lage freilich dem primären Zustand noch am ehesten entspricht, d. h. ob das Centrosom von Anfang an neben dem Kerne bestand oder ob es sich in irgend einer Weise aus Bestandteilen des Kerns hervorgebildet hat, lässt sich, wenn man nur die Verhältnisse bei den Metazoën in Betracht zieht, noch nicht entscheiden; dazu bedarf es vor allem noch zahlreicher Untersuchungen über Kernteilung der Einzelligen, denn nur diese können eine Basis für alle Spekulationen über eine Phylogenie des Centrosoms der Metazoën abgeben. Nur wird man sich hierbei hüten müssen, die Verhältnisse der Einzelligen ohne weiteres auf die Metazoën zu übertragen und, wie es Heidenhain (59) thut, als direkten Ausgangspunkt für

¹⁾ Vergl. auch die Beobachtungen Solgers (134) in A. Zimmermanns (150) über die Sphären der Knochenfische.

die vergleichenden Betrachtungen die Kernverhältnisse der ciliaten Infusorien zu nehmen, denn diese sind ja in ganz eigenartiger Weise spezialisiert und darum jedenfalls auch erst sekundär erworben. Ausserdem muss man noch ganz besonders berücksichtigen, dass Körper, welche den Centrosomen der Metazoön entsprechen, sich schon bei einzelligen Organismen finden, welche z. T. wenigstens sicher noch einfacher organisiert sind als die Infusorien und darum auch unmöglich von diesen abgeleitet werden können. Ich verweise hierfür auf das Vorhandensein eines Centrosoms bei Heliozoön (*Actinosphaerium*), wo es uns Brauer (15) geschildert hat, auf Ishikawas (70, 71) Befunde an eine Cystoflagellate (*Noctiluca*) sowie auf die in dieser Arbeit niedergelegten Beobachtungen an Diatomeen (*Surirella*, *Pinnularia*).

Spindel.

Es dürfte wenig Punkte in den Kontroversen über die karyokinetische Kernteilung geben, welche gegenwärtig mehr umstritten sind als die achromatische Spindel und deren Herkunft. Nachdem Mitte der siebziger Jahre durch die grundlegenden Arbeiten Bütschlis, Strasburgers, Fols, O. Hertwigs u. a. uns jene merkwürdigen Vorgänge bei der Teilung der Zellkerne erschlossen wurden, die wir jetzt unter dem Namen Karyokinese oder Mitose zusammenfassen, konzentrierte sich in den folgenden Jahren das Interesse der Forscher fast ausschliesslich auf das Verhalten der chromatischen Bestandteile des Kerns, deren scheinbar so komplizierten Umlagerungen bei der Teilung bald an den verschiedensten Zellen nachgewiesen wurden, während die Kernspindel meist nur eine mehr beiläufige Berücksichtigung fand. In der letzten Zeit ist ein Umschwung eingetreten und das Verhalten der Spindel steht jetzt im Vordergrund des Interesses. Dabei ist es besonders die Frage nach deren Herkunft, welche man mit Hilfe einer immer mehr verbesserten Untersuchungsmethode zu lösen sucht, ohne jedoch bereits eine Einigung erzielt zu haben. Denn während zahlreiche Forscher — wie die ersten Beobachter (Bütschli etc.) — entschieden für eine nukleare Herkunft der Spindel eintreten, halten andere, so besonders Strasburger (136) für pflanzliche Zellen, daran fest, dass die Spindel sich aus in den Kern eindringendem Cytoplasma („Kinoplasma“) bildet¹⁾; wieder andere nehmen eine gemischte Herkunft der Spindel aus Bestandteilen des Kerns und des Plasmas an. Wenn somit in dieser wichtigen Frage die Ansichten zum Teil noch so schroff gegenüber stehen, so dürfte dies wohl darauf hindeuten, dass in der That bei verschiedenen Zellen auch die Spindel sich aus verschiedenen Bestandteilen heranzubilden kann; es wäre darum auch verfehlt, wollte man für die an einem bestimmten Objekte gefundenen Verhältnisse ohne weiteres auch Gültigkeit bei anderen spezifisch verschiedenen Zellarten beanspruchen. Aus diesem Grunde werde ich im folgenden auch nur bestrebt sein, hauptsächlich auf jene Fälle

¹⁾ In seiner neuesten Arbeit (139) leitet Strasburger die Spindel von der Substanz der Nukleolen ab.

hinzuweisen, welche mit der eigenartigen Bildung und Entwicklung der Diatomeen-Spindel gewisse Berührungspunkte erkennen lassen; ein näheres Eingehen auf die noch so vielfach divergierenden Anschauungen über die Genese der Spindel überhaupt würde den Rahmen meiner Arbeit weit überschreiten.

Wir haben bei *Surirella* den jedenfalls merkwürdigen Fall vor uns, dass die hier allein zur Ausbildung gelangende Spindel, der ich aus gleich zu erörternden Gründen den Namen „Centralspindel“ beigelegt habe, in ihrer ersten Anlage bereits zu einer Zeit in Erscheinung tritt, wo die Struktur des Kernes noch ganz derjenigen des ruhenden Kernes gleicht; es ist mir aus der Litteratur über Karyokinese — vielleicht von Ishikawas (70, 71) Beobachtungen am *Noctiluca* abgesehen — kein Fall bekannt, wo sich die Spindel bereits so frühzeitig und in so eigenartiger Weise differenziert. Diese Spindel von *Surirella* (und wohl auch der übrigen Diatomeen) nimmt, wie ich aus meinen Präparaten schliessen muss, ihren Ursprung vom Centrosom, in dessen unmittelbarer Nachbarschaft sie als kleines, sehr blasses Kügelchen auftritt. Es sondert sich somit beim Beginn der Kernteilung das Centrosom gewissermassen in einen chromatischen Teil, welcher als stark gefärbtes Kügelchen den Mittelpunkt für die Strahlung des Plasmas bildet, und in einen achromatischen Teil, welcher sich als blasses Kügelchen vom Centrosom löst, unter steter Volumzunahme gegen die Oberfläche des Kernes hinrückt und der Centralspindel ihren Ursprung giebt. Von dieser blassen Kugel habe ich alle die mannigfachen Wandlungen der Gestalt bis zur Ausbildung der fertigen Centralspindel in lückenloser Reihe verfolgt, sodass auch nicht der geringste Zweifel darüber bestehen kann, dass die fertige Centralspindel mit ihrer von der typischen Spindel vollständig abweichenden garbenförmigen Gestalt in der That aus der geschilderten blassen Kugel am Kern hervorgegangen ist. Der Ursprung der Centralspindel von *Surirella* (und wohl auch der übrigen beobachteten Diatomeen) ist demnach die Lokalität noch ein streng extranuklearer.

Diese extranukleare Entstehung, die allmähliche Grössenzunahme und dann ganz besonders noch die innigen Beziehungen zum Centrosom teilt die Spindel von *Surirella* mit der Hermannschen (63) Centralspindel, mit der sie auch darin übereinstimmt, dass ihre Fasern ununterbrochen von Pol zu Pol verlaufen. Ich habe darum schon vor drei Jahren in meiner vorläufigen Mitteilung (83) keinen Anstand genommen diesen Namen auf das von mir untersuchte Objekt zu übertragen, trotzdem ich damals noch keine distinkte Centrosomen an den Polen der Centralspindel hatte nachweisen können; auch die Abstammung der Centralspindel vom Centrosom hielt ich ebenfalls schon damals, wo mir noch keine so frühen Stadien, wie das in Fig. 112 Taf. VII. abgebildete zur Verfügung standen, für wahrscheinlicher als ein Hervorgehen aus dem Kern (l. c. pag. 15). Bestärkt wurde ich noch dadurch, dass auch in jenen Fällen, wo, wie bei *Nitzschia sigmoidea*, *Pleurosigma*, *Pinnularia oblonga*, im Kern eine tonnenförmige Spindel zur Ausbildung gelangt, diese doch stets in ihrem Innern eine deutliche, sich kontinuierlich von Pol zu Pol erstreckende garbenförmige Centralspindel umschliesst, mit welcher die bei *Surirella* allein vorhandene Spindel in allen Punkten übereinstimmt. Ich glaube somit,

dass die von mir gewählte Bezeichnung „Centralspindel“ wohl berechtigt war, was ich besonders Keuten (75) gegenüber betone, welcher die erwähnte Benennung der Diatomeenspindel und deren Vergleich mit der Hermannschen Centralspindel nicht für besonders glücklich hielt.

Indem ich so an der von mir schon früher vertretenen Auffassung festhalte, verkenne ich durchaus nicht, dass zwischen einer typischen Centralspindel in den Spermatoocyten des Salamanders und dem von mir Centralspindel genannten Gebilde von *Surirella* tiefer greifende Unterschiede in Bezug auf deren Genese bestehen. Während in den erstgenannten Zellen die Anlage der Centralspindel sich zwischen den geteilten und dann auseinanderrückenden Centrosomen ausspannt, sodass also die beiden Teilhälften des Centrosoms von allem Anfang an die Pole der Spindel einnehmen, sondert sich bei *Surirella* zwar auch das Centrosom in zwei Hälften, von denen aber nur die eine, vorläufig wenigstens noch, ihren typischen Centrosom-Charakter im Mittelpunkt der plasmatischen Strahlung bewahrt, die andere hingegen sich zur Centralspindel entwickelt, unter mannigfachen Formwandlungen längere Zeit neben dem eigentlichen Centrosom selbständig fortbesteht und schliesslich aus dunklen Ansammlungen an beiden „Polen“ sekundäre Centrosomen ausbildet, wobei das ursprüngliche Centrosom zu Grunde geht. Obwohl ein derartiges Verhalten bis jetzt vollkommen isoliert steht, scheint es mir doch recht wahrscheinlich, dass künftige Untersuchungen über die Kernteilungsvorgänge der Einzelligen auch hier Berührungspunkte ergeben werden; ebenso dürfte auch die eigenartige Beschaffenheit der ausgebildeten Diatomeen-Centralspindel bei weiteren Studien ihr Analogon finden.

Der Umstand, dass bei der Kernteilung von *Surirella* einzig und allein eine Centralspindel zur Ausbildung gelangt, um welche sich die Chromosomen zur Bildung einer „Äquatorialplatte“ oder eines „Muttersternes“ direkt zusammenschliessen, dürfte wohl darthun, dass der wichtigste Teil der Spindel die Centralspindel ist, während die die Centralspindel umhüllenden Mantelfasern, wie das früher geschilderte Verhalten von *Nitzschia*, *Pleurosigma* etc. lehrt, zwar vorhanden sein können, aber für die Umlagerung und Überwanderung der Chromosomen nicht notwendigerweise vorhanden sein müssen, da wir ja bei *Surirella* keine Spur von ihnen finden. In wiefern der hier zunächst nur für die Diatomeen aufgestellte Satz von der Wichtigkeit der Centralspindel eine allgemeinere Gültigkeit beanspruchen darf, wage ich nicht zu entscheiden, denn obwohl man seit Hermanns (63) bekannten Untersuchungen bei zahlreichen Zellen Centralspindeln mit durchgehenden Fasern nachgewiesen hat und Heidenhain (60) glaubt, dass sich dieselben zum mindesten als Rudiment überall nachweisen lassen werden, bleibt bei den vielfachen Modifikationen, welche die Karyokinese darbietet, die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass es auch Spindeln gibt, deren Fasern sich nur von den Polen bis zu den Chromosomen erstrecken und sich hier inserieren. In der That hat auch Boveri (12) in neuerer Zeit die allgemeine Gültigkeit des eben citierten Heidenhainschen Ausspruches bestritten, da er sich nach seinen

Angaben an Hodenzellen von *Astacus* mit aller Sicherheit überzeugen konnte, dass hier nicht eine einzige Faser von Pol zu Pol durchgeht, sondern alle Spindelfasern an den Chromosomen ihr Ende finden. (l. c. pag. 28. Anm.)

So sehr ich nun auf Grund meiner Beobachtungen an *Surirella* überzeugt bin, dass hier die Centralspindel einen extranuklearen Ursprung nimmt und sich vom Centrosoma aus bildet — worin ich mich in Übereinstimmung mit Hermann (63), Flemming und M. Heidenhain¹⁾ (60) befinde — so muss ich doch bemerken, dass es in der Entwicklung der Centralspindel von *Surirella* ein Stadium giebt, auf welches hin man sehr leicht geneigt sein könnte, die Centralspindel aus dem Kern abzuleiten. Es handelt sich hier um das Stadium, welches in Fig. 113 Taf. VII abgebildet ist und welches die Anlage der Centralspindel als grosse sehr blasse Kugel hart an der Oberfläche des Kernes zeigt. Stände nur dieses als das früheste in der Genese der Centralspindel zur Verfügung, so wäre es jedenfalls das am nächsten liegende, die blasse Kugel einfach als einen aus dem Kern ausgetretenen Nukleolus anzusprechen, mit dem sie ja auch eine gewisse Ähnlichkeit nicht verkennen lässt.

Man wäre zu dieser Annahme um so mehr berechtigt, da ja thatsächlich der Austritt von Nukleolar-Substanz aus dem Kern schon des öfteren beschrieben wurde, wenschon man die ausgetretene Masse nicht immer mit der Spindel in Beziehung gebracht hat. Ich erinnere hierbei — um einmal bei botanischen Objekten zu bleiben — an die Beobachtungen Zimmermanns (148), nach welchen beim Beginn der Kernteilung die Nukleolen aus dem Kern in das Cytoplasma übertreten, um später in den Endphasen der Teilung wieder in das Innere der Tochterkerne aufgenommen zu werden; Zimmermann glaubt, dass diesem Vorgang eine weitere Verbreitung zukommen dürfte. Die allgemeine Gültigkeit des von Zimmermann aufgestellten Satzes: *omnis nucleolus e nucleolo*, wurde indessen bald von Guignard, Humphrey (70) und Strasburger (139) bestritten, wenschon auch diese Forscher in gewissen Fällen wenigstens ein Austreten von Nukleolarsubstanz beobachteten, sodass an der Thatsache selbst kaum gezweifelt werden kann. Einen direkten Zusammenhang zwischen Nukleolen und Centrosomen glaubte dagegen Karsten²⁾ (74) bei Kernen des sporogenen Gewebes von *Psilotum* gefunden zu haben. Bei diesem Objekte sollen nämlich beim Beginn der Kernteilung zwei Nukleolen aus dem Kern austreten und direkt zu Polkörperchen der Spindel werden, die nach Beendigung der Mitose wieder in die Tochterkerne aufgenommen werden, nachdem sie sich vorher geteilt haben. Diese Behauptungen fanden indessen bald den Widerspruch von Seiten Humphreys (70), der den Nachweis zu

¹⁾ Heidenhain spricht sich dahin aus, dass Centralspindel und Centrosomen der Genese noch ein Ganzes bilden, „dass die Centralspindel ihrer ursprünglichen Masse nach sich aus der Substanz der Centrosomen selbst herleitet“ (l. c. pag. 686).

²⁾ Beobachtungen, welche den Karstensen in vieler Hinsicht entsprechen, liessen sich von zoologischer Seite in jenen von v. Wasielewsky (144) über Kernteilungen in den Urgeschlechtszellen von *Ascaris megalocephala univalens* zur Seite stellen. Auch Ladowsky (86) leitet die Centrosomen von den Kernkörperchen ab (citirt nach Strasburger [139]).

führen sucht, „dass Karsten durch die zufällig stattfindende Ausstossung der Nukleolar-substanz aus der Zelle (?) irregeleitet worden ist und dass er die echten Centrosphären vollständig übersehen hat.“ Humphrey tritt dabei entschieden für eine gründliche Verschiedenheit der Nukleolen und Centrosomen ein und hält es für unwahrscheinlich, dass diese mit einander in Beziehung stehen.

Diese Behauptung mag für die speziell von Humphrey untersuchten Objekte ihre volle Berechtigung haben; ob sie aber wirklich so ohne weiteres verallgemeinert werden darf, ist doch noch zu bezweifeln, zumal unter der Bezeichnung „Nukleolus“ jedenfalls sehr verschiedene Bestandteile der Kerne zusammengefasst werden. Dies geht auch aus den Beobachtungen Blochmanns (9) und Keutens (74) über die Kernteilung von *Euglena* hervor. Bei dieser Flagellate streckt sich am Beginn der Kernteilung der „Nukleolus“ (von beiden Autoren „Nucleolo-Centrosom“ genannt) stabförmig in die Länge und fungiert als Spindel, indem die Chromosomen sich um ihn gruppieren und dann nach seinen Polen auseinanderrücken; dann schnürt sich das langgestreckte „Nucleolo-Centrosom“ in seiner stark verdünnten Mitte durch und beide Teilhälften werden in die Tochterkerne eingezogen, wo sie wieder als Nukleolus imponieren. Wie man sieht, lässt das „Nucleolo-Centrosom“ von *Euglena* im ausgebildeten Zustande eine gewisse Ähnlichkeit mit der Centralspindel von *Surirella* nicht verkennen, umso mehr als auch bei der Flagellate achromatische Spindelfasern wie bei *Surirella* zu fehlen scheinen.

In neuester Zeit ist auch Strasburger (139) mit der Ansicht hervorgetreten, dass die Substanz die Nukleolen zur Bildung der Spindelfasern verwandt wird. Strasburger glaubt dabei, dass unter einer solchen Annahme sich manch' vorhandener Widerspruch in der Litteratur lösen und vor allem der Gegensatz zwischen intranuklearer und extranuklearer Spindelbildung aufhören würde. Als eine Stütze für die von ihm vertretene Auffassung betrachtet er die für pflanzliche Objekte feststehende Thatsache, dass die völlige Auflösung oder doch merkliche Grössenabnahme der Nukleolen der Spindelbildung unmittelbar vorausgeht. Ich glaube nicht, dass das Verhalten der Centralspindel der Diatomeen, speziell *Surirella* — welche doch von den Botanikern zu den Pflanzen gerechnet werden — sich mit den eben wiedergegebenen Anschauungen Strasburgers in Einklang bringen lässt. Dagegen spricht besonders der Umstand, dass die Spindel ganz ausserhalb des Kerns heranwächst und dass zu einer Zeit, wo sie in die Nähe des Kerns rückt, also auf dem in Fig. 113 Taf. VII dargestellten Stadium, die zahlreichen Nukleolen im Innern des Kerns noch sichtbar sind, ja sogar teilweise wenigstens noch sichtbar sind, wenn die Anlage der Centralspindel bereits die merkwürdigen Wandlungen ihrer Gestalt erleidet und der Kern in das Stadium des Knäuels tritt (Fig. 114 Taf. VII). Auch bei *Nitzschia sigmoidea* (Fig. 25, 26 Taf. III), *Pinnularia oblonga*, *Pinnularia viridis* (Fig. 49 Taf. IV), *Pleurosigma attenuatum* (Fig. 40, 41 Taf. IV) bleiben die Nukleolen, wenn auch blass, deutlich bis in das Knäuelstadium der Kerne erhalten; bei *Pinnularia viridis* sind sie, wie die citierte Abbildung zeigt, sogar noch sichtbar, wenn schon

die kleine Centralspindel in ihrer garbenförmigen Gestalt auf der Oberfläche des Kerns zu beobachten ist. Eine Beteiligung der Nukleolarsubstanz am Aufbau der Spindel und zwar als Wachstummaterial, wie Strasburger annimmt, würde bei *Surirella* noch die weitere Voraussetzung erfordern, dass die Substanz des Nukleolus befähigt ist, in gelöstem Zustand die Kernmembran zu durchdringen, denn letztere ist ja, wie wir früher sahen, bis zum Einrücken der Centralspindel in den Kern noch gerade so deutlich nachzuweisen, wie am ruhenden Kern. Auch bei jenen Formen, bei denen die Centralspindel umschlossen ist von einer tonnenförmigen Spindel (*Nitzschia* etc.) dürften sich die Mantelfasern viel eher von Linienbestandteilen des Kerns, als von der Substanz des Nukleolus ableiten.

Kehren wir nach dieser Abschweifung wieder zur Centralspindel von *Surirella* zurück, welche wir bei unserer vergleichenden Betrachtung bis zu jenem Stadium verfolgt haben, wo sie als blasse grosse Kugel an der Oberfläche des Kerns liegt. Den darauf folgenden, in Fig. 83 u. ff., Taf. V abgebildeten Wandlungen der Gestalt, die während des Knäuelstadiums des Kerns an der Centralspindel vor sich gehen, lässt sich aus dem Entwicklungsgang der typischen Centralspindel bei den Metazoen kaum etwas Entsprechendes zur Seite stellen; dagegen zeigen die Mikronucleus-Spindeln der Infusorien bei ihrer Entstehung ebenfalls oft recht eigenartige Formveränderungen, welche man sehr wohl den Wandlungen der Diatomeen-Centralspindel direkt vergleichen darf. Ich komme auf diesen Punkt weiter unten noch einmal zurück. Auch die beiden dunklen halbkugeligen Ansammlungen zu beiden Seiten der Centralspindel, aus denen sich später die Centrosomen differenzieren, sind bis jetzt eine Eigentümlichkeit von *Surirella*. Was die Herkunft dieser dunklen Ansammlungen anbelangt, so können dieselben, da eine Entstehung aus dem umgebenden Plasma ausgeschlossen erscheint, wohl nur von der Centralspindel selbst oder vielleicht von dem noch vorhandenen ursprünglichen Centrosom stammen, welches ja in nächster Nähe der fraglichen Gebilde liegt (vgl. Fig. 115 Taf. VII).

Abweichend von dem bisher Bekannten gestaltet sich weiterhin auch das Auswachsen der Centralspindel zu ihrer definitiven Gestalt. Dieser Vorgang beginnt bei *Surirella*, wie früher geschildert wurde, sobald das Plasma mit dem Kern am breiten Zellende angelangt ist, und geht in der Weise vor sich, dass die beiden Flächen der bis dahin plattenförmigen Anlage der Centralspindel sich gewissermassen von einander abheben, wobei zwischen ihnen in der Richtung des Auswachsens eine zarte Faserung sichtbar wird, die immer deutlicher hervortritt, je mehr sich die beiden Flächen, die späteren „Pole“ der Spindel, von einander entfernen. Das Resultat ist schliesslich eine Spindel, deren Umrisse von denen einer typischen „Spindel“ ganz bedeutend abweichen: sie präsentiert sich in Gestalt einer Garbe und es sind somit die Polflächen der Spindel breiter als der Äquator, also gerade umgekehrt wie bei einer typischen Spindel. Sehr merkwürdig, und in dieser Weise wohl noch nicht beobachtet, ist die Ausbildung der Spindel als Körper mit membranartiger Begrenzung gegen das umgebende Plasma. Noch bevor die Spindel ihre definitive Grösse erlangt hat, senkt sie sich in

den Kernraum hinein, mitten unter die längs gespaltenen Chromosomen, welche sich dann um ihren Äquator ringförmig zusammenschliessen.

Dieser Vorgang der Einwanderung in den Kern steht in einem gewissen Gegensatz zu dem als typisch betrachteten Verhalten der Centralspindel in den Zellen der Metazoen. Denn bei letzteren strahlen ja nach der gewöhnlichen Darstellung von den an den Spindelpolen gelegenen Centrosomen zahlreiche Fasern aus, welche sich an die Chromosomen ansetzen und diese nach dem Äquator der Spindel dirigieren. Bei *Suriella* finden wir nichts von alledem: hier fehlen Fasern, welche von den Polen der Centralspindel resp. deren Centrosomen zu den Chromosomen gehen, also „Halbspindeln“ vollständig, und die Gruppierung der Chromosomen um den Äquator der Spindel macht ganz den Eindruck einer selbständigen Bewegung derselben.

Es steht übrigens die Einwanderung der Spindel in den Kern keineswegs so isoliert, als es vielleicht am Anfang scheinen möchte und es lassen sich für diesen Vorgang recht wohl Anknüpfungspunkte bei anderen Zellen finden. Ich will hierbei von den älteren durch Flemming u. a. bestätigten Angaben Rabls (108) absehen, nach welchen sich beim Salamander die Spindel ausserhalb des Kerns klein anlegt und sich dann unter die Chromosomen hineinsenkt, sondern hier besonders auf Ishikawas (70, 71) Untersuchungen an der Cysto-Flagellate *Noctiluca* hinweisen, welche in mehreren Punkten eine bemerkenswerte Übereinstimmung mit jenen Verhältnissen zu Tag gefördert haben, wie wir sie bei Diatomeen fanden.

Nach den Beobachtungen Ishikawas lassen die Individuen von *Noctiluca*, welche sich zur Teilung anschicken, schon früh eine Differenzierung im Cytoplasma erkennen, indem sich hier dicht am Kern eine rundliche oder elliptische Partie durch gröbere Granulierung abhebt. Diese Cytoplasmamasse repräsentiert das kinetische Centrum der Teilung und entspricht der „sphère attractive“ van Benedens, sowie dem „Archoplasma“ Boveris. Im weiteren Verlaufe streckt sich nun dieses Archoplasma in die Länge und bildet eine relativ ansehnliche „Archoplasma-Spindel“, welche von Ishikawa mit Hermanns Centralspindel identifiziert wird. Anfangs liegt diese Spindel tangential an der Oberfläche des Kerns, später biegt sie sich jedoch und drückt die Wandung des Kerns ein, sodass letzterer eine ungefähr C-förmige Gestalt bekommt, deren konkave Seite von der Spindel eingenommen wird. Die Chromosomen im Innern des Kerns sammeln sich an jener Seite des Kerns an, welche der Spindel am nächsten liegt und strahlen von diesem „Polfeld“ (Rabl) nach der gegenüberliegenden Seite des Kerns, dem „Gegenpolfeld“ aus. Mit der Teilung des Archoplasmas geht Hand in Hand eine Sonderung der Chromosomen in zwei Hälften, welche dann nach den von grossen (oft ein Centrosom einschliessenden) Archoplasmanmassen eingenommenen Spindelenden auseinanderrücken.

Diese kurze Beschreibung der Kernteilungsvorgänge von *Noctiluca* dürfte genügen, um zu zeigen, dass dieselben wirklich enge Anklänge an diejenigen der Diatomeen darbieten. Ich verweise nur auf die relativ früh ausserhalb des Kerns sich differenzierende „Archoplasma-Spindel“ (die jedoch wahrscheinlich nicht plasmatisch ist), gegen welche die Chromosomen in ähnlicher Weise hinstreben, wie wir es bei Diatomeen

besonders schön bei *Pleurosigma* (Taf. IV Fig. 43) gesehen haben. Auch das Hineinsinken der Spindel in den Kern lässt sich direkt mit dem entsprechenden Vorgang bei *Surirella* (und *Pleurosigma* etc.) vergleichen, doch scheint hierbei insofern ein Unterschied zu bestehen, dass bei *Noctiluca* die einrückende Spindel die Kernmembran bloss eindrückt, letztere also auch an dieser Stelle erhalten bleibt, wodurch nach Ishikawas ausdrücklicher Versicherung eine direkte Verbindung zwischen Spindel und „Nukleoplasma“ ausgeschlossen erscheint, während bei *Surirella* die Centralspindel sich mitten unter die Chromosomen begibt und in ihrem Äquator von diesen ringförmig umschlossen wird. Ein weiterer Unterschied scheint zwischen *Noctiluca* und den Diatomeen insofern zu bestehen, als bei der Flagellate die Verbindungsfäden, welche sich zwischen den auseinanderweichenden Tochterkernen ausspannen, von Ishikawa aus Linienbestandteilen des Kerns hergeleitet werden, während bei Diatomeen dieselben zweifellos den Fasern der Centralspindel entsprechen.

Wenn man an einer lebenden *Surirella* die in den Kernraum eingewanderte Centralspindel betrachtet und verfolgt, wie die Chromosomen sich in deren Äquator nach und nach zu einem immer breiter werdenden Ring zusammenschliessen, ohne dass es gelingt auch nur eine Spur jener Fibrillen nachzuweisen, welche, nach der gegenwärtig herrschenden Ansicht von den Polen ausgehend, sich an die Chromosomen anheften und letztere zur „Äquatorialplatte“ vereinigen sollen, — so drängt sich unwillkürlich die Vorstellung auf, dass es sich bei dem Hinstreben der Chromosomen nach dem Äquator der Centralspindel bei *Surirella* um aktive Bewegung, also um eine Lebensäusserung der Chromosomen handeln muss, welche bei dem jetzigen Stande unseres Wissens einer „mechanischen“ Erklärung spottet. Dasselbe gilt meiner Ansicht nach auch von der vorausgegangenen Längsspaltung der Chromosomen¹⁾ — welche schon Boveri (11) (pag. 113) für eine selbständige Lebensäusserung, einen Fortpflanzungsakt der Chromosomen erklärt hat — und wohl auch von der folgenden Überwanderung der Tochterchromosomen nach den Polen. Beim Beginn der Metakinese macht im Leben der Chromosomenring um den Äquator der Spindel ganz den Eindruck einer weichen plastischen Masse; seine Konturen schweifen sich bogenförmig gegen die Spindelenden zu (Taf. VIII Fig. 123), und nach erfolgter Zerklüftung des Rings fliessen die Teilhälften gewissermassen nach den Polen hin ab. Mantelfasern resp. „Zugfasern“, welche durch ihre Kontraktion diese ringförmig vereinigten Tochterchromosomen nach den Polen dirigieren könnten, fehlen, wie wiederholt betont, bei *Surirella* völlig: hier findet sich nur eine Centralspindel, welche durch ihr Auswachsen den Abstand der beiden an ihren Polen gelegenen Centrosomen immer mehr vergrössert²⁾ und das stützende Substrat für die auseinanderrückenden Hälften der chromatischen Kernsubstanz abgibt.

1) Eine Beteiligung der Spindelfasern an der Längsspaltung der Chromosomen, wie sie Rabl (109) angenommen hat, ist bei *Surirella* natürlich vollständig ausgeschlossen, da am Beginn der Längsspaltung die Centralspindel noch vollständig ausserhalb des Kerns liegt.

2) Diese Funktion der Centralspindel ist besonders von Drüner (33) gebührend hervorgehoben worden.

Bei dem Fehlen von „Zugfasern“ könnte man — wenn eine selbständige Bewegung der Chromosomen nicht annehmbar erscheinen sollte — auch daran denken, das Auseinanderweichen der Tochterchromosomen von *Surirella* auf Rechnung besonderer, von den Centrosomen ausgehender Reizwirkungen — vielleicht chemotaktischer Art — zu setzen, wie dies auch Strasburger für Pflanzenzellen angenommen hat. Zu Gunsten einer solchen Auffassung spricht möglicherweise der Umstand, dass gerade während der Überwanderung die Centrosomen an den Spindelpolen im Vergleich zu früheren Stadien besonders voluminös erscheinen und dass ferner das Plasma, deutlich strahlig gegen die Centrosomen centriert, sich in immer grösserer Menge an den Polen der Spindel ansammelt, je weiter die Tochterchromosomen auseinanderrücken — ein Verhalten, welches sich ziemlich ungezwungen durch eine von den Centrosomen allseitig, also auch in der Richtung gegen die Chromosomen ihre Wirksamkeit entfaltende anziehende Kraft erklären lassen dürfte.

Eine selbständige Bewegung der Chromosomen nach den Polen hin ohne Vermittlung besonderer dirigierender Zugfasern, wie eine solche hier für *Surirella* wahrscheinlich zu machen gesucht wurde, ist schon wiederholt von anderen Forschern angenommen worden, sodass zum mindesten die Möglichkeit einer aktiven Bewegung der Chromosomen zugegeben werden muss. Es ist oben erwähnt worden, dass Strasburger (136) ein derartiges Verhalten für Pflanzenzellen als Regel betrachtet¹⁾; er stützt sich hierbei besonders auf seine Beobachtungen an Pollenmutterzellen der Liliaceen und Orchideen. An diesen Objekten kann man nach seinen Angaben während der Überwanderung der Tochterchromosomen „nicht nur die fortdauernde Kontinuität der zwölf Spindelfasern sicher verfolgen, sondern auch feststellen, dass keine anderen Änderungen in ihrer Dicke sich einstellen, als die durch Dehnung ihrer freigelegten äquatorialen etwa bedingten“. (l. c. pag. 183.) Für tierische Objekte (homöotypische Mitosen in Spermatozyten des Salamanders) ist Benda (5) zu ganz ähnlichen Resultaten gekommen, indem er ausdrücklich betont, dass während der Metakinese nicht die Retraktion der Spindelfasern das Auseinanderweichen zweier Tochterschleifen bewirkt, sondern dass dies durch Herabgleiten auf ein und derselben Faser erfolgt, da auch nach dem Auseinanderrücken zweier Tochterschleifen der zugehörige Spindelfaden von Pol zu Pol verläuft. Bei den Eiern von *Ascaris* hat Sala (115) und bei Eiern des Axolotl schon früher Fick (40) selbständige Überwanderung der Chromosomen behauptet. Auch bei *Euglena* dürfte das Auseinandergleiten der Chromosomen entlang der stabförmig ausgezogenen Centralspindel sich kaum anders als durch aktive Bewegung erklären lassen, zumal da Keuten (75) der sichere Nachweis achromatischer Fasern nicht gelungen ist.

¹⁾ In seiner neuesten Arbeit (139) nimmt Strasburger jedoch an, dass die Spindelfasern seiner Objekte durch Verschmelzung feinerer Fasern entstanden sind und dass in ihnen sowohl von Pol zu Pol durchgehende als auch solche Fasern vorhanden sind, welche sich an die Chromosomen anheften und diese durch ihre Kontraktion zu den Polen befördern. Die Chromosomen scheinen dann entlang der durchgehenden Spindelfasern dahinzugleiten.

Für jene Diatomeen allerdings, bei welchen die Chromosomen die Centralspindel nicht direkt umschliessen, sondern sich an die Fasern einer tonnenförmig die Centralspindel umhüllenden Spindel ansetzen, muss die Möglichkeit zugegeben werden, dass hier die Mantelfasern durch ihre Kontraktion die Schleifen nach den Polen dirigieren. Indessen möchte ich doch auch hier in den Fasern der tonnenförmigen Spindel eher die Leitungsbahnen sehen, entlang denen die Chromosomen nach den Polen hingleiten.

Es dürfte am Platze sein hier noch auf einen Unterschied im Verhalten der Chromosomen hinzuweisen, welcher zwischen jenen Diatomeen mit und jenen ohne Mantelfasern zu bestehen scheint und dem vielleicht eine tiefere Bedeutung zukommt. Bei der ersten Kategorie, zu welcher von den untersuchten Formen besonders *Surirella calcarata* und *Pinnularia viridis* gehören, haben wir nur eine Centralspindel und gerade bei diesen Formen finden wir, dass bei Bildung der Äquatorialplatte sowie bei der Metakinese die Chromosomen sich zu einem dichten Ring unmittelbar um die Centralspindel zusammenschliessen, sodass einzelne Chromosomen im Leben gar nicht und auch an Präparaten nur schwer einzeln unterschieden werden können. Bei jenen Diatomeen dagegen, bei denen die Centralspindel von dem Mantel der tonnenförmigen Spindel umhüllt ist, an deren Fasern sich die Chromosomen ansetzen, wie *Nitzschia sigmoidea*, *Pinnularia oblonga*, *Pleurosigma attenuatum*, gruppieren sich die deutlich schleifenförmigen Chromosomen wie in typischen Fällen der Mitose mehr sternförmig um die Spindel und sind in ihrer ganzen Ausdehnung frei zu verfolgen. Es scheint somit, als wenn der Mangel von Mantelfasern einen Mangel an Separierung der einzelnen Chromosomen im Gefolge hätte.

Wenn bei *Surirella* die Ringe der Tochterchromosomen auf der Centralspindel entlang gleitend in die Nähe der Pole gelangt sind, macht sich, wie früher eingehender geschildert wurde, ein eigentümlicher Vorgang an ihnen bemerkbar. Es verengern nämlich die Ringe ihre centrale Öffnung immer mehr, bis schliesslich die polaren Enden der Spindel beinahe vollständig von ihrem äquatorialen Teil abgeschnürt erscheinen und dann wie Propfen auf einer Flasche der polaren Öffnung der Tochterkerne aufsitzen. Trotz der beiderseitigen starken Einschnürung durch die Ringe der Tochterchromosomen ist die Kontinuität der Centralspindel auch jetzt noch gewahrt, sodass nach erfolgter Durchschnürung der Centralspindel durch die einschneidende Ringfalte deren äquatoriale Hälften durch die Tochterkerne hindurch in die polare Masse eingezogen werden können.

Diese Vorgänge erinnern sehr an das Verhalten gewisser „ringförmiger Kerne“ aus den Spermatogonien von Amphibien, wie es uns von Bellonci (4) und besonders von Meves (91) geschildert wurde. Nach den Beobachtungen des letzteren geht hier am Beginn der Kernteilung die Centralspindel aus der grossen „Sphäre“ hervor; nach vollzogener Zellteilung werden die Fasern derselben durch die ringförmigen Tochterkerne hindurch nach den Polen gegen die Centrosomen zusammengezogen, wo sie sich wieder zu neuen Sphären zusammen-

schliessen. Diese zeigen sehr wechselnde Umrisse: in den einfachsten Fällen erscheinen dieselben als kugelige Gebilde meist an der polaren Seite des Kerns; in anderen Fällen hingegen tritt die rekonstruierte Sphäre in Gestalten auf, welche von der Kugelform sehr erheblich abweichen, da sie bald ei-, bald birn- oder gar pilzförmig erscheinen kann. Die Bilder, welche Meves von der Rekonstruktion der Sphären giebt, lassen sich mit dem, was ich bei *Surirella* fand, ganz gut in Einklang bringen; auch die ringförmigen Kerne zeigen eine weitgehende Übereinstimmung mit einander, indem da wie dort auf entsprechenden Stadien das Chromatin in Gestalt stark gefärbter Balken in radiärer Richtung gegen die mittlere, von der Centralspindel durchsetzte Öffnung der Ringe hinstrebt¹⁾. Ein Unterschied scheint jedoch insofern zu bestehen, dass bei den Kernen der Spermatogonien die centrale Öffnung des Rings sich mit einer Kernmembran umkleidet und dass dann dieses Kernloch sich in den allermeisten Fällen bis zur nächsten Kernteilung erhält, während bei *Surirella* die Kerne nur auf gewissen Stadien „Lochkerne“ sind, deren centrale Öffnung, von keiner distinkten Membran begrenzt, zwar noch längere Zeit hindurch als eine Art Spaltraum persistiert, schliesslich aber doch vom Gerüstwerk des sich rekonstruierenden Kerns durchspannen wird, so dass schliesslich während der Kernruhe auch nicht die geringste Spur mehr davon wahrzunehmen ist.

Kerne, welche, wie die von *Surirella*, nur auf gewissen späteren Stadien ihrer Teilung wirklichen „Lochkernen“ entsprechen, lernten wir auch aus den Untersuchungen v. Kostaneckis (82) kennen, welche sich hauptsächlich auf Zellen von Säugetier-Embryonen (Kaninchen, Hund, Rind) erstreckten. Nach v. Kostaneckis Angaben werden hier bei der Einschnürung des Zelleibes auch die Fasern der Centralspindel in ihrem Äquator zusammengedrängt und dann mit dem „Zwischenkörperchen“ durchtrennt, worauf die kegelförmigen Hälften der Centralspindel in jeder Tochterzelle nach dem „Polfeld“ der Kerne hinaufrücken und zwar durch die noch nicht geschlossene Öffnung der Tochterkerne. Von Kostanecki erblickt in diesem Vorgang „eine Einrichtung, die Substanz der Centralspindelfasern wieder an jenen Ort gelangen zu lassen, aus dem sie unzweifelhaft stammen, nämlich in die am Polfeld angesammelte Substanz des Archoplasmas“. (l. c. pag. 260.)

Es rekonstruiert sich also auch an den von v. Kostanecki untersuchten Objekten die „Sphäre“ an der polaren Seite der Tochterkerne, wie bei den Diatomeen, wo, wie wir annehmen müssen, die Spindelenden mit den Centrosomen verschmelzen. Eine ähnliche polare Rekonstruktion der Sphäre erfolgt nach Meves auch in den meisten Fällen bei den Kernen der Spermatogonien des Salamanders, doch kann hier auch manchmal der Fall eintreten, dass die Sphäre sich an der äquatorialen Seite der Tochterkerne anlegt, wie es nach Moores (92) Angaben in Zellen der Genitalleiste ganz junger Salamanderlarven sogar Regel sein soll²⁾. Auch Benda (5) nimmt an, dass bei

¹⁾ Eine ähnliche speichenförmige Anordnung des Chromatins hat Reinke (112) von Lochkernen aus der Milz der weissen Maus beschrieben.

²⁾ Für Spermatoeyten von Schnecken (*Helix*) hat Ähnliches schon früher Platner (104) angegeben.

Spermatocyten des Salamanders während des Überganges vom Dyaster zum Dispirem „ein Durchschlüpfen des Spindelpols durch die Chromatinmasse erfolgt, so dass sich der Pol zwischen Chromatin und Zwischenkörperchen lagert“. (l. c. pag. 165.) In den letzteren Fällen würde also die Sphäre eigentlich an die Gegenpolseite des Kerns zu liegen kommen. Zur Erklärung eines derartigen, jedenfalls auffallenden Verhaltens nimmt Meves eine Drehung der Teilungsfigur als möglich an, ebenso Benda (5), welcher die Chromatinmasse der Tochterkerne während der Auflösung des Dispirems eine Wanderung um 90° machen lässt.

Bei *Surirella* finden wir etwas ganz Entsprechendes. Während hier die Centrosomen nach vollzogener Halbierung der Centralspindel durch die Ringfalte noch in ihrer gesetzmässigen Lage an den Polen der Spindel liegen, also den Mutterschalen der Zelle zugekehrt sind, treffen wir sie in späteren Stadien, wo die Rekonstruktion der Tochterkerne im Gang ist, in einer gerade entgegengesetzten Lage, indem sie jetzt einander direkt zugewendet beide gegen die neugebildeten Tochterschalen hinschauen. (Vgl. z. B. Fig. 127 Taf. VIII. mit Fig. 130 Taf. VIII., ebenso Fig. 137 mit Fig. 139 Taf. IX.) Es lässt sich mit aller Sicherheit feststellen, dass bei *Surirella* diese Umlagerung durch eine gemeinsame Drehung resp. Wanderung von Centrosom und Tochterkern, also durch eine wirkliche „Telokinese“ im Sinne Heidenhains (60) zustande kommt. Wir können Schritt für Schritt verfolgen, wie sich die nierenförmig gebogenen Kerne mehr und mehr drehen, wobei die durch die Einbuchtung bezeichnete polare Seite der Kerne mit dem davorliegenden Centrosoma sich zunächst dem breiten Zellende¹⁾ und dann erst den neuen Tochterschalen zuwendet; die Centrosomen, sowie die Kerne beschreiben somit im ganzen einen Bogen von 180° , wobei sie in der linken²⁾ Tochterzelle sich im Sinne des Uhrzeigers, in der rechten Tochterzelle dagegen in entgegengesetzter Richtung sich bewegen. Die von Heidenhain (60) aufgeworfene, aber offen gelassene Frage: „ob der Kern zu gleicher Zeit mit dem Mikrocentrum³⁾ eine Drehung durchmacht, derart, dass das Mikrocentrum der Stelle des ursprünglichen Polfeldes benachbart bleibt, oder ob dies nicht der Fall ist,“ lässt sich für *Surirella* mit Sicherheit dahin beantworten, dass hier in der That Kern und „Mikrocentrum“ (Centrosom) gleichzeitig eine Drehung in bestimmter Richtung erfahren, wobei das „Mikrocentrum“ stets der Stelle des ursprünglichen Polfeldes benachbart bleibt. Mit dieser Drehung um 180° hat aber bei *Surirella calcarata* die „Telokinese“ noch keineswegs ihren Abschluss erreicht. Es begeben sich nämlich beide Tochterkerne mit ihren Plasmamassen von jener Stelle weg, wo die Teilung des Mutterkernes stattfand, und suchen wiederum die Mitte der Zelle auf, wo ja ursprünglich auch

1) Fig. 129 Taf. VIII zeigt ein solches Stadium.

2) Bei der von mir in den Abbildungen auf Taf. IX gewählten Orientierung.

3) Das „Mikrocentrum“ Heidenhains entspricht im wesentlichen dem, was man bisher Centrosom genannt hat.

der Mutterkern während der Kernruhe lag. Hier angekommen drehen sich beide Tochterkerne nochmals um 90°, bis ihre Einbuchtung mit dem Centrosom wieder dem breiten Zellende zugekehrt ist, womit erst der Ruhezustand vollständig wieder erreicht ist.

Centrosoma, Centralspindel und Mikronucleus.

Als Bütschli (22) 1891 über seine Entdeckung eines Centrosoms bei *Surirella* berichtete, wies er auch als Erster auf die Beziehungen dieses Gebildes zum Mikronucleus der Infusorien hin, wobei er eine Reihe von Übereinstimmungen zwischen beiden Gebilden hervorhob. Ansichten, die mit denen Bütschlis mehrfache Berührungspunkte aufweisen, hat R. Hertwig ein Jahr später bei Gelegenheit eines der Deutschen Zoologischen Gesellschaft erstatteten Referates über Befruchtung und Konjugation geäußert (66). R. Hertwig nimmt nämlich an, „dass die bei den Protozoën im Kern enthaltenen aktiven Substanzen bei den Metazoën selbständig geworden und aus dem Kern herausgetreten sind. Dann wäre der gewöhnliche Zellkern der Metazoën ein vorwiegend chromatischer Kern mit spärlicher, oder gänzlich fehlender aktiver Kernsubstanz, das Centrosoma umgekehrt ein Kern mit rückgebildetem Chromatin.“ (l. c. pag. 107.) Auch ich bin in meiner vorläufigen Mitteilung über Bau und Kernteilung der Diatomeen (83) für eine Verwandtschaft zwischen Centrosom und Mikronucleus eingetreten und habe besonders auf die Übereinstimmung aufmerksam gemacht, welche die wahrscheinlich vom Centrosom stammende Centralspindel mit der aus dem Mikronucleus hervorgehenden Spindel zeigt.

Hatten Bütschli, Hertwig und Lauterborn sich damit begnügt, auf die Berührungspunkte zwischen Centrosom und Mikronucleus hinzuweisen, ohne auf die Frage, in welcher phyletischen Beziehung beide Gebilde zu einander stehen, sich noch näher einzulassen, so ging 1894 Martin Heidenhain einen Schritt weiter, indem er in Form einer „vergleichend-anatomischen Theorie der karyokinetischen Figuren“ eine direkte Ableitung des Centrosoms und Zellkernes der Metazoën vom Mikronucleus und Makronucleus der Infusorien versuchte (60). Die Heidenhainsche Theorie gipfelt in der „grundlegenden Hypothese“, dass „bei allen thierischen Zellteilungen die von Pol zu Pol durchgehenden Fasern morphologisch gleichwerthig sind.“ Daraus wird nun „eine ganze Reihe werthvoller Deduktionen hergeleitet, welche nicht bloss die Heimathfrage der Centrosomen, sondern vornehmlich auch die Mitose betreffen“ und von denen einige, da für unsere Frage von besonderer Wichtigkeit, in folgendem wörtlich wiedergegeben seien.

„Die aus dem Mikronucleus der Infusorien entstehende Spindel mit durchgehenden Fasern ist identisch mit der Centralspindel Hermanns“ „Der Makronucleus oder Hauptkern der Infusorien entspricht dem Kern der Zellen der Metazoën. Die chromatische Substanz des Mikronucleus oder Nebenkernes der Infusorien ist bei den Zellen der Metazoën verschwunden. Die bei der Theilung der Mikronuclei von diesen

gelieferten Chromosomen werden in den Zellen der Metazoen vermöge eines Ablösungsvorganges nunmehr von dem Makronuklus, d. h. dem Zellenkerne der Autoren geliefert.“ „Der Spindelmantel und die Polstrahlung sind im Lauf der Phylogenese zu jener Zeit erworben worden, als der Makronukleus die Lieferung der Chromosomen übernahm.“ „Die Centrankörper der Zellen der Metazoen sind Neubildungen, welche aus dem Mikronukleus einzellige Geschöpfe und zwar auf Grund der achromatischen Substanz derselben sich herangebildet haben.“ (l. c. pag. 686–693.)

Es ist einigermassen auffallend, dass Heidenhain es nicht für nötig befunden hat, den Anteil der drei oben genannten Forscher an seiner Theorie im einzelnen auseinanderzusetzen, sondern sich in seiner doch sonst so umfangreichen Arbeit einfach damit begnügt, folgendes auszusprechen: „Am Schlusse dieses Kapitels möchte ich ganz besonders darauf hinweisen, dass bei Bütschli, Lauterborn und R. Hertwig Ausführungen zu finden sind, die meinen obigen Auseinandersetzungen nach dieser oder jener Richtung hin nahe stehen. Auf einer Diskussion der Berührungs- oder Differenzpunkte verzichte ich vorläufig, da ich doch erst erfahren möchte, welche Beurteilung und Verwendung das im ersten Teile dieser Arbeit gegebene Thatsachenmaterial von anderer Seite erfahren wird.“ (l. c. pag. 697.) Hätte Heidenhain statt dieser summarischen Abfertigung die bereits vor Aufstellung seiner Theorie über das Verhältnis von Mikronukleus und Centrosom bekannt gewordenen Angaben etwas spezieller behandelt, so würde sich ergeben haben, dass in denselben keineswegs nur Ausführungen zu finden sind, welche denen Heidenhains „nach dieser oder jener Richtung hin nahe stehen“, sondern dass jene im Gegenteil die Quelle sind, aus welchen Heidenhain das, was an seiner Theorie wesentlich ist und voraussichtlich auch in der Zukunft von Bestand sein dürfte, geschöpft hat. Dies gilt natürlich auch von dem Vergleich der Mikronucleusspindel mit der Centralspindel Hermanns, den ich, wie ich glaube, als erster im Jahre 1893 durchgeführt habe. Für die Frage nach der Priorität ist es jedenfalls nicht ohne Interesse, einen Vergleich zu ziehen zwischen dem, was Heidenhain 1893 auf der Göttingener Anatomenversammlung in noch sehr vorsichtig gehaltenen Ausdrücken über das Verhältnis von Centrosom und Mikronucleus geäußert hat¹⁾ und dem, was

1) Auf eine Anfrage Waldeyers sprach sich M. Heidenhain im Anschluss an seinen Vortrag folgendermassen über das Verhältniss aus: „Es ist gewiss sehr schwer, sich über die Frage, ob die Centrankörper dem Kern zugehörig seien oder nicht, ein Urteil zu bilden. In der Litteratur sind die Meinungen hierüber geteilt. Vielleicht hat Bütschli recht, wenn er annimmt, dass das Centrosom, oder in meiner Ausdrucksweise, das Mikrocentrum, eben das gleiche Ding ist, wie der Mikronukleus der Infusorien. Bütschli meint, der Centrankörper möchte sich am Ende auf indirektem Wege teilen, das ist nicht anzunehmen, denn zu dieser indirekten Teilung muss eben eine Spindel mit Centrosomen gehören und dann kämen wir zu einer ganz ungeheuerlichen Einschachtelung. Indessen könnte doch das Mikrocentrum den Mikronukleus entsprechen. In diesem Falle wäre aber der Mikronukleus der Zellen der Metazoen ohne Chromatin. Vielleicht entsprechen jene schleifenförmige Körper, welche Platner und Hermann in die Cirkumferenz der Centrankörper im Innern der Astrosphären fanden und welche bei Gelegenheit der Mitose sich teilen, wobei je ein Teilstück sich zu je einem Pole begiebt, rudimentären Chromosomen, sodass hier vielleicht die Überreste des Chromatins des Mikronucleus vorliegen.“

er 1894 — also nach dem Erscheinen meiner vorläufigen Mitteilung — in Form einer abgeschlossenen Theorie über denselben Gegenstand verkündet hat; es wird dann die Einwirkung meiner Arbeit auf die Anschauungen Heidenhains mit aller Klarheit hervortreten.

Nach diesen Ausführungen bedarf es wohl keiner besonderen Versicherung mehr, dass ich mit gewissen Einschränkungen der Mehrzahl der von Heidenhain aufgestellten Sätze im wesentlichen beipflichte; so vor allem dem ersten Satze von der Identität der Mikronukleusspindel mit der Centralspindel und zwar so weit, als ich denselben oben wörtlich citiert habe, ferner den dann abgeleiteten Sätzen 4—6. Dagegen halte ich mit R. Hertwig (67) und Boveri¹⁾ (12) die phyletische Seite der Heidenhainschen Theorie für äusserst bedenklich; denn es geht doch nicht an für die Phylogenie des Centrosoms der Metazoön die Kernverhältnisse der Infusorien als Ausgangspunkt zu nehmen, wie es Heidenhain gethan hat. Gerade diese Organismen sind unter allen Protozoön nicht nur durch ihre Kernverhältnisse allein, sondern auch durch ihre übrige Organisation derart eigenartig spezialisiert, dass sich für eine Ableitung der Metazoön von ihnen — obwohl eine solche wirklich schon versucht wurde²⁾ — nach Bütschlis schwerwiegendem Urteil (20) auch nicht der Schatten eines Beweises erbringen lässt. Gänzlich unvereinbar mit einer derartigen Ableitung ist vor allem der Umstand, dass Centrosomen, welche sich mit den entsprechenden Gebilden der Metazoön direkt vergleichen lassen, schon bei einzelligen Organismen vorkommen, welche auch die kühnste Phantasie kaum je als Descendenten der Infusorien betrachten dürfte: ich erinnere an die Flagellate *Noctiluca* (Ischikawa (70—71), an die Heliozoö *Actinosphaerium* (Brauer (15), sowie an die Diatomeen³⁾. Ein weiterer und sehr gewichtiger Einwand gegen die phylogenetische Seite der Heidenhainschen Theorie liegt im Verhalten des Mikronucleus während der Konjugation der Infusorien, welches von Heidenhain völlig unberücksichtigt gelassen wird. Bei der Konjugation geht nämlich in den allermeisten Fällen der Makronucleus völlig zu Grunde und wird später durch einen Teilsprössling des Mikronucleus ersetzt; er ist somit, worauf auch Boveri aufmerksam gemacht hat, ein spezifisch umgebildeter Mikronucleus⁴⁾.

¹⁾ Ich darf mir bei dieser Gelegenheit wohl die Bemerkung gestatten, dass ich schon bald nach dem Erscheinen der Heidenhainschen Arbeit meinem hochverehrten Lehrer Herrn Prof. Bütschli eine Reihe von Einwänden gegen die Heidenhainsche Theorie vortrug, welche sich zum Teil mit den inzwischen von Boveri ausgesprochenen deckten.

²⁾ So z. B. von W. S. Kent (73), welcher verschiedene Phylen der Metazoön in ganz willkürlicher Weise von bestimmten Abteilungen der Infusorien herleitete. Vergl. hierüber Bütschli (20) pag. 1973.

³⁾ Die Angaben Rompels (114) über das Vorkommen eines Centrosoms neben Mikro- und Makronucleolus bei einem peritrichen Infusor (*Kentrochona*) scheinen mir noch sehr der Bestätigung zu bedürfen.

⁴⁾ So verhält es sich wenigstens bei der Mehrzahl der untersuchten Formen. Ich möchte indessen nicht verfehlen, darauf aufmerksam zu machen, dass auch einige Fälle bekannt sind, wo während der Konjugation der Makronucleus entweder ganz oder doch teilweise erhalten bleibt. So hat Bütschli (18)

Müssen wir nach vorstehendem nun wirklich mit Boveri annehmen, dass alle die verwandtschaftlichen Beziehungen, welche man zwischen Makronucleus und Zellkern einerseits, Mikronucleus und Centrosoma andererseits zu finden geglaubt hat, in Wirklichkeit nur darauf beruhen, dass bei den Infusorien und bei den Zellen der Metazoën „ein Dualismus zwischen zweierlei Zellorganen besteht: bei den Ciliaten zwischen Haupt- und Nebenkern, in der Metazoënzelle zwischen Kern und Centrosoma; und ferner, dass bei der Teilung der Centrosomen in manchen Fällen Figuren entstehen (Centralspindel), die mit einem sich teilenden Nebenkern eine gewisse Formähnlichkeit darbieten“?

Ich kann das nicht glauben und bin im Gegenteil davon überzeugt, dass besonders zwischen der Centralspindel und der Spindel des Mikronucleus sich nicht „gewisse Formähnlichkeiten“, sondern in Wirklichkeit sehr weitgehende Übereinstimmungen erkennen lassen, welche sich nur auf Grund irgend eines phyletischen Zusammenhangs verstehen lassen, wenn auch nicht gerade eines solchen, wie ihn Heidenhain angenommen hat. Dabei habe ich in erster Linie die Centralspindel der Diatomeen im Auge, von welcher wir, als einem einzelligen Organismus angehörend, schon a priori noch viel eher Aufschlüsse über ihre verwandtschaftlichen Beziehungen erwarten dürfen, als von der Centralspindel der Metazoënzellen, bei der sich im Gefolge der spezifischen Differenzierung der Zellen während der Stammesentwicklung die ursprünglichen Verhältnisse jedenfalls mehr und mehr verwischt haben.

Welche sind nun die Ähnlichkeiten, welche zwischen Centrosom und Mikronucleus sowie zwischen Centralspindel und Mikronucleusspindel bestehen und für eine nähere Verwandtschaft dieser Gebilde sprechen? Schon Bütschli (22) hat darauf aufmerksam gemacht, dass die Centrosomen durch ihre Lage in der Nähe des Kerns recht auffallend an das Verhalten der Mikronuclei zu den Makronuclei erinnern. Wo bei den Infusorien der Makronucleus Einbuchtungen zeigt, werden wir in den allermeisten Fällen den Mikronucleus in der Einbuchtung gelagert finden. Ganz ähnliche Lagebeziehungen bestehen auch zwischen Centrosomen und Kernen, deren Umriss z. B. nieren- oder bohnenförmig gestaltet sind: hier liegt das Centrosom (während der Kernruhe) ebenfalls in der Kernbucht, wie wir es so schön bei *Suriella* beobachten können (vergl. Taf. VII, Fig. III) und es in ganz entsprechender Weise auch bei anderen Kernen mit ähnlichen Umrissen antreffen, so bei Leukoeyten des Salamanders

schon vor einer Reihe von Jahren nachgewiesen, dass bei *Paramecium bursaria* der Makronucleus im Verlaufe der Konjugation höchstens eine kleine Volumenverminderung erleidet und später mit einer Mikronucleusspindel verschmilzt. Balbiani (1) und Gruber (50) haben ebenfalls Verschmelzung der Mikronucleuskörper mit dem alten Makronucleus beobachtet; auch Maupas (89) bestreitet sie nicht, da er selbst bei *Paramecium caudatum* manchmal Ähnliches sah. Bei *Euplotes Charon* und *Euplotes patella* kann nach den Angaben von Bütschli (18) und Maupas (89) bei der Konjugation ebenfalls ein Teil des alten Makronucleus mit einer Mikronucleusspindel zu einem neuen Makronucleus verschmelzen.

nach Flemming (44)¹⁾ und bei flottierenden Zellen aus dem Rhynchocöloin der Nemeriten nach Bürger (17). Centrosom und Mikronucleus stimmen auch darin überein, dass sie sich Farbstoffen gegenüber in ähnlicher Weise verhalten. In den Mikronuclei, und mögen dieselben auch noch so klein sein, finden wir stets eine chromatische und achromatische Substanz vereinigt, deren Differenzierung bei einer Reihe von Formen schon in der Ruhe deutlich ausgesprochen ist, während sie bei andern erst bei der Teilung, d. h. bei der Umwandlung des Mikronucleus zu einer Spindel, in Erscheinung tritt, wo dann der achromatische Bestandteil die Fasern der Spindel liefert. Einen ähnlichen Aufbau aus zwei sich Farbstoffen gegenüber verschieden verhaltenden Substanzen, müssen wir wohl, auch wenn es in der Ruhe nicht hervortritt, für das Centrosom von *Surirella* annehmen, welches sich am Beginn der Kernteilung in zwei Hälften teilt, von denen die eine sich sehr intensiv färben lässt, während die andere sich stets nur äusserst schwach tingiert; letztere ist es, welche die Centralspindel aus sich hervorgehen lässt. Einschieben möchte ich hier noch, dass diese Teilung schon sehr frühe vor sich geht, zu einer Zeit, wo die Struktur des eigentlichen Kerns noch ganz denjenigen des Ruhezustandes gleicht, ein Umstand, welcher sehr gut mit dem Verhalten der Mikronuclei harmoniert, welche sich ja ebenfalls vor dem Makronucleus zu teilen pflegen.

Gerade in der aus dem Centrosom hervorgegangenen Centralspindel der Diatomeen finde ich sehr weitgehende Übereinstimmungen mit den Mikronucleusspindeln der Infusorien. Gemeinsam ist beiden zunächst einmal die ganz gewaltige Grössenzunahme, welche sie bei ihrer Entwicklung erfahren: hier wie dort wachsen aus kleinen Kugeln schliesslich Spindeln heran, welche das ursprüngliche Volumen um ein ganz gewaltiges übertreffen. Weiterhin ist bekannt, dass die Mikronucleusspindel, bevor sie ihre definitive Gestalt erreicht, eine Reihe von Gestaltsveränderungen durchmacht, wie ein Blick auf die Abbildungen von Bütschli (18), Maupas (89), R. Hertwig (65) etc. lehrt. Sollte es nun wirklich ein blosser Zufall, eine „äussere Formähnlichkeit“ sein, dass die Centralspindel der *Surirella* während ihrer Entwicklung ebenfalls die mannigfachsten Wandlungen ihrer Gestalt erfährt? Im ausgebildeten Zustand zeigen Centralspindel und Mikronucleusspindel eine sehr wichtige Übereinstimmung insofern, dass, wie schon betont, ihre Fasern ununterbrochen von Pol zu Pol verlaufen. Vor allen Beobachtern, welche die Teilung der Mikronuclei eingehender verfolgt haben, wird angegeben, dass hierbei die Kernmembran während des ganzen Spindelstadiums erhalten bleibt; es erinnert dies in ganz auffälliger Weise an die Centralspindel von *Surirella*, welche ebenfalls gegen das umgebende Plasma durch eine deutliche Membran abgegrenzt ist. Was schliesslich noch die Gestalt der fertigen Centralspindel anbelangt, so gleicht diejenige der Metazoön in allen wesentlichen Punkten ganz einer typischen Mikronucleusspindel; indessen lässt sich auch der in ihren Umrissen von einer „Spindel“ so völlig abweichende Diatomeen-Centralspindel bis zu einem

¹⁾ Man vergl. z. B. dessen Fig. 12 Taf. XIV!

gewissen Grade Entsprechendes von der Mikronucleusspindel der Infusorien zur Seite stellen. Ja, man könnte sogar noch weiter gehen, und das dunkel gefärbte Band, welches die ausgebildete Centralspindel von *Surirella* und *Nitzschia* in ihrem Äquator erkennen lässt, mit der Äquatorialplatte der Mikronucleusspindel in Verbindung bringen, mit welcher es in seinem Aussehen eine gewisse Übereinstimmung nicht verkennen lässt.

Die in vorstehendem hervorgehobenen Berührungspunkte zwischen Centrosom und Mikronucleus einerseits, Centralspindel und Mikronucleusspindel andererseits dürften, wie ich hoffe, vorläufig genügen, um zum mindesten die Möglichkeit einer phyletischen Verwandtschaft beider Gebilde doch nicht ganz so unwahrscheinlich erscheinen zu lassen, als es Boveri dargestellt hat. Ich stimme darum — wie es auch R. Hertwig (67) gethan hat — dem von Heidenhain aufgestellten Satze: „Die aus dem Mikronucleus der Infusorien entstehende Spindel mit durchgehenden Fasern ist identisch mit der Centralspindel Hermanns“ etc. bei, allerdings mit der Einschränkung, dass ich nicht, wie Heidenhain, die Centralspindel als aus der Mikronucleusspindel hervorgegangen betrachte, sondern, wie ich gleich ausführen werde, beide Gebilde aus einer gemeinsamen kernartigen Wurzel ableite. Ich kann dem Heidenhainschen Satze um so eher meine Zustimmung geben, als ich bereits in meiner vorläufigen Mitteilung (83), welche ein Jahr vor Heidenhains Arbeit erschien, auf die weitgehende Übereinstimmung zwischen Centralspindel und Mikronucleusspindel aufmerksam gemacht hatte.

Nehmen wir nun eine Verwandtschaft zwischen Centrosom und Mikronucleus als wirklich vorhanden an, so drängt sich naturgemäss die Frage auf: In welcher genetischen Beziehung stehen beide Gebilde zu einander? Welches von ihnen steht dem ursprünglichen Zustande noch am nächsten und könnte eventuell als Ausgangspunkt für das andere betrachtet werden?

Bei der Beantwortung dieser Fragen können meiner Ansicht nach folgende drei Möglichkeiten in Betracht kommen: Entweder stammt das Centrosom vom Mikronucleus, oder umgekehrt der Mikronucleus vom Centrosom, oder endlich beide Gebilde stammen von einer gemeinschaftlichen Wurzel und haben sich nach verschiedenen Richtungen hin selbständig weiter entwickelt.

Heidenhain hat, wie bekannt, einfach das Centrosom der Metazoen vom Mikronucleus abgeleitet, ohne jedoch die Gründe anzugeben, welche ihn bewogen, die Metazoen gerade von den Ciliaten abzuleiten. Ich habe bereits bemerkt, dass ich mit Boveri und R. Hertwig die Heidenhainsche Ableitung für äusserst unwahrscheinlich halte, denn der Mikronucleus dokumentiert sich durch sein Verhältnis zum Makronucleus während der Teilung und Konjugation — bei welcher er den zu Grunde gegangenen Makronucleus rekonstruiert — als ein ganz eigenartiges, hoch spezialisiertes Gebilde, welches nur den Infusorien zukommt und ausserhalb dieser höchst-

organisierten Protozoenklasse nirgends mehr in ähnlicher Ausbildung wiederkehrt¹⁾. Dem Centrosom dagegen kommt eine ungleich weitere Verbreitung zu. Es findet sich nicht nur bei den verschiedensten Zellen höherer Tiere und Pflanzen, sondern wird auch bei einer immer mehr sich vergrößernden Zahl sog. „niederer“ Organismen nachgewiesen — ich erinnere nur beiläufig an das Vorkommen von Centrosomen bei Pilzen (Wager (142), wohl auch Gjurasin (48) und Harper (56), bei Algen (Strasburger (137)); auch den Einzelligen fehlt es nicht (Diatomeen etc.). Kann nun wirklich ein Gebilde wie das Centrosom, welches über das ganze Tier- und Pflanzenreich hin verbreitet ist und durch diesen Umstand allein schon seine Wichtigkeit für die Kernteilung und sein hohes phyletisches Alter erkennen lässt, von einem Gebilde abstammen, welches, wie der Mikronucleus, einzig und allein den Infusorien zukommt und hier in ganz spezifischer Weise differenziert ist? Ich glaube, man darf diese Frage ruhig mit nein beantworten. Eher noch, und vielleicht mit besserem Rechte könnte man den Versuch machen, den Mikronucleus als aus einem Centrosom hervorgegangen zu betrachten, wozu letzteres durch sein oben erwähntes Vorkommen bei mehreren Abteilungen einzelliger Organismen ein höheres phyletisches Alter zu offenbaren scheint, als der Mikronucleus, welcher auf die Infusorien beschränkt ist und darum wohl auch erst sekundär sich herausgebildet hat. Indessen würde auch diese Ableitung auf mannigfache Schwierigkeiten stossen, da sie vor allem ausser Stande ist, die Fähigkeit des Mikronucleus bei der Konjugation aus sich einen neuen Makronucleus zu rekonstruieren, in befriedigender Weise zu erklären.

Im Gegensatz hierzu scheint mir die Annahme, dass sowohl Centrosom als auch Mikronucleus aus einer gemeinschaftlichen Wurzel hervorgegangen, dass sie also die nach verschiedenen Richtungen hin differenzierten Abkömmlinge ein und desselben ursprünglichen Gebildes sind, eine viel grössere relative Wahrscheinlichkeit zu besitzen, da durch sie sich sowohl für die Übereinstimmungen als auch für die Abweichungen zwischen Centrosom und Mikronucleus eine Erklärung finden dürfte.

Wie das Gebilde, welches nach der hier vertretenen Ansicht Centrosom und Mikronucleus aus sich hervorgehen liess, ursprünglich beschaffen war, lässt sich mit Sicherheit natürlich nicht sagen, doch wird man kaum fehl gehen, wenn man annimmt, dass dasselbe in irgend einer Weise mit einem Kern zusammengehangen hat. Man könnte dann denken, dass es sich aus gewissen selbständig gewordenen Bestandteilen des Kerns herausgebildet hat, wie es z. B. R. Hertwig (66) für die Substanz des Centrosoms wahrscheinlich zu machen suchte.

¹⁾ Bei einer etwas aberranten Dinoflagellate (Polykrikos) sind von Bergh (7) neben dem Kern kleine sich färbende Nebenkern beschrieben worden, die sich zuweilen in kleine Spindeln umgewandelt zeigten. Ob diese Gebilde wirklich mit den Mikronuclei der Infusorien homologisiert werden können, dürfte sich erst entscheiden lassen, wenn ihr Verhalten bei der Konjugation oder Kopulation bekannt sein wird.

Möglich wäre aber auch und aus später zu erörternden Gründen sogar recht wahrscheinlich, dass der Dualismus zwischen Zellkern und Centrosom einerseits, Makro- und Mikronucleus andererseits, darauf hindeutet, dass einmal zwei annähernd gleich gebaute Kerne vorhanden waren, welche auf dem Weg der Arbeitsteilung nach und nach immer mehr differenzierten, sich bis sie dann schliesslich, in steter Wechselwirkung mit den von ihnen speziell übernommenen Funktionen jene Verschiedenheiten im morphologischen Aufbau und in physiologischer Leistung erlangten, die wir heute zwischen Kern und Centrosom, Makronucleus und Mikronucleus ausgeprägt finden.

Zu Gunsten dieser Auffassung scheint mir auch der Umstand zu sprechen, dass noch jetzt der Mikronucleus die Fähigkeit besitzt, bei der Konjugation der Infusorien aus sich einen neuen Makronucleus hervorgehen zu lassen, welcher letzterer dann im ausgebildeten Zustande die weitgehendsten Verschiedenheiten in Grösse, Gestalt, Struktur, Art und Weise der Teilung von seinem Erzeuger aufweist. Eine derartig spezifische Umbildung wird meiner Ansicht nach dem Verständnis näher gerückt, wenn wir — wie dies schon Bütschli (20) früher für die Infusorien gethan hat — annehmen, dass ursprünglich beide Kerne gleich gebaut waren und somit die jetzt zwischen ihnen bestehenden Verschiedenheiten erst nach und nach erworben wurden. Eine derartige Annahme wird umso wahrscheinlicher, wenn wir uns vergegenwärtigen, dass es auch jetzt noch Infusorien (z. B. *Opalina*) gibt, welche, soviel man weiss, wirklich nur eine Art von Kernen enthalten, welche in ihrer Grösse und ganz besonders in ihrer Teilung sich wie die typischen Mikronuclei verhalten¹⁾.

Den Gang der Differenzierung denke ich mir in grossen Zügen ungefähr folgendermassen. Als Ausgangspunkt nehmen wir ein schon vorgeschrittenes Stadium der phyletischen Entwicklung, auf welchem zwei Kerne in der Zelle vorhanden waren, die sich auf eine Weise teilten, wie wir sie noch beim Mikronucleus der Infusorien beobachten können. Dass die Annahme einer derartigen zweikernigen Zelle nicht so ganz unwahrscheinlich ist, als es im ersten Augenblick vielleicht scheinen mag, beweist uns die von Schaudinn (118) geschilderte *Amoeba binucleata*, welche konstant zwei Kerne besitzt, die sich — und das scheint mir für meine Hypothese von besonderer Bedeutung — gleichzeitig auf indirekte Weise (aber ohne Centrosomen!) teilen. Nach und nach trat nun allmählich durch Arbeitsteilung eine Differenzierung der Funktionen beider Kerne ein. Der eine Kern übernahm in erster Linie die Regulierung der formativen und nutritiven Prozesse des Zellplasmas und brachte immer mehr die chromatischen Substanzen zur Ausbildung; in steter Wechselwirkung mit der spezifischen Natur der von ihm beherrschten Zellen erlangte dieser Kern jene weitgehenden Ver-

¹⁾ Da die betreffenden Infusorien parasitische Formen sind, so könnte man allerdings daran denken, dass ihre Kernverhältnisse möglicherweise erst sekundär erworben sein könnten; doch scheint mir dies nicht sehr wahrscheinlich, da andere ebenfalls parasitische Formen die typischen Kernverhältnisse der Infusorien zeigen.

schiedenheiten in Grösse, Gestalt und Struktur, welche uns jetzt in den eigentlichen Zellkernen, sowie in den Makronuclei der Infusorien entgegentreten. Beiden Kernen ist gemeinsam, dass sie am Beginn ihrer Teilung ihr stark färbbares Gerüstwerk zu einem Knäuelwerk umbilden. Der Makronucleus durchschnürt sich auf diesem Stadium direkt; der Zellkern kommt eigentlich ebenfalls über dieses Knäuelstadium nicht hinaus¹⁾, bis die Centralspindel zu ihm in innige Beziehung tritt und die Überwanderung der Chromosomen vor sich gehen lässt, wie sich ja gerade bei den Diatomeen so gut beobachten lässt. Der andere Kern dagegen übernahm in erster Linie die Regulierung der Teilung. Dadurch, dass er also vor allem bei der Zellvermehrung in Aktion trat, während der Zellruhe seine Thätigkeit aber nicht entfaltete, bedurfte er in der Ruhe auch nicht jenes Volumens und jener komplizierten Strukturen des „Stoffwechselkerns“ und konnte darum unter Volumverminderung seine chromatischen Bestandteile immer mehr reduzieren und so gewissermassen seinen Inhalt immer mehr kondensieren. Vielleicht liegt hierin eine Erklärung für die Thatsache, dass im ruhenden Zustand Zellkern und Makronucleus das dazu gehörige Centrosom resp. den Mikronucleus an Grösse so bedeutend übertreffen. Für die Wahrscheinlichkeit der eben gemachten Annahme, dass vom Centrosom (und wohl auch vom Mikronucleus) während der Zellruhe keine tiefergreifenden Einwirkungen auf das umgebende Plasma ausgehen, dürfte der Umstand sprechen, dass Strahlungserscheinungen um das Centrosom (als morphologischer Ausdruck der von demselben ausgehenden Reize) in der Ruhe zu fehlen pflegen, ja dass in gewissen Fällen das Centrosom sogar im ruhenden Kern eingeschlossen sein kann, wie Brauers (13, 14) Beobachtungen an *Ascaris* lehren.

Die Kernnatur des Mikronucleus der Infusorien bedarf heutzutage wohl keines besonderen Beweises mehr. Dagegen dürfte die Annahme, welche auch im Centrosom nur ein in besonderer Weise modifiziertes ursprünglich kernartiges Gebilde sieht, doch noch einige Begründungen erfordern, die sich aber zum grössten Teil bereits aus den mitgeteilten weitgehenden Übereinstimmungen mit dem Mikronucleus von selbst ergeben. Ferner möchte ich darauf hinweisen, dass es gewisse Centrosomen giebt, welche auch in ihrer Struktur an diejenige der Kerne erinnern, indem sie in ihrem Innern von einem netzig-wabigen Gerüstwerk durchzogen sind, dessen verdickte Knotenpunkte sich stärker färben — ein Verhalten, das doch zweifellos an die Struktur einfach gebauter Kerne erinnert (Centrosomen der Echinodermen-Eier (Bütschli 24, v. Erlanger [38]). Einiges Gewicht lege ich auch auf die bereits erwähnte Struktur der Centralspindel der Diatomeen, speziell derjenigen von *Surirella* und *Nitzschia*, welche in ihrem Äquator von einem in Farbstoffen sich dunkel tingierenden Bande umzogen ist. Man könnte in diesem Bande vielleicht Reste der chromatischen Substanz des kernartigen „Urcentrosoms“ erblicken, gerade wie in jenen eigentümlichen „Archoplasma-schleifen“, welche in Gestalt von Stäbchen das Centrosom resp. die Centralspindel gewisser samenbildender Zellen umgeben und sich durch Teilung vermehren, wie aus

¹⁾ Vergl. hierüber auch Heidenhain (60).

den Beobachtungen von Platner und Herman (63) hervorgeht. Ich stehe mit meiner Deutung nicht allein, da Heidenhain schon 1893 die „Archoplasmenschleifen“ als rückgebildete Chromosomen betrachtet hat, worin ihm R. Hertwig (67) beistimmte.

Die hier vertretene Auffassung vom Ursprung des Centrosoms unterscheidet sich, wie ich nochmals besonders hervorheben will, von denjenigen M. Heidenhains ganz besonders dadurch, dass sie als Ausgangspunkt nicht den hoch spezialisierten Mikronucleus nimmt, sondern Centrosom und Mikronucleus von einem kernartigen Gebilde ableitet, von welchem gemeinschaftlicher Wurzel aus sich beide Gebilde nach verschiedenen Richtungen hin entwickelt und differenziert haben. Ich nähere mich somit mehr der Ansicht R. Hertwigs, welcher früher (66) das Centrosom der Metazoen einmal als einen Kern mit rückgebildetem Chromatin, später (67) dann als „selbständig gewordene geformte achromatische Kernsubstanz“ betrachtet hat.

Es wäre eine starke Stütze für die Richtigkeit der von mir hier entwickelten Hypothese über den Ursprung des Centrosoms, wenn es gelingen würde, bei einzelligen Organismen neben dem Zellkern noch Gebilde nachzuweisen, welche sich durch ihr Verhalten bei der Teilung gewissermassen als Zwischenstufen zwischen dem bis jetzt noch hypothetischen, ausgesprochen kernartigen „Urcentrosom“ und dem Centrosom, wie wir es jetzt vor uns sehen, dokumentieren. Leider sind nun aber gerade unsere Kenntnisse von der Kernteilung der Einzelligen noch recht gering und lückenhaft; nach dem, was wir aber bis jetzt darüber wissen, dürfen wir mit Sicherheit annehmen, dass sich hier noch Modifikationen der Kernteilung finden werden, welche nicht nur die hier behandelte Frage vom Ursprung des Centrosoms ihrer Lösung näher bringen, sondern mit der Zeit auch einen Einblick in den Entwicklungsgang der indirekten Kernteilung überhaupt gestatten werden.

Gleichsam als Bestätigung des Ebengesagten kommt mir beim Niederschreiben dieser Zeilen eine interessante Arbeit von F. Schaudinn (119) zu Gesicht. Hier wird bei einem neuen amöbenartigen Organismus (*Paramoeba eilhardi*) neben dem Zellkern ein „Nebenkörper“ beschrieben, welcher in mancher Beziehung sehr an die Centralspindel des Diatomeen erinnert und sich sehr wohl als eine der von mir postulierten Zwischenformen zwischen dem kernartigen „Urcentrosom“ und dem Centrosom resp. Centralspindel der Diatomeen auffassen lässt¹⁾. Die genannte Amöbe besitzt im Centrum ihres plasmatischen Körpers einen kugeligen Zellkern mit netzig-wabigem Gerüstwerk, welches in seinen Knotenpunkten Chromatinkörnchen eingelagert enthält und einen grossen Nukleolus umschliesst. Dicht an diesem Kern und auch im Leben stets deutlich hervortretend, liegt ein zweites scharf konturiertes und stark licht-

¹⁾ Schaudinn weist in seiner Arbeit auf die grosse Übereinstimmung in dem Verhalten des „Nebenkörpers“ mit der Bildung der Hermannschen Centralspindel bei den Metazoenzellen hin. Eine Homologisierung des „Nebenkörpers“ mit dem Mikronucleus der Infusorien scheint ihm vorläufig unwahrscheinlich, dagegen scheint ihm die Idee „nicht zu absurd“, dass der „Nebenkörper“ Beziehungen zu Sphären, Nebenkernen und Pyrenoiden (?) haben könnte.

brechendes Gebilde, welches gewöhnlich wurstförmige Gestalt besitzt und die Grösse des Kerns erreicht. Dasselbe lässt drei scharf gesonderte Abschnitte erkennen: einen mittleren stark lichtbrechenden Abschnitt, der manchmal feinnetzig oder auch längsgestreift erscheint, und zwei blasse halbkugelige Seitenteile, welche Körnchen enthalten. Dies ist der „Nebenkörper“, welcher sich in den gewöhnlichen Kernfärbemitteln gar nicht färbt, bei Anwendung der Eisenhämatoxylinfärbung nach Benda-Heidenhain jedoch in seinem Mittelstück eine tiefschwarze Färbung annimmt; ebenso tingieren sich die Körnchen in den polaren Halbkugeln.

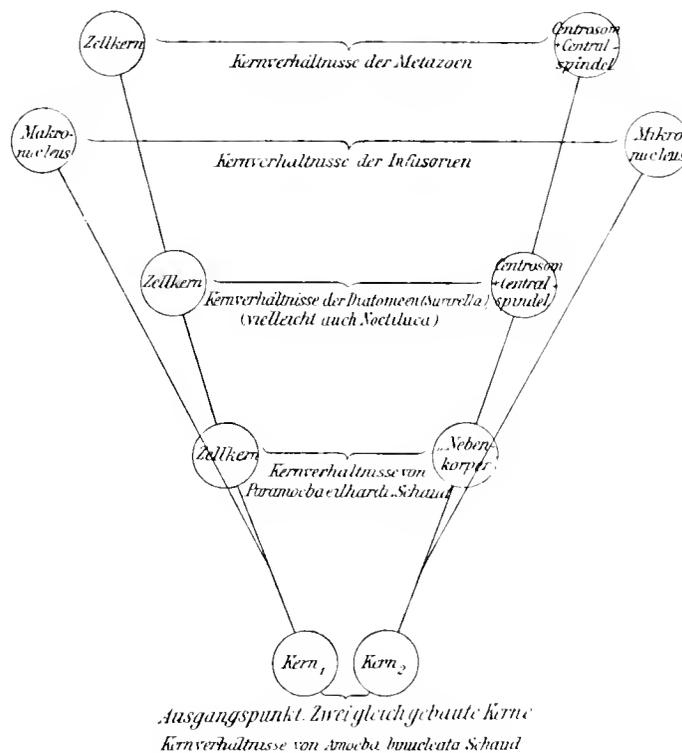
Bei der Teilung der Amöbe scheint der Nebenkörper sich früher zu teilen als der Kern, doch konnte bis jetzt nichts Genaueres über das Verhalten von Kern und Nebenkörper bei diesem Vorgang ermittelt werden, namentlich harret noch die Frage, ob und eventuell in welcher Weise der letztere in die Teilung des eigentlichen Kerns eingreift, ihrer Erledigung. Die Vermehrung von *Paramoeba* geht in der Weise vor sich, dass das Tier sich encystiert und Kern und Nebenkörper in zahlreiche Teilstücke zerfallen; dann teilt sich das Plasma in so viele Sprösslinge als Kerne mit Nebenkörpern vorhanden waren und diese verlassen dann die Cyste in Gestalt zweigeisseliger Schwärmer, welche in ihrem Aussehen sehr den Flagellaten der Gattung *Cryptomonas* gleichen. Bei der Längsteilung dieser Flagellaten zeigt nun der Nebenkörper sehr eigentümliche Erscheinungen, welche in ganz auffallender Weise an das Verhalten der Centralspindel bei den Diatomeen erinnern. In der Flagellate besitzt der vor dem Kern gelegene Nebenkörper „kugelige oder wurstförmige Gestalt und lässt stets zwei differente Bestandteile unterscheiden, einen stark lichtbrechenden körnigen, der sich mit Eisenhämatoxylin stark färbt und einen blassen, nicht färbbaren“. „Das erste Anzeichen für den Beginn der Längsteilung ist eine Streckung des Nebenkörpers; er nimmt Spindel- oder besser Hantelform an; die beiden Pole werden von färbbaren, das Mittelstück von den nicht färbbaren Bestandtheilen gebildet. Beim Beginn der Spindelbildung des Nebenkörpers befindet sich der Kern noch in Ruhe, dann tritt aber auch er in Vorbereitung zur Theilung ein, die auf mitotische Weise erfolgt. Der Binnenkörper verschwindet und die Kernsubstanz erscheint als gleichmässig feinkörnige Masse; zugleich bemerkt man, dass der Kern seine Gestalt verändert hat; er rückt mit einem breiten Fortsatz gegen das Mittelstück der Nebenkörperspindel vor und umfließt dasselbe allmählich. Erwähnt sei, dass die Nebenkörperspindel schon während dieser Vorgänge genau auf der späteren Theilungsebene des Körpers senkrecht steht. In (Schaudinn's) Fig. 10 ist die Kernsubstanz bereits ganz um die Spindel herumgeflossen und umgibt sie ringförmig. Nun fangen die kleinen Chromosomen an, sich um die Mitte der Nebenkörperspindel anzusammeln und sich zu einer in der späteren Theilungsebene des Kerns gelegenen Äquatorialplatte anzuordnen“. Bei dieser liegen die dunkel gefärbten Pole der Nebenkörperspindel an den Polen der Kernspindel. Dann erfolgt die Trennung der Äquatorialplatte und die Tochterplatten mit ihren Polkörpern bez. Nebenkörpern entfernen sich immer mehr, während welcher Zeit die Längsteilung der Flagellate vollzogen wird.

Wie man sieht, zeigt der Nebenkörper von *Paramoeba* in Bau und Funktion eine ganze Reihe von Übereinstimmungen mit der Centralspindel der Diatomeen, sodass ich mir ein besonderes Hervorheben der Berührungspunkte wohl versagen kann.

Der Nebenkörper von *Paramoeba* scheint mir nun in mancher Hinsicht geeignet in dem von mir angedeuteten Entwicklungsgange der Differenzierung von Kern und Centrosom, Makronucleus und Mikronucleus die Lücke auszufüllen, welche zwischen dem ausgesprochen kernartigen „Urcentrosom“ und jenem Zustande, wie wir ihn jetzt bei dem Centrosom + der Centralspindel der Diatomeen beobachten können, besteht. Er hat sich einerseits von dem ursprünglichen (d. h. kernartigen) Zustand wohl noch nicht allzuweit entfernt, da er in vielen Beziehungen noch deutlich die Charaktere eines Kerns aufweist und seine typische Gestalt auch während der Ruhe des eigentlichen Zellkerns bewahrt; andererseits gleicht der „Nebenkörper“ aber auch in manchen Punkten schon sehr der ausgebildeten Centralspindel der Diatomeen, da er wie letztere in sehr charakteristischer Weise in die Teilung des eigentlichen chromatinhaltigen Kerns eingreift.

Versuchen wir es unter Heranziehung der Schaudinn'schen Entdeckung, die allmähliche Differenzierung von Kern und Centrosom, Makronucleus und Mikronucleus aus zwei ursprünglich gleichen Kernen graphisch darzustellen, so könnte dies etwa auf nebenstehende Weise geschehen.

Dass eine Ableitung, wie sie in vorstehendem versucht wurde, vorläufig wenigstens noch mehr als eine morphologische denn eine wirklich phyletische betrachtet werden muss, bedarf wohl keiner weiteren Erörterung, da ja diejenigen Organismen, deren Kernverhältnisse zur Illustration der fortschreitenden Differenzierung herangezogen wurden, durch das Einschleichen der Diatomeen natürlich keine fortlaufende phylogenetische Entwicklungsreihe mehr darstellen. Bei der grossen Mannigfaltigkeit in der Ausbildung der Kerne, wie sie uns schon im Reiche der Einzelligen entgegentritt, dürfen wir indessen wohl mit einiger Berechtigung annehmen, dass Kernverhältnisse, wie sie hier in der obigen Darstellung morphologisch die einzelnen Stadien



verknüpften, sehr wohl auch zeitlich aufeinandergefolgt sein können. Denn nach den bisherigen Ergebnissen der Zellforschung lässt sich schon jetzt der Schluss ziehen, dass künftige Untersuchungen nicht nur eine weitere Verbreitung der bis jetzt bekannten vermittelnden Entwicklungsstufen nachweisen, sondern uns auch noch mit zahlreichen anderen Modifikationen der Kernverhältnisse bekannt machen werden, welche die Abstände der aufeinanderfolgenden Stadien immer mehr verringern.

Die hier in grossen Zügen skizzierte Darlegung des mutmasslichen Ganges der Differenzierung von Kern und Centrosom, Makronucleus und Mikronucleus, ist lediglich eine Hypothese, welche in Zukunft jedenfalls noch manche Modifikationen erfahren, ja vielleicht bei einem tieferen Einblick in das Wesen der indirekten Kernteilung überhaupt überflüssig erscheinen wird. Bei dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens scheint sie mir jedoch immerhin einen gewissen Vorteil dadurch zu bieten, dass sie Gebilde wie Kern und Centrosom, Makronucleus und Mikronucleus von einem gemeinsamen Gesichtspunkte aus zu betrachten versucht und in den zwischen ihnen hervortretenden Verschiedenheiten im wesentlichen nur das Endergebnis einer stetig fortschreitenden Arbeitsteilung zweier ursprünglich gleich gebauter Kerne sieht. Meine Hypothese zu einer Theorie, vielleicht gar zu einer „Vergleichend-anatomischen Theorie“ erheben zu wollen, kommt mir nicht im entferntesten in den Sinn. Dazu fehlt noch sehr viel; vor allem die Kenntnis jener Vorgänge, welche sich bei der Konjugation oder Kopulation, besonders derjenigen von *Paramecia* und *Surirella* mit dem „Nebenkörper“ und mit dem Centrosom abspielen. Hiervon dürfen wir noch wichtige und über die Berechtigung meiner Hypothese entscheidende Aufschlüsse erwarten, besonders von *Surirella*, bei welcher das Vorkommen einer wirklichen Kopulation von Focke (47), Pfitzer (101), H. L. Smith (133) festgestellt ist. Mir selbst ist es leider nie vergönnt gewesen, diesen Vorgang zu beobachten, obwohl ich viele Hunderte von *Surirellen* zu den verschiedensten Jahreszeiten vor Augen gehabt habe; es bleibt somit das Verhalten des Centrosoms bei der Kopulation der Diatomeen ein wichtiges Desiderat für die Zukunft.

VI. Die Bewegung der Diatomeen.

Neben der zierlichen Struktur des Kieselpanzers ist es vor allem die Ortsbewegung der Diatomeen gewesen, welche schon seit langer Zeit das lebhafteste Interesse der Beobachter erregt hat, ohne dass es aber trotz zahlreicher Untersuchungen gelungen wäre, einen vollkommen klaren Einblick in das Wesen jener Kräfte zu erlangen, welche bei der eigenartigen Bewegung der Diatomeen wirksam sind. Zwei Auffassungen¹⁾ sind es vor allem, welche sich hier gegenüber stehen. Die eine von M. Schultze (126) begründete und später von Pfitzer (101) und Engelmann (36) verteidigte, nimmt an, dass entlang der durchbrochenen Längslinie (Raphe) der Diatomeen Protoplasma aus dem Innern hervortritt und die Zelle in Bewegung setzt. Im Gegensatz zu dieser Ansicht sehen Nägeli, Siebold (132), Dippel (31), Borscow (10) und besonders Mereschkowsky (90)²⁾ in der Diatomeenbewegung die Wirkung eines osmotischen Vorganges: dadurch, dass am Vorderende der Diatomee Wasser eingesaugt und am Hinterende mit grosser Gewalt wieder ausgestossen wird, soll die Zelle durch Rückstoss nach vorn bewegt werden.

Es liegt nicht in meiner Absicht hier eine kritische Darlegung dieser beiden Theorien zu geben, wie ich auch darauf verzichte näher auf jene Hypothesen einzugehen, welche mit Cilien, undulierenden Membranen und Ähnlichem als Ursache der

¹⁾ Auf die übrigen über die Diatomeenbewegung bereits geäusserten Hypothesen, welche alle möglichen Kräfte, undulierende Membranen, Wimpern etc. als Ursache der Bewegung postulieren, an dieser Stelle näher einzugehen, scheint wohl überflüssig. Auch die Angaben von Grenfell (44) über das Vorkommen strahlenförmiger Pseudopodien bei *Melosira* und *Cyclotella* seien nur beiläufig erwähnt, da sie bereits von anderer Seite widerlegt worden sind.

²⁾ Mereschkowsky geht soweit, zu behaupten, dass durch seine Beobachtungen „ganz unzweifelhaft“ die Diatomeenbewegung als eine Folge osmotischer Erscheinungen erklärt sei. Sieht man aber näher zu, so erkennt man, dass die Hauptstütze seiner Ansicht, nämlich das lebhafteste Vibrieren von Mikrokokken in der unmittelbaren Umgebung einer sich bewegenden *Navicula*, sich viel ungezwungener auf ganz andere Weise erklären lässt, nämlich durch das Sauerstoffbedürfnis der Bakterien, welches diese selbst der fortgleitenden Diatomee folgen lässt. Man vergleiche hierzu die Abbildung Verworn's (140) Fig. 14!

Diatomeenbewegung operieren. Ich beschränke mich vielmehr darauf, in folgendem zunächst eine Reihe eigener von meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Bütschli fortwährend kontrollierter Beobachtungen an *Pinnularia* mitzuteilen, welche vielleicht im stande sein dürften, das Bewegungsphänomen in ein neues Licht zu rücken und daran einige Bemerkungen allgemeiner Natur zu knüpfen. Bemerket sei hierbei noch, dass eine vorläufige Mitteilung über die Ergebnisse unserer Untersuchungen an *Pinnularia* bereits 1892 von Professor Bütschli (23) gegeben wurde: ich (84) nahm dann später noch einmal Gelegenheit auf die Frage zurückzukommen, da O. Müller, der sich ebenfalls schon früher mit dem Problem der Diatomeenbewegung befasst hatte, den von uns beobachteten und von ihm im wesentlichen bestätigten Erscheinungen eine von der unsrigen völlig abweichende Deutung hatte angedeihen lassen (94). Diese meine Arbeit veranlasste O. Müller wiederum zu einer Erwiderung (95), auf die ich in einer besonderen Gegenantwort näher einzugehen für überflüssig hielt, da ich in folgendem noch öfter Gelegenheit haben werde darauf zurückzukommen.

Zunächst die Beobachtungen, auf welche sich die neue Auffassung der Diatomeenbewegung stützt.

Bringt man grössere Exemplare der Diatomeengattung *Pinnularia* und zwar aus der Formenreihe *P. viridis-maior-nobilis* in eine konzentrierte Tuschemulsion¹⁾, so zeigt sich hier bei der Mehrzahl der Diatomeen schon auf den ersten Blick eine sehr in die Augen fallende Erscheinung. In dem tief dunkelbraunen Gesichtsfelde leuchten die einzelnen *Pinnularien* förmlich durch einen breiten hellen Hof hervor, welcher die Zelle wie eine Aureole umfließt und ihr auch bei der Bewegung folgt. (Vergl. Fig. 148 Taf. X) sowie die nach einer Photographie hergestellte Abbildung in meiner früheren Arbeit (84.) Dieser helle Hof, in welchen die kleineren Tuschekörnchen niemals eindringen, besteht aus einer hyalinen Gallertschicht, welche so ausserordentlich durchsichtig und in ihrem Brechungsindex so wenig von dem des umgebenden Wassers verschieden ist, dass sie ohne Anwendung von Tusche oder Färbungsmitteln in reinem Wasser sich unserem Auge selbst bei Anwendung der besten optischen Hilfsmittel völlig entzieht²⁾. Von den Schalenseiten gesehen umgiebt die nach aussen nur undeutlich begrenzte Gallerthülle den Kieselpanzer allseitig, wobei ihre äussere Begrenzung gewöhnlich in einer Entfernung von etwa halber Schalenbreite den Konturen der Zelle parallel verläuft. Bei Ansicht von der Gürtelseite dagegen erscheint an

1) Ich fand es am besten, die Tusche möglichst fein in demjenigen Wasser zu verreiben, in welchem die *Pinnularien* kultiviert werden. Auch vermeide man nach Möglichkeit, Diatomeen aus alten Kulturen zu Studien über Bewegung zu verwenden, da solche in der Regel nicht mehr mit jener Lebhaftigkeit dahingleiten, welche sie frisch ihrem natürlichen Aufenthaltsorte entnommen zeigen.

2) Eine Gallerthülle von ähnlicher Durchsichtigkeit habe ich auch bei einer pelagischen Form von *Cyclotella comta* gefunden, wo dieselbe 2-6 der munzenförmigen Zellen zu zylindrischen Kolonien vereinigt und wahrscheinlich durch Vergrößerung der Oberfläche die Schwebefähigkeit erhöht. (R. Lauterborn, Über das Vorkommen der Diatomeengattungen *Atheya* und *Rhizosolenia* in den Altwassern des Oberrheins. Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellschaft. Bd. XIV (1896) pag. 12.)

der sich bewegenden Diatomee die Gallerthülle in symmetrischer Weise unterbrochen, nämlich an beiden Zellenden, sowie in der Gegend der beiden Mittelknoten, wo die Tuschekörnchen in einem sich immer mehr verschmälernden Streifen bis hart an die Zellwand vordringen. (Taf. X Fig. 148.) Dass die Hülle wirklich aus Gallerte besteht, geht aus ihrem Verhalten gegen verschiedene Anilinfarbstoffe hervor: so lässt sie sich z. B. mit Methylenblau auch *intra vitam* färben und nimmt dabei einen leicht rötlichen Farbenton an. Bei derart behandelten Pinnularien zeigt die Gallerthülle ein unregelmässig gelapptes und gefaltetes Aussehen und lässt oft eine Art Körnchenstruktur erkennen, wodurch sie an das von Klebs (78) geschilderte Verhalten der Gallerte gewisser Konjugaten erinnert.

Die Existenz einer derartigen Gallerthülle sowie die darauf basierten Schlüsse wurden von O. Müller 1893 ausdrücklich bestritten, indem er bemerkte (94, pag. 573): „Eine Gallerthülle im Sinne von Bütschli und Lauterborn ist überhaupt nicht vorhanden; der hyaline Saum, welcher bei längerem Verweilen in dichteren Tusche-Emulsionen bemerkbar wird, hat die Autoren zu ihrer Annahme geführt. . . . An der lebenden, aber vollkommen ruhenden Zelle, an deren Oberfläche keinerlei Kräftewirkung bemerkbar ist, unterbleibt auch die Bildung des hyalinen Saumes, ebenso, wenn man die Zelle in Tusche- oder Gummigutt-Emulsion bringt, in der der Gummi durch Alkohol ausgefällt ist“. Dieser absprechenden Bemerkung gegenüber konnte ich schon in meiner Erwiderung (84) feststellen, dass der „hyaline Saum“ keineswegs, wie Müller annimmt, erst nach längerem Verweilen in der Tuscheemulsion bemerkbar wird, sondern sofort sichtbar ist, wenn man die Pinnularien in die Tusche bringt, wo er dann schon bei ganz schwachen Vergrößerungen mit aller Schärfe hervortritt, was die meiner Arbeit beigegebene, nach einer Photographie hergestellte Abbildung wohl zur Genüge beweist. Später (95) hat sich dann Müller auch von dem Vorhandensein der Gallerthülle überzeugt und sogar deren Struktur wahrgenommen. Seiner weiteren — schon an und für sich wenig wahrscheinlichen — Behauptung, die Gallerthülle sei nur während der Bewegung der Zelle vorhanden, kann ich nicht beipflichten, da ich namentlich in älteren Kulturen öfters Pinnularien gesehen habe, welche, umgeben von ihrem hellen Gallertmantel, stundenlang ohne die geringste Bewegung verharrten.

Beobachtet man nun die in Tusche-Emulsion befindlichen Pinnularien bei starker Vergrößerung etwas genauer, so sieht man bald, dass die kleinen in lebhafter Molekularbewegung befindlichen Tuschekörnchen, welche unmittelbar an den hellen Hof angrenzen, entlang diesem verschoben werden. Die Verschiebung der Körnchen erfolgt stets auf den Schalseiten und zwar immer in der Richtung der die Mittellinie derselben spaltförmig durchbrechenden Raphe. Die Körnchen werden hierbei zunächst in der Gegend des vorderen¹⁾ Endknotens in Bewegung gesetzt, ziehen dann, wie man bei Ansicht von der Gürtelseite beobachten kann, um die Ecke und fließen in einiger Entfernung von der Oberfläche der Zelle bis nach dem centralen Endpunkt

¹⁾ Die Bezeichnung „vorn“ und „hinten“ stets in Bezug auf die Bewegungsrichtung der Diatomee.

der jeweils vorderen Raphe. (Fig. 141, 142, Taf. X.) In diesem „vorderen“ oder „zuführenden Körnchenstrom“ sind die Körnchen in lockerem Verbands vereinigt und wirbeln mehr oder weniger lebhaft durcheinander. Die Betrachtung von der Schalen-seite her zeigt, dass ihr Weg zur Zellmitte einen gewundenen Verlauf besitzt und dem früher geschilderten Verlauf der Raphe folgt. In der Mitte der Zelle angelangt, biegt der Körnchenstrom in einer ziemlich steilen Kurve zur centralen Öffnung der jeweils vorderen Raphe (Müllers vorderer Centralknotenkanal) hinab, wo die Körnchen gewöhnlich grössere oder kleinere Ansammlungen bilden. Letztere zeigen oft unregelmässige, dann zuweilen aber auch schleifen- oder hufeisenförmige Gestalt, wobei sich das freie Ende der Schleife nach vorn krümmt (Fig. 144 Taf. X), bis dann plötzlich die Körnchen mit einem Ruck sich losreissen und reihenweise hinter einander anordnen, um in Gestalt eines dünnen Körnchenfadens ruckweise nach hinten weiter geschoben zu werden¹⁾. (Fig. 141 Taf. X.) Man erhält ganz den Eindruck, als wenn aus dem centralen Endpunkt der vorderen Raphe ein wirklicher Gallert-Faden mit Gewalt raketenartig hervorschiessen würde, an dem die einzelnen Körnchen reihenartig ankleben; man wird in dieser Auffassung noch bestärkt durch den Umstand, dass die Körnchen in dem Augenblicke, wo sie zu einem Faden vereinigt werden, sofort ihre lebhaft Molekularbewegung verlieren, die sie im Bereich des zuführenden Körnchenstroms erkennen liessen. Der Körnchenfaden verläuft stets in einem spitzen Winkel zur Oberfläche der Diatomee schief nach hinten, also nach einer Seite hin, welche der gerade innegehabten Bewegungsrichtung der Pinnularia entgegengesetzt ist. Seinen Ursprung nimmt er ebenfalls immer von dem centralen Endpunkt der jeweils vorderen Raphe aus; wenn die Bewegungsrichtung der Pinnularia sich ändert und dieselbe sich nach jener Richtung hin bewegt, aus welcher sie eben herkam, so ändert sich auch Ursprung und Richtung des zuführenden Körnchenstromes, sowie des Gallertfadens in entsprechender Weise. Bei der Bildung des Fadens werden in der Regel die Körnchen der Ansammlungen am vorderen Centralknotenkanal zu einem Faden ausgesponnen, in welchem sie dann reihenartig hintereinanderliegen; oder auch es werden die von vorn zuströmenden Körnchen nach kurzer Rast direkt nach hinten weiter geschoben, ohne grössere Ansammlungen zu bilden. Doch kann es auch vorkommen, dass am freien Ende des Fadens eine grössere Anzahl Tuschekörnchen zu einem Klümpchen vereinigt nach hinten geschoben wird. Im Faden selbst sind die einzelnen Tuschekörnchen immer eines hinter dem anderen angeordnet und werden alle mit derselben Geschwindigkeit ruckweise nach hinten fortbewegt, was jedenfalls für das Vorhandensein eines gemeinsamen, alle Körnchen verbindenden Substrates spricht. Dass dieser Gallertfaden in reinem, d. h. nicht durch Tuschepartikelchen oder

¹⁾ H. L. Smith (133) hat an in Indigo-Emulsion befindlichen Pinnularien den Gallertmantel ebenfalls gesehen. Er beobachtete auch die Bildung von „rotating balls“ am centralen Endpunkt der Raphe, sowie deren Abreissen und Fortgleiten nach einer der Bewegungsrichtung entgegengesetzten Seite. Wie schon früher einmal bemerkt, wurde die Arbeit von H. L. Smith uns erst nach der Publikation der vorläufigen Mitteilung bekannt.

ähnliche Substanzen getrübttem Wasser absolut unsichtbar ist, kann man auch daraus entnehmen, dass manchmal die Reihenfolge der fadenförmig verklebten Tuschekörnchen auf eine Strecke hin unterbrochen erscheint; trotzdem verhalten sich die Körnchen hinter der scheinbaren Lücke in Bezug auf die Richtung und Intensität ihrer Bewegung genau ebenso, wie diejenigen vor der Lücke. Es lässt sich dies doch nur unter der Annahme erklären, dass die Körnchen vor und hinter der Lücke durch ein gemeinsames Band verknüpft sind, welches unserer Wahrnehmung völlig entgeht, wenn aus irgend einem Grunde die Tuschekörnchen nicht an ihm festkleben.

Während sich die Diatomee ruckweise vorwärts bewegt, verlängert sich auch der Faden ruckweise immer mehr nach hinten, wobei sich sein freies Ende immer mehr von der Zelle entfernt und sich oft vielfach zusammenknäuel. Gewöhnlich ragt der Faden über das Hinterende der Diatomee hinweg, ja in gar nicht seltenen Fällen kommen Fäden zu stande, welche die Länge der *Pinnularia* um das fünf- oder sechsfache oder gar noch mehr übertreffen, schliesslich abreißen und auf der Unterlage liegen bleiben, während die Diatomee unter Bildung eines neuen Fadens sich weiter bewegt. In einigen Fällen, wo die Diatomee im Begriff war, ihre Bewegungsrichtung zu ändern, wurde beobachtet, dass der Faden unter anscheinender Verkürzung nach seiner Bildungsstätte hin eingezogen wurde.

Die oben geschilderte Erscheinungen der Körnchenströmung und Fadenbildung lassen sich am besten beobachten, wenn die *Pinnularia* auf einer der Gürtelseiten liegend sich fortbewegt. Man sieht dann, wie es in Fig. 141 Taf. X wiedergegeben ist, dieselbe Erscheinung sich gewöhnlich auf beiden Seiten in gleicher Weise abspielen, indem hier links und rechts die Tuschekörnchen in lockerem Verbande von vorn der Mitte zustreben, wo sie dann zu einem Faden verklebt nach hinten abgeschoben werden. Auch wenn die Diatomee eine der Schalenseiten zukehrt, kann man sich in der Regel durch wechselnde Einstellung von dem Vorhandensein der Strömungen entlang der Raphe beider Schalenseiten überzeugen. Es kommt nicht selten auch vor, dass Körnchenströmung und Fadenbildung bereits an der noch ruhenden Diatomee in Erscheinung treten, wobei in seltenen Fällen sogar eine entgegengesetzte Richtung der Strömungen auf beiden Seiten konstatiert wurde, indem links Körnchenstrom und Faden von vorn nach hinten, rechts dagegen von hinten nach vorn zog und beide Strömungen sich so gewissermassen kompensierten. Übrigens kann die Diatomee sich auch bewegen, wenn nur ein Faden zur Entwicklung gelangt.

Dies sind in kurzen Zügen die Beobachtungen, welche uns veranlassten, die Bewegung der Diatomeen, speziell diejenige von *Pinnularia* in etwas anderer Weise zu erklären, als das bisher geschah. Bütschli (23) hat als Ergebnis unserer Untersuchungen folgendes zusammengefasst: „Man kann schwerlich bezweifeln, dass die ruckweise Verlängerung der Fäden mit den Ortsbewegungen der Diatomee in kausalem Zusammenhang stehe. Da nun bekannt ist, dass sich die Diatomeen in der Regel nur auf einer Unterlage bewegen, so wäre das Nächstliegende, anzunehmen, dass sich die Enden der Fäden irgendwie auf der Unterlage festheften und bei ihrer Verlängerung die Diatomee ruckweise fortschieben. Andererseits würde jedoch das raketenartige

Vorschiessen der Fäden auch ohne Befestigung ihrer Enden wohl genügen, um vermittelst des Rückstosses an dem umgebenden Wasser das ruckende Vorwärtsschreiten der Diatomee zu erklären. Mir scheint letztere Erklärung sogar mehr für sich zu haben, da wir Befestigungen der Fäden an der Unterlage mit Sicherheit nie feststellen konnten, und die geschilderte Aufknäuelung ihrer Enden, ferner das Rückschieben und scheinbare Einziehen des Fadens beim Wechsel der Bewegungsrichtung gegen eine solche Befestigung sprechen. Es wäre immerhin nicht unmöglich, dass die Eigentümlichkeit unserer Süßwasserdiatomeen, sich nur auf einer Unterlage fortzubewegen, damit zusammenhinge, dass sie überhaupt nicht zu schwimmen vermögen. Die Ursache der Diatomeebewegungen hätten wir demnach auf eine sehr reichliche Erzeugung von klebriger Gallerte zurückzuführen, welche an den Knotenpunkten der Raphe in Gestalt feiner Fäden rasch und mit einer gewissen Kraft hervorschießt. Demnach hätte die Bewegung der Diatomeen eine grosse Ähnlichkeit mit jener der Desmidiaceen, welche sich nach den Untersuchungen von Klebs ebenfalls mit Hilfe secernierter Schleimfäden bewegen"

Eine derartige Auffassung hat nicht den Beifall O. Müllers gefunden, wie er in zwei Arbeiten (94, 95) ausführlich darlegte¹⁾. Er hat die oben geschilderten Erscheinungen der Körnchenströmung und Fadenbildung in allen wesentlichen Punkten bestätigt und einiges, was in dem engen Rahmen einer vorläufigen Mitteilung nur angedeutet werden konnte, zum Teil noch weiter ausgeführt. Dagegen giebt er dem Beobachteten eine von der unsrigen abweichende Deutung, indem er in der Körnchenströmung und Fadenbildung nur „einen neuen und sehr interessanten Beleg“ für das Vorhandensein und die Orientierung jener Plasmaströme sieht, die nach seiner Ansicht die Ursache der Diatomeebewegung sein sollen. Bereits im Jahre 1889 hatte nämlich O. Müller im Anschluss an seine eingehenden Untersuchungen über die Raphe von *Pinnularia* folgende Hypothese über die Ortsbewegung der Diatomeen aufgestellt (93 pag. 176):

„Die Ortsbewegung ist nach meiner Auffassung die Wirkung der an der Oberfläche zur Geltung kommenden motorischen Kräfte des aus der Raphe hervortretenden Plasmas und ihre Richtung ist die Resultante dieser Kräfte“.

Auf Grund dieser Hypothese legt sich O. Müller den Vorgang der Körnchenströmung und Fadenbildung in folgender Weise zurecht: „Ich deute diese Erscheinungen so, dass durch die Polspalte der vorderen Endknoten ein Strom von Cytoplasma in die äussere Spalte der Raphe getrieben, daselbst centralwärts verschoben wird und durch den äusseren Centralknotenkanal in das Zellinnere zurückfliesst. Der Strom tritt seitlich aus der Spalte hervor und reisst die in der benachbarten Wasserschicht suspendierten Körnchen mit sich fort; da, wo derselbe die freie Oberfläche der Zellwand verlässt, um in den Centralknotenkanal einzutreten, muss eine Aufstauung bezw. Ansamm-

¹⁾ Vergl. auch die Nachschrift zu diesem Kapitel!

lung von Protoplasma stattfinden, und da die Wirkung des Stromes auf die Körnchen hier plötzlich aufhört, so sammeln sie sich an dieser Stelle mehr oder weniger an, werden durch das gestaute Protoplasma verklebt und durch nachfolgende in gleichsinniger, aber schiefer Richtung verdrängt. So entsteht der Faden, und da der Plasmastrom sich nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegt, sondern zuckend, so verlängert sich der Faden ebenfalls zuckend und scheint aus der Wolke oder dem Punkte gleichsam hervorzuschiessen.“ (94 pag. 575.)

Diese Erklärung des „zuführenden Körnchenstromes“ — zu dem ich mich zunächst wende — ist durch und durch hypothetisch, denn niemand hat bis jetzt, wie ich schon in meiner Entgegnung (82) auf Müllers Arbeit geltend machte, aus der Raphe hervortretendes **Protoplasma** gesehen. Bei *Pinnularia* müsste dieser seitlich aus der Raphe hervortretende Plasmastrom, welcher die Körnchen dem centralen Knotenpunkte zuführt, etwa die Breite des halben Schalendurchmessers haben, wie aus Fig. 141 Taf. X hervorgeht; es wäre doch sehr auffallend, wenn derselbe allen Forschern, die das Problem der Diatomeen-Bewegung zu ergründen versuchten, völlig entgangen sein sollte! In allen Fällen, in welchen man bis jetzt Protoplasma in Strömung begriffen sah, liess sich dasselbe doch wohl stets ohne weiteres als solches erkennen; der hyaline Saum dagegen, entlang welchem bei der sich bewegenden *Pinnularia* die Tuschekörnchen dahingleiten, entgeht in reinem Wasser auch bei Anwendung der besten Systeme unserer Wahrnehmung völlig, da sein Brechungsvermögen vollständig dem des umgebenden Mediums gleich ist. Derselbe liess sich bis jetzt überhaupt nur durch Tuschelösung oder geeignete Färbung nachweisen, und sein ganzes Verhalten spricht dafür, dass er aus einer gallertigen Substanz besteht. Ich muss somit das Vorhandensein der von Müller in seiner Abbildung mit *e* und *f* bezeichneten Plasmaströme in Abrede stellen, da die unmittelbare Betrachtung nichts davon erkennen lässt.

Diesen von mir schon 1894 präzisierten Standpunkt nehme ich auch gegenwärtig noch ein und Müllers später dagegen erhobene Einwände (95) haben denselben nicht im geringsten zu erschüttern vermocht. Müller (95) belehrt mich in dieser Arbeit nämlich, schon M. Schultze (126) habe ausreichend begründet, dass und weshalb auf der Oberfläche fliessendes Plasma unter Umständen nicht direkt nachweisbar sei. Ausserdem seien die in seiner Figur mit *e* und *f* bezeichneten und von mir bestrittenen Ströme mittelbar in demselben Sinne nachweisbar, wie der Bütschli-Lauterbornsche Faden, nämlich durch die daran klebenden und bewegten Fremdkörper, und seine Behauptung von deren Realität habe mithin dieselbe empirische Basis wie jener Faden, welcher unserer Theorie zur Stütze diene. Schliesslich habe an der citirten Stelle Max Schultze die Bewegung von Fremdkörpern bei den Diatomeen und den Rhizopoden verglichen und darüber gesagt: es gebe nur eine Erscheinung, welche mit der Bewegung der an einer Diatomee gleitenden Körper verglichen werden können, das sei die Aufnahme und Fortbewegung solcher Körper seitens der Pseudopodien der Rhizopoden.

Durch den Hinweis auf die 1865 erschienene (mir übrigens nicht ganz unbekannt) Arbeit Max Schultzes beweist Müller, dass er sich selbst wohl nie die Mühe genommen hat, das strömende Plasma eines Rhizopoden zu betrachten und dass ihm auch die Litteratur über Protoplasma der letzten dreissig Jahre ziemlich verschlossen geblieben ist. Er hätte sonst einsehen müssen, dass, wenn wirklich Plasma ausserhalb der Raphe und dazu noch in der Mächtigkeit des zuführenden Körnchenstromes dahinfließen würde, man dasselbe schon längst auch ohne Tuschemulsion hätte sehen müssen, da ja bei Rhizopoden, oder wo man sonst Plasma in Strömung sieht, doch zum allermindesten stets die äussere Begrenzung der strömenden Plasmamasse ohne weiteres sichtbar ist, selbst wenn man in deren Inneres scheinbar keine Struktur erkennen sollte. Was dann weiter die angegebene „ausreichende Begründung“ M. Schultzes anbelangt, dass und weshalb strömendes Plasma unter Umständen nicht direkt nachweisbar und unsichtbar sei, so muss ich zunächst gestehen, dass ich in der Stelle¹⁾, auf welche Müller besonders hinweist, keineswegs eine „ausreichende Begründung“ für die Unsichtbarkeit des angeblich plasmatischen „zuführenden Körnchenstromes“ bei *Pinnularia* erblicken kann, da in den speziell von M. Schultze hervorgehobenen Fällen (*Gromia* und *Diffugia*) die Umrisse der Pseudopodien doch stets deutlich hervortreten, während der nach Müllers Ansicht plasmatische Strom, welcher die Körnchen der Zellmitte zuführt, bei *Pinnularia* in reinem Wasser auch in seiner äusseren Bewegung absolut unsichtbar bleibt. Ausserdem möchte ich hierbei doch noch beiläufig bemerken, dass Plasma, welches man zu M. Schultzes Zeiten noch als „hyalin“ oder strukturlos bezeichnen konnte, dies unseren verbesserten optischen Hilfsmitteln gegenwärtig in den weitaus meisten Fällen nicht mehr ist, wie Müller aus Bütschlis Plasmawerk (24) erschen kann. Müllers mir erteilte Belehrung schliesslich, M. Schultze habe die Bewegung von Fremdkörpern bei Diatomeen und Rhizopoden einander direkt verglichen, erscheint einem Schüler Bütschlis gegenüber etwas überflüssig. Ich selbst habe den genannten Vorgang bei verschiedenen Rhizopoden öfters zu beobachten Gelegenheit gehabt, und kann Herrn Müller die Versicherung geben, dass in allen jenen Fällen, wo Körnchen an Pseudopodien von Rhizopoden fortbewegt werden, doch stets ohne weiteres das Substrat für die Körnchenbewegung, nämlich das Plasma der Pseudopodien zu erkennen ist, wohingegen das Substrat, welches die Tuschekörnchen nach der Zellmitte führt und das nach Müller ein Plasmaström sein soll, ohne Anwendung von Tusche absolut unsichtbar bleibt. Diese absolute Unsichtbarkeit in gewöhnlichem Wasser, weiterhin der auch von Müller beobachtete Umstand, dass nur kleine Tuschekörnchen am Rand des Stromes dahin-

¹⁾ Die betreffende wohl von O. Müller gemeinte Stelle in M. Schultzes Arbeit lautet: „Unter diesen Umständen bleibt also nur eine Annahme richtig, dass nämlich das längs der Raphe zu Tage tretende bewegte Protoplasma hyalin sei, vollkommen frei von erkennbaren Körnchen, etwa wie die Substanz der Pseudopodien der von mir beschriebenen *Gromia Dujardini* (Organismus der Polythalamien Taf. VII Fig. 1) oder der *Diffugien*.“ (l. c. pag. 302.)

gleiten, grössere Tuschebrocken oder Karminkörner in die lockere hyaline Masse einsinken und dann in unmittelbarer Nähe der Raphe der Zellmitte zugeführt werden, lässt sich doch mit den Eigenschaften eines Plasmastromes nicht in Einklang bringen. Hingegen deutet alles darauf hin, dass der zuführende Körnchenstrom in seiner ganzen Breite aus Gallerte besteht, welche an den Enden der Zelle durch die Öffnungen der Endknoten (speziell die „halbmondförmigen Polspalten“ Müllers) hervorgetrieben wird, in der Raphe sich centralwärts bewegt und noch ein Stück weit über dieselbe seitlich hervortritt. Nur dadurch, dass am Rande der strömenden Gallerte die benachbarten kleinen Tuschekörnchen mitgerissen werden, kann ihre Begrenzung und Bewegung an dieser Stelle überhaupt wahrgenommen werden, während das Innere der Gallerte in unmittelbarer Nähe der Raphe, in welches die kleinen Tuschekörnchen nicht eindringen, scheinbar ohne Bewegung verharrt, obwohl dasselbe natürlich ebenfalls in Bewegung begriffen ist, was sich aber bei der absoluten Durchsichtigkeit der Gallerte und bei dem Mangel als Stromweiser dienender Tuschekörnchen unserer unmittelbaren Wahrnehmung entziehen muss. Dass aber wirklich der ganze hyaline Saum, welcher über der Raphe zu beiden Seiten der sich bewegenden Pinnularia die Tuschekörnchen der Zellmitte zuführt, in seiner ganzen Breite in Bewegung begriffen ist, geht wohl zur Genüge daraus hervor, dass die Tuschekörnchen an seinem Rande, welche sich doch in einer gewissen Entfernung von der Raphe befinden, dennoch beim Dahingleiten den Biegungen der Raphe folgen und dass grössere in die Gallerte eingedrungene Tuschebrocken und Karminkörper in dieser entlang der Raphe gegen die Zellmitte geführt werden.

Wenden wir uns nun zu dem von dem vorderen Centralknotenkanal ausgehenden Faden, der nach Müllers oben citierter Auslassung ebenfalls aus Plasma bestehen soll. Dagegen spricht aber ganz entschieden der Umstand, dass der Körnchenfaden, nachdem er eine sehr beträchtliche Länge erreicht hat, oft abreisst und liegen bleibt, während an der vorderen Centralknotenöffnung neue Fäden gebildet werden. Wenn der Faden wirklich aus Plasma bestünde, so müsste bei einer länger andauernden Bewegung schliesslich doch ein ziemlich beträchtlicher Verlust an lebendiger Substanz eintreten, welche mit der Ökonomie einer einzelnen Zelle sich schwerlich in Einklang bringen lässt. Überhaupt muss ich gestehen, dass mir die Müllersche Erklärung der Fadenbildung recht unwahrscheinlich erscheint, denn wenn wirklich — wie es Müllers Ansicht ist — am vorderen Centralknotenkanal durch den zuführenden Körnchenstrom eine Aufstauung und Ansammlung von Protoplasma stattfinden soll, so ist es unbegreiflich, warum auch hier, wo doch sich grössere Massen von Plasma ansammeln, dieselbe ohne Anwendung von Tusche so vollständig unsichtbar bleiben sollten. Ausserdem darf hier wohl die Frage aufgeworfen werden, ob nicht der Eintritt des angesammelten Plasmas in den sehr engen Centralknotenkanal Wirbelbewegungen der umgebenden Flüssigkeit zur Folge haben müsste.

Müller nimmt auch Anstand an der Bezeichnung, dass der Gallertfaden aus dem vorderen Centralknotenkanal raketenartig hervorschiesset, da durch letzteren ja

der vordere aus Plasma bestehende Körnchenstrom in das Zellinnere zurückfließe und dadurch bei dem engen Lumen des Kanals der Austritt eines zweiten in entgegengesetzter Richtung fließenden Stromes (= des Fadens) ausgeschlossen sei.

Diesem Einwurf liesse sich eine Berechtigung nicht absprechen, wenn wirklich mit aller Sicherheit nachgewiesen wäre, dass der vordere Körnchenstrom thatsächlich in den engen Centralknotenkanal eintritt. Dieser Nachweis scheint mir aber noch keineswegs erbracht, ganz abgesehen davon, dass das Hindurchzwingen eines plasmatischen Stromes von der Mächtigkeit des zuführenden Körnchenstroms — letzterer nimmt nämlich, wie man bei Ansicht von der Schalenseite sieht, den ganzen rechts und links von den Riefen begrenzten Streifen zu beiden Seiten der Raphe ein — durch einen so engen Kanal, wie der Centralknotenkanal es ist, schon von vornherein sehr wenig wahrscheinlich erscheint, und sich einem solchen Vorgange — soweit meine Kenntnis reicht — kaum etwas Entsprechendes von anderen Plasmaströmungen zur Seite stellen lassen würde. Nun fragt sich aber doch, ob wirklich dem vorderen Körnchenstrom, falls er, was ich sehr bezweifle, wirklich in das Zellinnere zurückfließen sollte, nur ein Weg, nämlich der Centralknotenkanal offen stehen würde. Müller ist zu dieser Annahme gezwungen, da nach seinen früheren Untersuchungen (93) die Raphe in ihrer ganzen Ausdehnung gegen das Zellinnere abgeschlossen sein soll, wie dies bereits Flögel (46) dargestellt hatte. Nun glaube ich mich aber an meinen Schnitten durch die Pinnularia-Zelle überzeugt zu haben, dass die Raphe auch nach dem Zellinnern zu offen ist und somit die Zellmembran als ein im Querschnitt oft winkelig gebrochener Spalt durchsetzt¹⁾. Es könnte somit der vordere Körnchenstrom, wenn er in das Innere eintritt, schon in unmittelbarer Nähe des Centralknotenkanals und des daraus hervorschiessenden Fadens aber doch noch vor demselben die Oberfläche der Zelle verlassen, da der Centralknotenkanal in seinem äusseren, peripheren Teil mit der nach innen offenen Raphe in unmittelbarer Verbindung steht und nur in seinem dem Zellinnern zugekehrten Teil als wirklicher röhrenförmiger Kanal den gewölbten Centralknoten durchsetzt. Das ganze Phänomen der Fadenbildung macht auf den unbefangenen Beobachter den Eindruck, als wenn, wie geschildert, aus dem Centralknotenkanal ein Faden raketenartig hervorgetrieben würde; damit steht auch in Übereinstimmung, dass die sehr geringe Dicke des Gallertfadens, soweit sich dies beurteilen lässt, dem engen Lumen des Kanals entspricht.

Wenn nun auch der Faden aus dem vorderen Centralknotenkanal hervorschießt, so kann er doch sehr wohl eine Beziehung zu dem vorderen Körnchenstrom haben, wie ich Müller gegenüber betone. Der vordere Körnchenstrom liefert eben das Material zur Bildung des Fadens, indem er die von Plasma der ganzen Zelle erzeugte Gallerte auf einer bestimmten Bahn, der Raphe, genau zu jenem Punkte hinführt, wo die Bildung des Fadens vor sich geht, nämlich zum centralen Endpunkt der jeweils vorderen Raphe. Damit würde sich der „genetische Zusammenhang“ von Körnchen-

¹⁾ Vergl. diese Arbeit pag. 12, sowie Taf. I Fig. 1-7.

strom und Faden, sowie die gegenseitige Abhängigkeit beider von einander erklären. Für die Mechanik des ganzen Vorganges scheint es mir nicht ohne Bedeutung, dass die Gallerte an Punkten austritt, wo sich grössere Ansammlungen von Plasma befinden, nämlich an den Enden der Zelle, und dann nach jenem Punkte geführt wird, wo sich die Hauptmasse des Plasmas mit dem Kern befindet und wo der Centralknotenkanal, aus dem der Faden hervorschießt, sich tief in das Plasma einsenkt. Allerdings bleibt hierbei — und das gebe ich gerne zu — die Art und Weise, wie aus der zugeführten sehr lockeren und jedenfalls sehr flüssigkeitsreichen Gallerte ein dünner, raketentartig hervorschießender Faden gebildet wird, vorläufig noch etwas dunkel und noch näher zu untersuchen; ob dies aber schon mit den Hilfsmitteln, die man bis jetzt bei Studium der Diatomeenbewegung in Anwendung brachte, sich erreichen lässt, dürfte noch einigermaßen zweifelhaft sein.

Die Bildung eines sich bei der ruckweisen Bewegung der Diatomee ebenfalls ruckweise nach hinten verlängernden Gallertfadens ist bis jetzt nur bei wenigen Arten der Gattung *Pinnularia*, nämlich bei jenen aus der Formenreihe *P. viridis-maior-nobilis* beobachtet worden, die allein auch eine Gallerthülle mit den in vorstehendem geschilderten Eigenschaften erkennen liessen. Andere Diatomeen dagegen, welche sich mindestens ebenso lebhaft bewegen wie die genannten drei Formen, so schon *Pinnularia oblonga*, dann die Gattungen *Navicula*, *Pleurosigma*, *Nitzschia* u. s. w., liessen, soweit untersucht, selbst bei andauernder Verfolgung in Tuscheemulsion weder eine Gallerthülle¹⁾ noch einen Faden erkennen. Bei ihnen dringen die kleinen Tusche-körnchen allseitig bis in die unmittelbare Nähe des Kieselpanzers heran und werden hart an der Raphe oft mit grosser Lebhaftigkeit verschoben, wie dies ja schon von zahlreichen Beobachtern gesehen und geschildert worden ist. Trotz angestrenzter Aufmerksamkeit hat es mir auch bei Anwendung ausgezeichneter Apochromate bis jetzt nie gelingen wollen, nachzuweisen, dass irgend etwas — sei es nun Gallerte oder Plasma — aus der offenen Raphe hervortritt, wenigstens nicht soviel, dass es sich mit unseren jetzigen optischen Hilfsmitteln erkennen liesse²⁾. Halten wir diesen negativen Befund mit dem Umstand zusammen, dass bei den genannten Gattungen die hin- und hergleitenden Fremdkörper die Raphe gewöhnlich direkt berühren, so wird wohl der Schluss unabweisbar, dass die die Verschiebung der Fremdkörper bewirkende Substanz sich innerhalb der spaltenförmigen Raphe bewegt und für gewöhnlich nach aussen nicht weiter vordringt, als die verkieselten Wandungen der Raphe (resp. der anderen spaltförmigen Durchbrechungen der Zellwand wie Flügelschneiden von *Suriella*, Kiele von *Nitzschia*) sich erstrecken.

1) Eine hyaline Gallerthülle sah ich oft bei der Taf. II Fig. 19 abgebildeten *Cymbella cuspidata*.

2) Nur bei *Nitzschia sigmoidea* habe ich oft unregelmässig gestaltete lockere Gallertklümpchen beobachtet, welche unmittelbar an den Kielen mit grosser Lebhaftigkeit hin- und herbewegt wurden und die wohl sicher dem Innern der Zelle entstammten.

Kann nun aber, so darf man wohl mit Recht fragen, eine innerhalb der engen Raphe dahinströmende Substanz (es bleibe hier vorläufig dahingestellt, ob es Gallerte oder Plasma ist), welche das umgebende Medium nur mit einem sehr schmalen Streifen ihre Oberfläche berührt, auch die Lokomotion der ganzen Zelle bewirken?

Ich glaube diese Frage nach reiflicher Überlegung mit Ja beantworten zu können. Wenn vom Zellinnern aus eine klebrige Substanz mit grosser Gewalt in die nach aussen offene Raphe hineingetrieben wird und in dieser dann mit einer gewissen Geschwindigkeit nach einer bestimmten Richtung dahinströmt, so dürfte die von der strömenden Substanz an ihrer Berührungsfläche mit dem umgebenden Wasser entfaltete lebendige Kraft genügen, um den Reibungswiderstand des umgebenden Wassers zu überwinden und die ganze Zelle nach der Richtung hin fortzubewegen, welche derjenigen der in der Raphe vorherrschenden Strömung gerade entgegengesetzt ist.

Dass daneben auch noch eine Fortbewegung mittelst einer Art von Rückstoss wie sie von den Diatomeen besonders für *Pinnularia* wahrscheinlich zu machen gesucht wurde, sehr wohl möglich ist, geht daraus hervor, dass ein bis zu einem gewissen Grade übereinstimmendes Prinzip sogar in der Nautik zur Fortbewegung grosser Schiffe Anwendung gefunden hat. Ich meine hier das Prinzip der sogenannten „hydraulischen Reaktion“ oder des „Wasserpralls“, eine Erfindung des englischen Ingenieurs Ruthven, mit der man selbst Panzerschiffe mit einer ziemlichen Geschwindigkeit fortzubewegen imstande ist. Nach R. Werner¹⁾ ist das Prinzip der hydraulischen Reaktion folgendes: „Die im Schiff befindliche Dampfmaschine treibt anstatt einer Rad- oder Schraubenwelle eine Centrifugalpumpe, welche ihr Wasser durch Öffnungen im Boden des Schiffes empfängt und dasselbe als einen dauernden Strom von grosser Geschwindigkeit und entsprechender Mächtigkeit durch zwei Röhren wieder fortschleudert. Diese Röhren führen nach beiden Seiten aussenbords in der Mitte des Schiffes und münden dort in der Nähe der Wasserlinie in ein anderes Rohr, das parallel dem Schiff eng an dessen Seiten anliegt und sich sowohl nach hinten als nach vorn öffnet. Ein Ventil von besonderer Konstruktion leitet den Weg des ausströmenden Wassers, und ein einfaches Hebelwerk setzt den kommandierenden Offizier auf dem Oberdeck in den Stand, je nach Belieben durch einen Druck das Wasser nach hinten oder nach vorn ausströmen zu lassen.

Die günstigste Lage der Röhren aussenbords ist gerade über der Wasserlinie, jedoch macht es nach den angestellten Versuchen wenig Unterschied, wenn sie einige Fuss unter dem Wasserspiegel münden. Die Wirkung des ausströmenden Wassers auf die Fortbewegung des Schiffes erklärt sich dem Laien am einfachsten aus einem volks-

¹⁾ Die hier gemachten Angaben sind, da mir momentan nichts anderes zur Hand ist, dem populären „Buch von der Deutschen Flotte“ des Contreadmirals a. D. Werner entnommen, dürften aber für meine Zwecke wohl genügen.

tümlichen Beispiele. Steigt man aus einem Boote ans Land, und wird dasselbe am Ufer nicht festgehalten, so wird es durch den Druck des Fusses regelmässig vom Ufer zurückliegen. Der Wasserstrahl ist nun der fortdauernde Druck des Fusses und das Schiff das dadurch beständig ausgleitende Boot, dessen Geschwindigkeit um so mehr wächst, je heftiger der Druck ist. . . . Das Schiff kann stillstehend sich um seine Achse drehen, indem man auf der einen Seite das Wasser nach vorn, auf der anderen nach hinten ausströmen lässt, wenngleich dies Manöver infolge des verhältnismässig kurzen Hebelarms zwischen den beiden Ausflussröhren nicht sehr schnell von statten geht. Es kann durch Umkehren der Ventile so schnell wie kein anderes Dampfschiff zum Stillstande und Rückwärtsgehen gebracht werden, ohne dass die Maschine irgendwie ihren Gang ändert¹⁾ u. s. w.

Wenn man in einem Wassertropfen eine Anzahl in Bewegung begriffener Diatomeen betrachtet, wie sie bald lebhaft ruckweise dahingleiten, bald plötzlich stille liegen oder ohne weiteres die Richtung ihrer Bewegung im entgegengesetzten Sinne ändern, ohne dass es selbst mit den besten Linsen gelingt, auf der Aussenfläche der Zelle besondere Lokomotionsorgane wahrzunehmen, welche die Verschiebung der Fremdkörper längs der Raphe bewirken; wenn sich dann an einer der grossen *Pinnularia*-Arten in Tuscheemulsion das Spiel des zuführenden Körnchenstromes längs der Raphe und dann besonders die Ausstossung des Gallertfadens immer nach jener der eben eingehaltenen Bewegungsrichtung der Diatomee gerade entgegengesetzten Richtung hin enthüllt — so wird man nach der eben mitgeteilten Schilderung, glaube ich, zum mindesten die Möglichkeit einer prinzipiellen Ähnlichkeit in der Art der Bewegung der ja ebenfalls schiffchenförmigen Zellen einer *Pinnularia* und dann wohl auch *Navicula*, *Pleurosigma* etc. mit derjenigen eines durch „hydraulische Reaktion“ fortgetriebenen Schiffes zugeben müssen. Wenn man dann weiterhin den Bau der Raphe sich bewegender Diatomeen untersucht und sieht, wie dieselbe trotz ihrer bei den verschiedenen Diatomeengattungen oft recht wechselnden Ausbildung²⁾ doch überall ihre Eigenschaft als Leitungsbahn für Strömungen nicht verkennen lässt, deren Vorhandensein, Richtung und Intensität sich durch die Fortbewegung von Fremdkörpern längs der Raphe dokumentirt, so wird die Ähnlichkeit der Bewegungsmechanik zwischen einer Diatomee und dem Schiffe vielleicht noch mehr in die Augen springen, besonders wenn man sich dabei noch vergegenwärtigt, dass der Turgor der Diatomeenzelle — der nach Müller (93) bei *Pinnularia* 4—5 Atmosphären betragen soll! — eine der Dampfmaschine des Schiffes vergleichbare Kraftquelle repräsentiert, welche sowohl vollkommen genügen dürfte, um Strömungen einer

1) Der Hinweis auf das durch hydraulische Reaktion fortbewegte Schiff dürfte ausreichend sein, um die Zweifel zu beseitigen, welche Müller und besonders Hauptfleisch (57) bezüglich der Möglichkeit einer Bewegung durch einen hervorschiessenden Gallertfaden (wie bei *Pinnularia*) geäussert hatten.

2) Man vergl. z. B. einmal den relativ einfachen Bau der Raphe einer *Stauroneis* oder einer *Navicula cuspidata* mit dem so komplizierten einer *Pinnularia* und dann diese wieder mit den Kielen einer *Nitzschia* oder den Flügeln einer *Surirella*, entlang welcher ebenfalls wie bei der Raphe die Verschiebung von Fremdkörpern erfolgt.

klebrigen Substanz in die (den Röhren des Schiffes entsprechende) Raphe zu pressen und in dieser mit grosser Intensität nach einer bestimmten Richtung hinzubewegen, als auch bei *Pinnularia* den Gallertfaden mit genügender Gewalt aus dem Centralknotenkanal hervorschiessen zu lassen. Ein Unterschied in der Wirkung der Bewegungseinrichtungen besteht zwischen dem Schiffe und der Diatomee – wenn wir natürlich von der Verschiedenheit der in beiden Fällen strömenden Substanzen absehen – vor allem darin, dass bei dem Schiffe das Wasser in einer nur an den Enden offenen Röhre fortgetrieben wird und nur an seinen Austrittstellen durch Rückstoss auf das umgebende Medium einwirkt und zwar nach Massgabe des Querschnittes der in der Röhre fliessenden Wassersäule sowie der dieser erteilten Geschwindigkeit, während bei der Diatomee die Strömung in einer Rinne verläuft und somit die strömende Substanz auf ihrem ganzen Wege nach Massgabe der Ausdehnung ihrer Berührungsfläche mit dem umgebenden Medium sowie der ihr erteilten Geschwindigkeit auf das umgebende Wasser einwirken und so den Reibungswiderstand des umgebenden Mediums überwinden kann.

Ist die hier vertretene Auffassung, dass bei den Gattungen *Navicula* (*s. str.*), *Pleurosigma*, *Nitzschia* und ähnlichen Formen die innerhalb der offenen Raphe verlaufenden Ströme genügen, um die ganze Zelle fortzutreiben, richtig, so würde es sich in sehr einfacher Weise erklären, warum es trotz zahlreicher Bemühungen bis jetzt noch nie in einwandfreier Weise gelungen ist, strömendes Plasma auf der Oberfläche des Kieselpanzers längs der Raphe nachzuweisen, wie es Müller für seine Theorie der Diatomeebewegung postuliert. Der Umstand, dass bei mehreren Arten von *Pinnularia* ein nach hinten ziehender Körnchenstrom sowie ein Gallertfaden beobachtet wurden, welcher letzterer sich in ziemlicher Entfernung von der Oberfläche des Kieselpanzers dahinbewegt, dürfte sich kaum als Einwand gegen das Ebengesagte geltend machen lassen, da dieses Verhalten jedenfalls mit der reichlichen Gallertproduktion der betreffenden Arten im Zusammenhang steht; ja ich glaube sogar, dass die Bildung eines nach aussen vortretenden Fadens sich direkt zu Gunsten meiner Auffassung verwerten lässt. Denn das Sichtbarwerden eines Fadens bei *Pinnularia* dürfte seinen Grund wohl darin haben, dass infolge der reichlichen Schleimabsonderung, welche in der Regel die Zellen umhüllt, der Faden nicht in der Raphe verlaufen kann, sondern gezwungen ist, sich über die Gallertschicht zu erheben, um überhaupt seine Wirksamkeit am umgebenden Wasser entfalten zu können. In jenen relativ seltenen Fällen, wo bei *Pinnularia* ein Faden nicht sichtbar wurde, trotzdem die Diatomee sich vorwärts bewegte, wäre an die Möglichkeit zu denken, dass die in der Raphe von vorne nach hinten fliessenden und seitlich aus ihr heraustretenden Gallertströme allein genügen, um die Zelle eine Zeitlang nach einer bestimmten Richtung hin fortzubewegen.

Es braucht wohl nicht besonders betont zu werden, dass eine Fortbewegung der ganzen Zelle nur dann möglich ist, wenn alle oder doch die mit der grössten

Energie ausgestatteten Strömungen in einem der Bewegungsrichtung entgegengesetzten Sinne verlaufen, wie wir aus dem Verlauf des zuführenden Körnchenstromes und der Richtung des austretenden Gallertfadens bei *Pinnularia* entnehmen können. Ist dagegen die Richtung der Strömungen auf beiden Schalenhälften eine entgegengesetzte, so muss sich die Wirkung der Strömungen gegenseitig kompensieren und die Diatomee bleibt am Platze liegen oder dreht sich event. um ihre Achse, gerade wie das Schiff, von dem oben die Rede war und wie man es manchmal in der That bei *Pinnularia* beobachtet. Es kann übrigens auch vorkommen, dass sämtliche Strömungen nach ein und derselben Richtung ihre Wirksamkeit entfalten, ohne dass die Diatomee vom Platze rückt, wie aus dem Verhalten von *Pinnularia* hervorgeht, wo manchmal auch an stillliegenden Zellen Körnchenstrom und Faden in ganz normaler Weise verlaufen; in diesen Fällen reichte die Intensität der Gallertströme wohl hin, um die geschilderten Phänome längs der Raphe hervorzurufen, war aber doch nicht genügend, um auch den Widerstand des umgebenden Wassers zu überwinden und somit die ganze Zelle fortzubewegen.

In vorstehendem habe ich, soweit es sich um die Gattungen *Navicula* (*s. str.*), *Pleurosigma*, *Nitzschia* etc. handelt, die Strömungen innerhalb der Raphe als aus einer „klebrigen Substanz“ bestehend bezeichnet, da ich für die genannten Formen vorläufig noch unentschieden lassen wollte, ob es sich bei ihnen um Plasma oder um Gallerte handelt und da es in der That recht schwer hält, über die Natur der strömenden Substanz ein abschliessendes Urteil zu fällen. Zugegeben muss zunächst werden, dass in der Raphe strömendes Plasma denselben mechanischen Effekt haben würde, wie strömende Gallerte. Trotzdem scheint mir die Annahme nicht zu gewagt, dass auch in jenen Fällen, wo die Strömung **innerhalb** der Raphe verläuft, es sich wie bei *Pinnularia*, um Gallerte handelt. Ein direkter Beweis für diese Auffassung lässt sich allerdings für die Gattungen *Navicula*, *Pleurosigma* und *Nitzschia* noch kaum geben, da bei dem Bau und dem engen Lumen der Raphe dieser Formen eine direkte Untersuchung der in ihr fließenden Substanz ausgeschlossen sein dürfte.

Dagegen will mir nun aber scheinen, als wenn eine Entscheidung in der Frage, ob Gallerte oder Plasma, sich wenigstens bis zu einem gewissen Grade bei der Gattung *Surirella* erreichen liesse. Wie schon seit längerer Zeit bekannt ist, erfolgt bei dieser Gattung die Verschiebung von Fremdkörpern längs der Schneide der vier flügelartigen Fortsätze, deren Bau ich im ersten Abschnitt dieser Arbeit eingehender geschildert habe. (Vergl. pag. 15–16, Taf. I Fig. 8–12.) Wie sich aus den citierten Abbildungen ersehen lässt, wird jeder der vier Flügel an seinem Rande von einem im Querschnitt kreisförmigen Kanal durchzogen, der in seiner ganzen Erstreckung längs der Schneide des Flügels sehr schmal spaltenförmig durchbrochen ist und dem über diesem Spalt noch eine überaus enge Rinne aufsitzt, entlang welcher, wie bei der Raphe anderer Diatomeen, anhaftende Fremdkörper mehr oder weniger lebhaft hin und herbewegt werden. Dieser Längskanal steht mit dem Zellinnern durch eine Anzahl kurzer und weiter Querkana-

in Verbindung, in welche sich Fortsätze der lappigen Chromatophoren hinein erstrecken. Untersucht man nun an lebenden Surirellen den Inhalt beider Kanäle etwas genauer, so fällt sofort ein grosser Unterschied auf. In allen den zahlreichen Querkanälen tritt das Plasma, welches die Chromatophoren umhüllt, ausserordentlich deutlich hervor und lässt schon im Leben eine ausgesprochene grob fibrillär-wabige Struktur erkennen, wie die Abbildung Fig. 9 Taf. I wohl zur Genüge zeigt. Die Deutlichkeit dieser Struktur erstreckt sich jedoch nur soweit, als eben der Querkanal reicht; da wo derselbe in den randlichen Längskanal einmündet, verschwindet die Struktur völlig und der Längskanal zeigt sich in seinem ganzen Verlaufe erfüllt von einer Substanz, welche im Leben vollkommen hyalin erscheint und selbst bei Anwendung stärkster Linsen kaum irgend eine Struktur erkennen lässt. Durch dieses Verhalten steht der Inhalt des Längskanals in scharfem Gegensatze zum gesamten Plasma des übrigen Zellinnern, dessen netzig-wabige Struktur gewöhnlich schon im Leben mit der wünschenswerten Deutlichkeit hervortritt. Diese Substanz des Flügellängskanals muss es nun sein, welche die an der durchbrochenen Schneide der Flügel anhaftenden Fremdkörper verschiebt; niemals gelang es indessen im Kanale selbst auch nur die Andeutung einer Strömung zu sehen. Man kann den Inhalt des Randkanals überhaupt nur dadurch direkt zur Anschauung bringen, indem man die Surirellen sehr intensiv mit Anilinfarben (ich verwandte Thionin, Methylviolett — tingiert¹⁾); dann tritt derselbe als ein körniger kontrahierter Strang in Erscheinung, von dem die fibrillären Plasmazüge der Querkanäle in der Regel lossgerissen sind. Die absolute Unsichtbarkeit im Leben, ferner die Eigenschaft sich in den gebräuchlichen Färbungsmitteln nur schwer zu tingieren, scheint mir dafür zu sprechen, dass der Randkanal im Leben erfüllt ist von einer durchaus hyalinen sehr flüssigkeitsreichen gallertartigen Substanz, welche die Verschiebung der Fremdkörper längs der Flügelschneiden bewirkt.

Die hier vertretene Auffassung der Diatomeenbewegung durch von Plasma secernierte Gallerte, welche in der Regel innerhalb der Raphe dahinfliesst und, soweit bis jetzt bekannt, nur bei einigen Formen der Gattung *Pinnularia* in bedeutenderen Massen aus derselben hervortritt, dürfte auf den ersten Blick vielleicht einiges Befremden erwecken, namentlich was die Gallernatur der Strömungen anbelangt. Man muss sich indessen vergegenwärtigen, dass zahlreiche Beobachtungen an der Fähigkeit der Diatomeen, unter Umständen sehr ansehnliche Gallertmassen zu produzieren, keinen Zweifel bestehen lassen. So giebt es — um nur einige Beispiele herauszugreifen — eine ziemliche Anzahl Formen, bei denen die einzelnen Zellen zu oft recht ansehnlichen Verbänden von mannigfacher Gestalt vereinigt sind, welche durch Gallertausscheidungen zusammengehalten werden (*Encyonema*, *Schizonema*, *Mastogloia* etc.). Bei

¹⁾ Bei diesen Färbungsversuchen standen mir nur Exemplare von *Surirella biseriata* zur Verfügung, bei der die oben geschilderten plasmatischen Verhältnisse der Flügelkanäle lange nicht so schon zu beobachten sind, als bei *Surirella calcarata*. Letztere Art ist leider seit 1895 nicht mehr zur Beobachtung gelangt.

anderen Formen sitzen die Zellen auf oft recht langen Gallertstielen, wie bei *Achnanthes*, *Gomphonema*, für welche letztere Gattung Klebs (77) die Abscheidung der Gallerte durch das Cytoplasma doch so gut wie erwiesen hat. Schliesslich sei auch noch auf die Vorgänge bei der Auxosporenbildung hingewiesen, bei welcher zahlreiche sonst schleimfreie Diatomeen sehr lebhaft Gallerte ausscheiden, unter deren Schutze dann die Auxosporenbildung vor sich geht.

Das übrigens die grosse Mehrzahl unserer grundbewohnenden Diatomeen zu Zeiten Gallerte in kleineren oder grösseren Quantitäten ausscheidet, geht auch noch aus folgendem hervor. Jedem, der Diatomeen an ihren natürlichen Aufenthaltsorten beobachtet und gesammelt hat, ist es bekannt, dass dieselben da, wo sie ohne erhebliche Beimischung anderer Organismen vegetieren, oft den Schlamm mit einem braunen Überzug bedecken. Infolge reichlicher Sauerstoffentwicklung reissen nun, besonders in kleineren stark von der Sonne bestrahlten Tümpeln, von diesen Überzügen kleinere oder grössere Fetzen los und werden durch die Gasblasen zum Wasserspiegel emporgehoben. Nimmt man ein solches Stückchen zwischen die Finger, so fühlt sich dasselbe stets schlüpfrig oder schleimig an; es werden also die an und für sich minimalen Gallertumhüllungen der einzelnen lebenden Zellen durch ihre Masse direkt für unser Gefühl bemerkbar. Auch in Kulturgefässen bilden grosse Mengen von Diatomeen auf der Oberfläche des Schlammes bald ein olivenbraunes schlüpfriges Häutchen, von dem sich leicht kleine Stücke mit einer Pincette abziehen lassen. Unter dem Mikroskope sieht man dann oft die schon von Max Schultze beobachtete Erscheinung, dass an den hin und hergleitenden Diatomeen manchmal recht ansehnliche Fremdkörper festkleben und von den sich bewegenden Zellen nachgeschleppt werden, ohne dass es gelingt, das Band, welches die Diatomee und den oft in einiger Entfernung davon befindlichen Fremdkörper verknüpft, direkt wahrzunehmen. Zusatz einer konzentrierten Tuschelösung lässt jedoch bald erkennen, dass es sich auch hier um eine hyaline Gallerte handelt. In solchen Tuschepräparaten bemerkt man auch nach einiger Zeit, wenn sich die kleinen Tuschekörnchen auf den Objektträger abgesetzt haben, oft förmliche Kriechspuren der sich bewegenden Diatomeen, indem diese auf ihrem Wege in der dunklen Masse der angesammelten Tuschekörnchen helle Furchen ziehen, welche die zurückgelegte Strecke bezeichnen. Diese Erscheinung habe ich besonders schön bei *Pinnularia viridis-maior-nobilis* gesehen, welche mit ihrer ansehnlichen Gallertumhüllung ihre Bahn besonders rein kehren; auch Hauptfleisch (57) hat sie gesehen und geschildert. Er vergleicht das erhaltene Bild ganz zutreffend mit dem, welches man erhält, wenn man mit einem Pinsel vorsichtig auf einer bestaubten Platte hin und her fährt. Hauptfleisch hat, wie ich noch besonders hervorheben will, auch erkannt, dass die von den Diatomeen bei ihrem Dahingleiten nachgeschleppten Fremdkörper durch Gallerte festgehalten sind, und nicht durch Plasma, wie Max Schultze und Pfitzer (101) angenommen hatte.

Eine Bewegung mit Hilfe secernierter Gallerte, welche mit derjenigen der Diatomeen manche Berührungspunkte darbietet, findet sich auch noch bei anderen Organismen

und zwar sowohl des Pflanzen- als auch des Tierreiches. Seit längerer Zeit bekannt ist die Absonderung eines Gallertfadens der kriechenden Desmidiaceen, mit dessen Hilfe sich die Zellen an den Glaswänden der Kulturgefäße emporheben können, wie Klebs (177) entdeckt hat. Die abgeschiedene Gallerte ist wie diejenige der Diatomeen vollkommen hyalin und darum in reinem Wasser ohne Anwendung besonderer Färbemittel unsichtbar. Sie tritt jedoch, wie ich mich bei *Closterium* überzeugte, auch bei den horizontal kriechenden Zellen sehr deutlich hervor, wenn man die Desmidiacee in eine konzentrierte Tuschelösung bringt: sie hebt sich dann vom dunklen Untergrund als heller Streifen ab, welcher vom hinteren Ende der Zelle ausgeht und sich immer mehr verlängert, je weiter sich die Desmidiacee fortbewegt. Der Austritt der vom Plasma secernierten Gallerte geschieht durch Poren, welche bei *Closterium* die verschmälerten Zellenden einnehmen und diese hier siebartig durchbrechen.

Ähnliche Beobachtungen konnte ich auch an Oscillarien machen, an welchen schon Siebold (132) das Ankleben von Fremdkörpern und deren Fortführung in spiralen Bahnen längs des Algenfadens beobachtet hat¹⁾. Ich habe in meiner vorläufigen Mitteilung folgendermassen über meinen Befund berichtet. Bringt man Oscillarien und zwar wie ich hier beifüge, scheidungslose Arten — in stark mit feim zerriebener Tusche versetztes Wasser, so beginnt bald um den Algenfaden ein sehr schmaler hyaliner Saum zu erscheinen, entlang welchem oft die Tuschekörnchen und -brocken in spiralförmigen Bahnen nach hinten geführt werden. Sobald nun die Oscillarie anfängt vorwärts zu gleiten, tritt an ihrem Hinterende ein heller Schleimstreifen auf, der sich immer mehr verlängert, je weiter sich die Oscillarie von ihrem Ausgangspunkt entfernt. Übrigens scheint dieser Schleimfaden keineswegs solid zu sein, sondern vielmehr eine gallertige Röhre, die in ihrem Verlaufe oft spiralförmig gedreht erscheint und deren Länge schliesslich diejenige des sie secernierenden Oscillarienfadens oft um das fünf- bis sechsfache übertreffen kann. Dass es sich hierbei wirklich um Abscheidung einer gallertartigen Substanz handelt, geht daraus hervor, dass der Schleimstreifen in seiner ganzen Ausdehnung öfter mit Tuschebrocken besetzt ist und dass er sich in verschiedenen Anilinfarben lebhaft tingiert; auch nach der Einlagerung eines Eisenoxydsalzes und nachträglicher Behandlung mit Ferrocyankalium nimmt er eine deutlich blaue Färbung an.

Es schiebt sich also der Oscillarienfaden durch die an seiner Oberfläche abgeschiedene und in spiralförmigen Bahnen nach hinten ziehende Gallerte, die hinten zu einem Faden zusammenschliesst, weiter, was sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung geschieht, wobei der Faden jedoch, soweit wenigstens meine Beobachtungen

1) W. Engelmann (36) versuchte das von M. Schultze als Ursache der Diatomeenbewegung nur erschlossene Plasma an den sich ähnlich bewegenden Oscillarien wirklich sichtbar zu machen, indem er auf dieselben kräftige Induktionsschläge einwirken liess. Nach einige Sekunden anhaltendem Tetanisieren konnte er dann an der Oberfläche der Oscillaria-Fäden eine feine, aber sehr scharfe, stellenweise selbst körnige Linie wahrnehmen, an welcher auch die Fremdkörper anklebten. Engelmann hielt diese Linie, welche meiner Auffassung nach den Durchschnitt einer sehr dünnen Gallertschicht darstellt, für den Ausdruck einer sehr dünnen Plasmaschicht auf der Oberfläche der Oscillarien und vermutete eine solche auch für die Diatomeen.

reichen, immer eines festen Substrates bedarf. Durch die Abscheidung der Gallerte an der Oberfläche des *Oscillaria*-Fadens, muss der Gallertstreifen schlauchförmige Gestalt annehmen. Dass dem wirklich so ist, geht aus dem nach hinten sich zuspitzenden Tuschestreifen hervor, welcher gewöhnlich dem Hinterende des Fadens ansitzt und beiderseits von einer hellen Linie, den im optischen Durchschnitt gesehenen Wandungen des Gallertschlauches, begrenzt ist; in noch weiterer Entfernung sinkt jedoch der Schlauch in sich zusammen und präsentiert sich in Gestalt eines gewöhnlich mehrfach gewundenen hellen Streifens. (Fig. 150 Taf. X.)

Auch den Protozoën angehörige Organismen, nämlich die Gregarinen, zeigen eine Art und Weise der Bewegung, welche mit der eben geschilderten der Oscillarien die grösste Ähnlichkeit hat. Nach Schewiakoffs (121) Untersuchungen, sondern nämlich diese parasitischen Protozoen - deren Bewegung übrigens schon früher von Bütschli (20) mit derjenigen der Diatomeen verglichen worden war - beim Dahingleiten ebenfalls einen langen Gallertstreifen ab, der sich mit Hilfe von Tuscheemulsion oder entsprechende Färbung sichtbar machen lässt. Bezüglich weiterer Details muss ich auf Schewiakoffs Arbeit, besonders auf die derselben beigegebenen Abbildungen verweisen, aus welchen die sehr weitgehende Übereinstimmung mit den entsprechenden Verhältnissen der Desmidiaceen und Oscillarien sich auf das deutlichste erkennen lässt.

Auf den vorstehenden Seiten habe ich bei der Darlegung meiner Untersuchungen mehr als einmal Veranlassung nehmen müssen, mich gegen Behauptungen O. Müllers auszusprechen, besonders was dessen Angaben über Plasmaströme, die auf der Oberfläche des Kieselpanzers verlaufen sollen, anbelangt. Wenn ich hierbei etwas ausführlicher geworden bin, so hat dies seinen Grund darin, dass die Ansichten eines Forschers wie Müller, dem wir über den feineren Bau der verkieselten Zellmembran so eingehende und zuverlässige Untersuchungen verdanken, jedenfalls eingehende Beachtung verdienen, auch wenn man in Bezug auf die Diatomeenbewegung oft anderer Ansicht ist. Weit kürzer als bei Müller kann ich mich Hauptfleisch (57) gegenüber fassen, welcher ebenfalls Untersuchungen über die Bewegung der Diatomeen angestellt hat, dabei jedoch zu Resultaten gekommen ist, welche mit allen anderen Erfahrungen in direktem Widerspruch stehen. Ich bemerke hierbei, dass ich von einer Kritik der Beobachtungen Hauptfleischs an *Amphiprora*, *Amphicyma* und *Brebissoma* absehe, da ich diese Formen nicht aus eigener Anschauung kenne, sondern mich nur an die Angaben über *Pinnularia* halte. Während man bisher gerade bei dieser Gattung die Lokomotionsorgane in der Nähe der Raphe gesucht hat, will Hauptfleisch die Bewegungsorgane in fädigen Plasmaorganen nachgewiesen haben, die an den „Längskanten“ der Diatomee durch Poren austreten sollen. Da nach Hauptfleisch bei der Bewegung der *Pinnularia* stets zwei „Längskanten“ mit der Unterlage in Berührung stehen, so können mit den „Längskanten“ nur jene gerundeten Übergangszonen zwischen Gürtel- und Schalenseiten gemeint sein, welche den Eingang in die Riefenkammern überwölben. An diesen Stellen sind aber gar keine Durchbrechungen der Zellwand in irgend einer Gestalt vor-

handen, wie ich an meinen Schnitten mit aller Sicherheit feststellen konnte und wie aus dem von mir in dieser Arbeit Taf. I Fig. 1 wiedergegebenen Querschnitt durch Pinnularia zur Genüge hervorgeht. Die in Hauptfleischs Fig. 10 dargestellten „durch die Poren austretenden Plasmaknöpfchen“ machen durch ihre Gestalt und regelmässige Anordnung ganz den Eindruck, als wenn sie nur die in die Riefenkammern eintretenden Fortsätze des plasmatischen Zelleibes wären, welche sich kontrahiert und stark gefärbt von der Gürtelseite aus ganz ähnlich präsentieren, wie es Hauptfleisch auf seiner Figur wiedergegeben hat. Auffallend ist mir hierbei nur, dass Hauptfleisch die „Plasmaknöpfchen“ über die Zelle vortretend zeichnet, während sie doch in Wirklichkeit nach aussen stets von dem Kieselpanzer umschlossen sein müssen, wenn meine Deutung, woran ich nicht zweifle, der Wirklichkeit entspricht.

Nachschrift.

Nach der Ausarbeitung des vorstehenden Abschnittes erschienen zwei weitere Abhandlungen O. Müllers über die Bewegung der Diatomeen¹⁾, auf welche ich in folgendem noch mit einigen Worten eingehen möchte.

Müller eröffnet seine Arbeit mit einer eingehenden Kritik der Beobachtungen Hauptfleischs. Wie ich in den obigen Zeilen, kommt er hierbei zu dem Resultate, dass die angeblich fadenartigen Fortsätze des Zellplasmas, welche nach Hauptfleischs Darstellung an den „Längskanten“ von Pinnularia austreten und die Lokomotion der Zelle bewirken sollen, in Wirklichkeit nicht vorhanden sind und auch nicht vorhanden sein können, da an den betreffenden Stellen Poren für den Durchtritt von Fortsätzen des Zellplasmas vollständig fehlen. Während ich oben kurz darauf hinwies, dass Hauptfleisch wohl durch das kontrahierte Plasma der Riefenkammern zu seiner Auffassung geführt worden ist, liefert Müller durch eingehende Erörterung, sowie durch die Abbildung plasmolysierter Pinnularia-Zellen (Taf. IV, Fig. 22, 23) den meiner Ansicht nach vollgültigen Beweis, dass Hauptfleisch in der That die aus den Riefenkammern herausgezogenen Plasmapartien für kontrahierte Plasmafäden gehalten hat.

Auf Seite 56 seiner Arbeit teilt Müller mit, dass es ihm gelungen ist bei der Kanalaraphe der Nitzschien und Surirellen „eine Längsspalte aufzufinden, welche die Zellwand in schiefer Richtung durchbricht, dergestalt, dass ein Schlitz zwischen zwei Schneiden verläuft, ähnlich der äusseren Spalte der Pinnularien-Raphe“; auch giebt er Abbildungen dieser Verhältnisse, wie sie sich bei Betrachtung von der Fläche erkennen lassen.

Die Müllersche Entdeckung, dass die Flügelschneide der Surirellen von einem Spalt durchbrochen wird, ist recht interessant, aber nicht ganz neu. Denn Müller vergisst vollständig mitzuteilen, dass ich die Durchbrechung der

¹⁾ O. Müller, Die Ortsbewegung der Diatomeen. III und IV. Mit 3 Taf. In: Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellschaft. Bd. XIV (1896), pag. 54–64, 111–128.

Zellwand von *Surirella* bereits drei Jahre vor ihm beschrieben und abgebildet habe und zwar, wie ich beifüge, richtiger als er es jetzt thut. Um dies zu beweisen, gestatte ich mir in folgendem den betreffenden Passus aus meiner 1893 erschienenen vorläufigen Mitteilung (83, pag. 5–6 der Sep.) wörtlich anzuführen:

„Was mich nun aber weiterhin veranlasst, für das Offensein der Raphe einzutreten, ist der Umstand, dass es mir gelang, bei der Gattung *Surirella* eine wirkliche Durchbrechung der Zellwand längs der Flügelränder nachzuweisen, also gerade an den Stellen, an welchen, wie längs der Raphe von *Pinnularia* anhaftende Fremdkörper etc. oft lebhaft hin- und hergeschoben werden! Die genannten flügel förmigen Verlängerungen der Seitenkiele kommen bei *Surirella* in der Vierzahl vor; sie enthalten am Rande einen Längskanal, der durch eine grössere Anzahl quer verlaufender Kanäle mit dem Innern der Zelle in Verbindung steht, und der nach Flögels (l. c.) Zeichnungen eine nach aussen abgeschlossene Röhre darstellt. Aus meinen Schnitten geht jedoch mit Sicherheit hervor, dass der Längskanal in seiner ganzen Ausdehnung nach aussen spaltenförmig durchbrochen ist und dass diesem Spalt noch eine sehr niedere und sehr enge Rinne aufsitzt, durch welche also eine direkte Kommunikation des Zellinnern mit der Aussenwelt möglich ist, wie aus nebenstehender Zeichnung des Flügelquerschnitts von *Surirella*¹⁾ hervorgehen dürfte. In dieser Figur ist *zi* das Innere der Zelle, *q* ist der Querkanal, *lk* der Querschnitt des Längskanals und *r* die äussere aufsitzende Rinne. Diese Rinne ist auch bei Flächenansicht der ganzen Schale sichtbar, sobald die Diatomee nur so orientiert ist, dass der Blick des Beschauers parallel der Richtung der Querkäle senkrecht auf einen der vier Flügel fällt; bei hoher Einstellung erscheint die Rinne dann als sehr zarte doppeltkonturierte Linie.“

Die Nichtberücksichtigung meiner vorläufigen Mitteilung von Seiten Müllers bringt es natürlich auch mit sich, dass Müller bei Erwähnung der „Riefenkammern“ von *Pinnularia* ohne Berücksichtigung meiner daselbst niedergelegten Beobachtungen erklärt, er habe Flögels Entdeckung „bestätigt“. Nimmt man sich aber die Mühe, die von ihm angezogene Stelle seiner früheren Arbeit (93, pag. 169) nachzuschlagen, so findet man daselbst nur die Angabe, dass Müller sich darauf „beschränkt“, der von Flögel vertretenen Auffassung „beizupflichten“. Abgesehen davon, dass ein einfaches „Beizupflichten“ nach meiner Auffassung noch keineswegs ein „Bestätigen“ ist, möchte ich doch noch darauf hinweisen, dass ein Verständniss des wahren Baues der Riefenkammern von *Pinnularia* sich nur durch Schnitte erzielen lässt, wie sie Flögel und ich angefertigt haben; Müller dagegen hat nur Flächenansichten vor sich gehabt, was auch daraus hervorgeht, dass er noch in seiner diesjährigen Arbeit ausdrücklich Flögels Bild des Querschnittes einer Schalenhälfte von *Pinnularia* reproduziert.

Bei seiner Kritik der Angaben Hauptfleischer giebt Müller noch einige Beobachtungen über die Gallerthülle. Es ist aus der früheren Darstellung bekannt, wie entschieden Müller die Existenz einer Gallerthülle bei *Pinnularia*, sowie alle

¹⁾ Meiner vorläufigen Mitteilung war Fig. 10 Taf. I dieser Arbeit als Textabbildung beigegeben.

darauf basierten Schlüsse bestritten hatte; die vorliegende Arbeit liefert nun aber den Beweis, dass Müller seine Ansichten über diesen Punkt erfreulicherweise bedeutend modifiziert hat. So finden sich auf Taf. III eine Anzahl interessanter Abbildungen, welche das wechselnde Aussehen des Gallertmantels von *Pinnularia* nach Behandlung mit verschiedenen Reagentien vor Augen führen. (Vergl. Fig. 11–21.)⁴⁾ Bei dieser Gelegenheit wendet sich Müller mit Recht gegen Hauptfleisch, welcher angegeben hatte, die Gallerte von *Pinnularia* setze sich (ähnlich wie die der Desmidiaceen) aus Prismen zusammen, die einem kleinen, durch Poren in der Membran von innen herausgestreckten Protoplasmknöpfchen aufsitzen sollen.

Während Müller in seinen früheren Arbeiten (94, 95) die plasmatische Natur des nach hinten ziehenden Körnchenfadens gegen mich verteidigt hatte, hält er es jetzt für sehr zweifelhaft, „ob überhaupt ein materieller Faden, sei es aus Plasma, sei es aus Gallerte, gebildet wird, an welchem die Körnchen ankleben; für die Erklärung des Fadenphänomens ist ein solcher jedenfalls nicht notwendig. Der Faden besteht vielleicht und wahrscheinlich lediglich aus Körnchen, er ist ein Körnchenstreifen, in demselben Sinne, wie ein Rauchstreifen; aber es kann wohl vorkommen, dass gelegentlich auch ein Fädchen zwei Körnchen verbindet“. (l. c. pag. 63.)

Mit einer derartigen Auffassung kann ich mich durchaus nicht befreunden. Für ein materielles Substrat, welches alle die zu einem Faden verklebten Körnchen verbindet, spricht doch schon zur Genüge die früher erwähnte Beobachtung, dass manchmal die Reihenfolge der Tuschekörnchen auf eine Strecke hin unterbrochen scheint und dennoch bei der ruckweisen Verlängerung des Fadens nach hinten die Körnchen vor und hinter der Lücke gleichzeitig mit genau derselben Geschwindigkeit nach genau derselben Richtung hin fortgeschoben werden, ja manchmal sich sogar gegen ihren Ausgangspunkt wieder hinbewegen. Und ist ferner ein nicht materieller Faden überhaupt denkbar, der sich mit Sublimat *in situ* auf dem Objektträger fixieren lässt und dessen anhaftende Tuschekörnchen bei vorsichtigem Auswaschen nicht fortgeschwemmt werden, wie die von Müller in Fig. 24 und 26 abgebildeten Fäden, welche nach des Autors eigenen Worten (pag. 62) auf die ebengenannte Weise behandelt wurden? Wie kann ein nicht materieller Faden, ein blosser „Körnchenstreifen in demselben Sinne wie ein Rauchstreifen“ durch die Bewegungen der fortgleitenden Diatomee „hin- und hergezerrt“ werden und dann nach dem Niedersinken

4) Ich selbst habe neuerdings an *Pinnularien*, welche mit Sublimat fixiert und mit Thionin gefärbt waren, den Gallertmantel in Gestalt eines Gewirres sehr zarter rötlicher Körnchen gesehen, welche zu vielfach gewundenen und geschlängelten Fädchen an einander gereiht waren. Die von Müller in Fig. 5–10 seiner Arbeit abgebildeten Nitzschien und *Pinnularien* mit epiphytischen Bakterien und pilzfadenähnlichen Gebilden habe ich ebenfalls sehr oft beobachtet. Die in Fig. 9 dargestellte Chytridie dürfte wohl *Podochytrium clavatum* Pfitzer sein, welches ich mehrere Male der Raphe von *Pinnularia oblonga* aufsitzend fand. Die Fähigkeit dieses Organismus, seine verzweigten Rhizoiden durch die Raphe hindurch in das Zellinnere hineinzusenken, dürfte sehr zu Gunsten einer offenen, d. h. nach innen nicht abgeschlossenen Raphe sprechen.

auf den Objektträger so mannigfache Windungen machen, wie der von Müller Fig. 28 abgebildete mit Sublimat fixierte ausserordentlich lange Faden?

Von der Annahme ausgehend, dass die Raphe die Leitung lebender Plasmaströme auf die Oberfläche der äusseren Schalenflächen vermittelt und (besonders bei den Pinnularien) als ein Propeller wirkt, der den Plasmastrom tordiert und in Schraubenlinien zu fliessen zwingt, versucht Müller im Kapitel „Mechanik der Ortsbewegung“ durch Rechnung festzustellen, „wie gross die Geschwindigkeit der Plasmabänder sein muss, um die zur Überwindung der Widerstände des umgebenden Mediums erforderliche Arbeitsleistung thatsächlich hervorzubringen“ d. h. die Diatomee fortzubewegen. Es ist unter allen Umständen Müller als ein Verdienst anzurechnen, zum ersten Male in konsequenter Weise einen derartigen Versuch für die Diatomeen gemacht zu haben und dieses Verdienst wird ihm auch ungeschmälert verbleiben, selbst wenn zukünftige Untersuchungen zeigen sollten, dass einzelne der von Müller in die Rechnung eingeführten Grössen etwas zu willkürlich angenommen sind.

Was mir aber jetzt schon für die Müllersche Theorie recht bedenklich erscheint, ist der Umstand, dass in ihr mit der Annahme lebender Plasmaströme auf der Oberfläche der Diatomeenschalen operiert wird; einen Beweis dafür, dass wirklich strömendes Plasma aus der Zelle heraustritt, ist Müller bis jetzt aber vollständig schuldig geblieben. Dasjenige, was bei *Pinnularia* über die Raphe hervortritt und die Körnchen der Zellmitte zuführt, ist, wie ich schon wiederholt betonte, kein Plasma, sondern hyaline Gallerte, und bei den übrigen Diatomeen ist überhaupt bis jetzt noch niemals mit genügender Sicherheit nachgewiesen worden, dass hier irgend etwas, sei es nun Plasma oder Gallerte, soweit über den Spalt der Raphe vortritt, dass man von „lebenden Plasmaströmen auf den äusseren Schalenflächen“ sprechen könnte.

Ich habe schon 1894 die plasmatische Natur der über der Raphe von *Pinnularia* verlaufenden Strömungen bestritten (84); Müller hat zwar meine Einwände nicht für stichhaltig gehalten, aber einen wirklichen einwandfreien Beweis für die Richtigkeit seiner Auffassung hat er keineswegs erbracht (95). Sein Hinweis auf die vor mehr als 30 Jahren erschienene Arbeit Max Schultzes kann doch nicht als ein eigentlicher Beweis betrachtet werden, wie ich auf den vorhergehenden Seiten dieser Arbeit zu zeigen versuchte. Und wenn Müller an der betreffenden Stelle (95, pag. 137) dann fortfährt, die in seiner Figur ausserhalb der Raphe verlaufenden Plasmaströme, seien mittelbar in demselben Sinne nachweisbar, wie der Bütschli-Lauterbornsche Faden, nämlich durch die daran klebenden und bewegten Fremdkörper, und seine Behauptung von deren Realität habe mithin dieselbe empirische Basis wie jener Faden, der unserer Theorie als Stütze diene — so übersieht er vollständig, dass ich in meiner Erwiderung (84) ja keineswegs die Realität jener Strömungen, sondern nur deren plasmatische Natur („der Plasmaströme“, wie es in meiner Arbeit hiess) bestritt.

Ausserdem gebe ich noch etwas zu bedenken. Ist Müllers Auffassung (94, pag. 575) richtig, dass durch die Polspalten der vorderen Endknoten ein Strom von Cytoplasma in die Raphe getrieben und daselbst centralwärts verschoben wird, wobei

er seitlich aus der Spalte hervortritt und die in der benachbarten Wasserschicht suspendierten Körnchen mit sich fortreisst (= zuführender Körnchenstrom), so kann dieses Cytoplasma nur von den Plasmaansammlungen an den Polen der Pinnularia-Zelle stammen, in welche die Kanäle der Endknoten eintauchen. Nun ist schon im Leben die Begrenzung dieser Plasmamassen gegen die Flüssigkeit des Zellsafrums stets mit aller Schärfe sichtbar und auch ihre innere Struktur lässt sich immer mit voller Deutlichkeit erkennen: bei schwacher Vergrößerung erscheint das Plasma körnig, während bei stärkeren sein netzig-wabiger Aufbau schön hervortritt; ich darf hierbei wohl auf Taf. II Fig. 18, dann besonders auf Seite 20—21 dieser Arbeit verweisen. Ich frage nun: Ist anzunehmen, dass dieses scharf begrenzte und deutlich strukturierte Plasma des Zellinnern, wenn es (nach Müllers Ansicht) durch die Polspalte nach aussen auf die Oberfläche der Zelle tritt, so vollständig seine Natur ändert, dass auch bei Anwendung der besten Apochromate in reinem Wasser nicht einmal die äussere Begrenzung des Stromes, geschweige denn etwas von innerer Struktur wahrzunehmen ist? Die Antwort wird wohl nicht zweifelhaft sein.

Fassen wir zum Schluss noch einmal die Differenzen zusammen, welche zwischen den Anschauungen Müllers und den in der vorliegenden Arbeit vertretenen herrschen, so scheinen mir dieselben der Hauptsache nach in folgendem zu bestehen. Müller lässt die Ortsbewegung der Diatomeen mit Hilfe von Plasmaströmen vor sich gehen, die sich auf der Oberfläche der Schalen bewegen; den Gallertbildungen wird hierbei jede Beziehung zur Ortsbewegung abgesprochen. Ich dagegen halte den Nachweis solcher auf den Schalen fließender Plasmaströme nicht für erbracht und glaube, dass bei den meisten Formen die in der offenen Raphe fließenden Strömungen genügen, um die Zelle nach der Richtung hin fortzubringen, welche derjenigen der in der Raphe vorherrschenden Strömung gerade entgegengesetzt ist. Die Substanz dieser Strömungen besteht sehr wahrscheinlich aus durchaus hyaliner Gallerte, da in jenen wenigen Fällen, wo wirklich etwas über die Raphe hervortritt (*Pinnularia viridis-major-nobilis*) die strömende und benachbarte Fremdkörper mit sich führende Substanz kein Plasma ist, wie Müller annimmt, sondern Gallerte; dies zwingt mich, den Gallertbildungen einen bedeutenden Anteil an der Ortsbewegung zuzugestehen. Dazu kommt noch, dass Müller die Fortbewegung der Diatomeenzelle ausschliesslich durch Überwindung der Reibung vor sich gehen lässt, während ich, namentlich für *Pinnularia*, wo ein Gallertfaden nach hinten bewegt wird, auch den Rückstoss als einen Faktor für das Zustandekommen einer Bewegung betrachte.

Welche von beiden Auffassungen eine grössere Berechtigung hat, werden künftige Untersuchungen entscheiden; mögen dieselben recht bald folgen!

Litteratur-Verzeichnis.

1. Balbiani: Les Protozoaires. Leçons faites au collège de France. In: Journal de Micrographie 1881—82.
2. Balbiani: Sur la structure et la division du noyau chez le Spirochona gemmipara. In: Annales de Micrographie. Vol. VII (1895), pag. 264.
3. Balbiani: Recherches expérimentales sur la merotomie des Infusoires ciliés. In: Recueil de Zool. Suisse. 1889.
4. Belloni: Su nuclei polimorfi degli cellule sessuali degli anfibi. Bologna 1886.
5. Benda: Zellstrukturen und Zellteilungen des Salamanderhodens. In: Verhandlungen der Anat. Gesellschaft. 1893.
6. E. van Beneden et A. Neyt: Nouvelles recherches sur la fécondation et la division mitotique chez l'ascaride megalocéphale. 1887.
7. R. S. Bergh: Der Organismus der Cilioflagellaten. In: Morphol. Jahrbuch. Bd. VII (1881), pag. 177—288.
8. G. Berthold: Studien über Protoplasmamechanik. 1886.
9. F. Blochmann: Über die Kernteilung bei Euglena. In: Biolog. Centralblatt, Bd. XIV, pag. 194—197.
10. Borskow: Die Süßwasser-Bacillariaceen des südwestlichen Russlands. 1873.
11. Th. Boveri: Zellen-Studien. 2. Die Befruchtung und Teilung des Eies von Ascaris megaloccephala. In: Jenaische Zeitschrift f. Naturw. 1888.
12. Th. Boveri: Über das Verhalten der Centrosomen bei der Befruchtung des Seeigeleies nebst allgemeinen Bemerkungen über Centrosomen und Verwandtes. In: Verhandl. der Physik. med. Gesellsch. zu Würzburg. N. F. Bd. XXIX (1895), pag. 1—75.
13. A. Brauer: Zur Kenntnis der Herkunft des Centrosomas. In: Biol. Centralblatt. Jahrg. 1893, pag. 285.
14. A. Brauer: Zur Kenntnis der Spermatogenese von Ascaris megaloccephala. In: Archiv für mikroskop. Anatomie. Bd. 42 (1893), pag. 153.
15. A. Brauer: Über die Encystierung von Actinosphaerium Eichhorni Ehrb. In: Zeitschr. f. wissenschaft. Zoologie. Bd. LVIII (1894) pag. 189—221.
16. H. Braus: Über Zellteilung und Wachstum des Tritoncies etc. In: Jen. Zeitschrift f. Naturw. Bd. XXII (1895), pag. 443—511.
17. O. Bürger: Über Attraktionsphären in den Zellkörpern einer Leibflüssigkeit. In: Anat. Anzeiger. 6. Jahrgang (1891), No. 11, pag. 484—489.
18. O. Bütschli: Studien über die ersten Entwicklungsvorgänge der Eizelle, die Zellteilung und die Konjugation der Infusorien. In: Abhandl. d. Senckenberg. Naturf.-Gesellsch. Frankfurt. Bd. X (1876)

19. O. Bütschli: Einige Bemerkungen über gewisse Organisationsverhältnisse der sog. Cilioflagellaten und der Noctiluca. In: *Morph. Jahrb.* Bd. X (1885), pag. 529–577.
20. O. Bütschli: Protozoa. Bronns Klassen und Ordnungen des Tierreichs. Leipzig und Heidelberg, 1887–1890.
21. O. Bütschli: Über den Bau der Bakterien und verwandter Organismen. Leipzig und Heidelberg, 1890.
22. O. Bütschli: Über die sogenannten Centrakörper der Zelle und ihre Bedeutung. In: *Verhandl. des Naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg.* N. F. Bd. IV (1891), pag. 535–538.
23. O. Bütschli: Mitteilungen über die Bewegung der Diatomeen. In: *Verhandl. des Naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg.* N. F. Bd. IV, 5. Heft (1891).
24. O. Bütschli: Untersuchungen über mikroskopische Schäume und das Protoplasma. Leipzig, Engelmann, 1892.
25. Douglas H. Campbell: The Staining of living Nuclei. In: *Untersuchungen aus dem Botan. Institut zu Tübingen.* Bd. II, Heft 3, pag. 569–581.
26. Carnoy: La cytodivision chez les arthropodes. In: *La Cellule.* Vol. 1 (1885).
27. Tr. Castracane: La Riproduzione delle Diatomee. In: *Memorie della Pontificia Accademia dei nuovi Lincei* 1892. Citiert nach dem Referat von Margherita Traube-Mengarini im *Biol. Centralblatt.* Bd. XIII (1893), pag. 542–544.
28. E. Crato: Die Physode ein Organ des Zellenleibes. In: *Ber. d. Deutschen Bot. Gesellschaft*, Bd. X (1892), pag. 295.
29. E. Crato: Morphologische und mikrochemische Untersuchungen über die Physoden. In: *Botan. Zeitung* (1893), pag. 157.
30. De Toni: *Sylloge Algarum.*
31. L. Dippel: Beiträge zur Kenntnis der in den Soolwässern von Kreuznach lebenden Diatomeen, sowie über Struktur, Wachstum und Bewegung der Diatomeen überhaupt. Kreuznach, Voigtländer, 1870.
32. L. Drüner: Zur Morphologie der Centralspindel. In: *Jen. Zeitschrift f. Naturwiss.* Bd. 28 N. F. Bd. XXI (1894).
33. L. Drüner: Studien über den Mechanismus der Zellteilung. In: *Jen. Zeitschr. f. Naturw.* N. F. Bd. XXII (1895), pag. 211.
34. G. Ehrenberg: *Die Infusionstiere als vollkommene Organismen.* Berlin 1838.
35. J. Eismont: Einige Beiträge zur Kenntnis der Attraktionsphären und der Centrosomen. In: *Anat. Anzeiger.* Bd. X (1895), pag. 229–239, 261–272.
36. Th. W. Engelmann: Über die Bewegungen der Oscillarien und Diatomeen. In: *Botan. Zeitung*, 37. Jahrg. (1879), pag. 49.
37. R. von Erlanger: Referat über Rompels (114) Arbeit im *Zool. Centralblatt.* II. Jahrg. (1895), pag. 76.
38. R. von Erlanger: Neuere Ansichten über die Struktur des Protoplasmas, die karyokinetische Spindel und das Centrosom. In: *Zoolog. Centralblatt.* Bd. III (1896), Nr. 8 u. 9.
39. Farmer and Reeves: On the occurrence of Centrospheres in *Pellia epiphylla*. In: *Annales of Botany.* Vol. VIII (1891), pag. 219.
40. R. Fick: Über Reifung und Befruchtung des Axolotlkeics. In: *Zeitschr. f. wiss. Zoologie.* Bd. LVI (1893), pag. 529–614.
41. W. Flemming: *Zellsubstanz, Kern und Zellteilung.* Leipzig 1882.
42. W. Flemming: Neue Beiträge zur Kenntnis der Zelle. I. In: *Archiv für mikroskop. Anatomie.* Bd. XXIX.
43. W. Flemming: Neue Beiträge zur Kenntnis der Zelle. II. In: *Archiv für mikroskop. Anatomie.* Bd. XXXVII (1891), pag. 685–751.
44. W. Flemming: Über Teilung und Kernformen bei Leucocyten und über deren Attraktionsphären. In: *Archiv für mikroskop. Anatomie.* Bd. XXXVII (1891), pag. 249–298.
45. W. Flemming: Attraktionsphäre und Centrakörper in Gewebszellen und Wanderzellen. In: *Anatomischer Anzeiger.* Bd. VI, 1891.

46. Flögel: Researches on the Structure of the Cell-walls of Diatoms. In: Journal of the Royal Microscopical Society, 1883.
47. W. Focke: Physiologische Studien. II. Heft. 1854.
48. S. Gjurasin: Über die Kernteilung in den Schläuchen von *Peziza vesiculosa* Bulliard. In: Ber. d. Deutschen Bot. Gesellschaft. Bd. XI (1893), pag. 113–117.
49. J. G. Grenfell: On the Occurrence of Pseudopodia in the Diatomaceous Genera *Melosira* and *Cyclotella*. In: Quarterly Journal of Microscopical Science. Vol. XXXII, part 4 (1891), pag. 615–622.
50. A. Gruber: Sexuelle Fortpflanzung und Konjugation. In: Humboldt. Bd. VII (1888).
51. A. Gruber: Über künstliche Teilung bei Infusorien. In: Biol. Centralblatt. Bd. III u. IV (1883–84).
52. L. Guignard: Nouvelles études sur la fécondation. In: Annales des sciences naturelles. Botanique. Tom. 14. 1891.
53. L. Guignard: Sur l'existence des „sphères attractives“ dans les cellules végétales. Comptes rendus de l'Académie française. Mars 1891, pag. 539–42.
54. G. Haberlandt: Über die Beziehungen zwischen Funktion und Lage des Zellkerns bei den Pflanzen. Jena 1887.
55. V. Häcker: Über den heutigen Stand der Centrosomenfrage. In: Verhandl. d. Deutsch. Zoolog. Gesellschaft. 1894. pag. 11–25.
56. R. A. Harper: Beitrag zur Kenntnis der Kernteilung und Sporenbildung im *Aseus*. In: Ber. der Deutsch. Bot. Gesellschaft. Bd. XIII (1895), p. 67.
57. P. Hauptfleisch: Die Auxosporenbildung von *Brebissonia Boeckii* Grunow. Die Ortsbewegung der Bacillariaceen. In: Mitteil. d. naturwiss. Vereines für Neu-Vorpommern u. Rügen. Jahrg. XXVII (1895).
58. M. Heidenhain: Über Kern und Protoplasma. Festschrift für v. Koelliker. Leipzig, Engelmann. 1892.
59. M. Heidenhain: Über die Centralkörpergruppe in den Lymphocyten der Säugetiere während der Zellenruhe und der Zellteilung. In: Verhandl. der Anatom. Gesellschaft. 1893. pag. 54–70.
60. M. Heidenhain: Neue Untersuchungen über die Centralkörper und ihre Beziehungen zum Kern- und Zellenprotoplasma. In: Archiv für mikroskop. Anatomie. 43. Bd. (1894), pag. 423–758.
61. L. F. Henneguy: Nouvelles recherches sur la division cellulaire indirecte. In: Journal de l'anatomie. Bd. XXVII (1891).
62. L. F. Henneguy: Le corps vitellin de Balbiani dans l'œuf des Vertébrés. In: Journal de l'anatomie et de la physiologie. Bd. 29 (1893).
63. F. Hermann: Beitrag zur Lehre von der Entstehung der karyokinetischen Spindel. In: Archiv für mikroskop. Anatomie. Bd. XXXVII (1891), pag. 569.
64. O. Hertwig: Die Zelle und die Gewebe. Jena, G. Fischer. 1892.
65. R. Hertwig: Über die Konjugation der Infusorien. In: Abhandl. der math.-phys. Klasse der kgl. bayer. Akademie d. Wissenschaften. Bd. 17, Abt. 1 (1889).
66. R. Hertwig: Über Befruchtung und Konjugation. In: Verhandl. d. Deutschen Zoolog. Gesellschaft. 1892. pag. 95–112.
67. R. Hertwig: Über Centrosoma und Centralspindel. In: Sitzungsber. d. Gesellsch. f. Morphologie und Physiologie München. (1895.)
68. H. van Heurck: Synopsis des Diatomées de Belgique. Anvers 1885.
69. B. Hofer: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss des Kerns auf das Protoplasma. In: Jenaische Zeitschr. f. Naturwissensch. Bd. XXIV.
70. Humphrey: Nukleolen und Centrosomen. In: Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch. Bd. XII (1894), pag. 108–117.
71. C. Ishikawa: Über die Kernteilung bei *Noctiluca miliaris*. In: Ber. d. Naturf.-Gesellschaft zu Freiburg i. B. Bd. VIII. Festschr. für A. Weismann. pag. 54–67 u. Taf. III (1894).
72. C. Ishikawa: Studies on Reproductive Elements. II. *Noctiluca miliaris* Sur., its Division and Spore-formation. In: Journal of the College of Science, Imperial University, Japan. Vol. VI, Part IV, pag. 297–334 with Pl. XI–XIV (1894).

73. J. Julien: Le corps vitellin de Balbiani et les éléments de la cellule des Metazoaires qui correspondent au Macronucleus des Infusoires ciliés. In: Bulletin Scientifique de la France et de la Belgique. Tome 24 (1893).
74. G. Karsten: Über Beziehungen der Nukleolen zu den Centrosomen bei *Psilotum triquetrum*. In: Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch. Bd. XI (1893), p. 555.
75. J. Keuten: Die Kernteilung von *Euglena viridis* Ehrb. In: Zeitschr. f. wiss. Zoologie. Bd. LX (1895), pag. 215–235.
76. H. Klebahn: Studien über Zygoten. I. Die Keimung von *Closterium* und *Cosmarium*. In: Pringsheims Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik. Bd. XXII, (1890) Heft 3.
77. G. Klebs: Über Bewegung und Schleimbildung der Desmidiaceen. Biolog. Centralblatt, Jahrgang 1885–86.
78. G. Klebs: Über die Organisation der Gallerte bei einigen Algen und Flagellaten. In: Untersuch. a. d. Bot. Institut zu Tübingen. Bd. II, pag. 233.
79. G. Klebs: Über den Einfluss des Kerns in der Zelle. In: Biol. Centralblatt. Jahrg. VII (1887).
80. Korschelt: Beiträge zur Morphologie und Physiologie des Zellkerns. In: Zoolog. Jahrb. Bd. IV (1889).
81. v. Kostanecki: Über Centralspindelkörperchen bei karyokinetischer Zellteilung. In: Anatom. Hefte. 1892.
82. v. Kostanecki: Über die Schicksale der Centralspindel bei karyokinetischer Zellteilung. In: Anatom. Hefte. 1892.
83. R. Lauterborn: Über Bau und Kernteilung der Diatomeen. Verhandl. d. naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg. N. F. Bd. V, Heft 2 (1893).
84. R. Lauterborn: Zur Frage nach der Ortsbewegung der Diatomeen. In: Ber. d. Deutschen Bot. Gesellschaft. Bd. XII (1894), pag. 73.
85. R. Lauterborn: Protozoen-Studien. I. Kern- und Zellteilung von *Ceratium hirundinella*. In: Zeitschrift f. wiss. Zoologie. Bd. LIX (1895), pag. 167–190.
86. L. a. y. d. o. w. s. k. y.: Von der Entstehung der chromatischen und achromatischen Substanzen in den tierischen und pflanzlichen Zellen. In: Anatom. Hefte (Merkel und Bonnet) (1894), pag. 380.
87. O. Lindt: Über den Nachweis von Phloroglucin. In: Zeitschrift f. wiss. Mikroskopie. Bd. II, pag. 495.
88. J. Lüders: Beobachtungen über die Organisation, Teilung und Kopulation der Diatomeen. In: Bot. Zeitung. 1862. pag. 41.
89. E. Maupas: Le rajeunissement karyogamique chez les Ciliés. In: Archives de Zoologie expérimentale. 2. serie. Tome 7 (1889).
90. C. Mereschkowsky: Beobachtungen über die Bewegungen der Diatomaceen und ihre Ursache. In: Botan. Zeitung. 38. Jahrg. (1880). pag. 529–40.
91. Meves: Über eine Art der Entstehung ringförmiger Kerne. Inaug.-Diss. Kiel 1893.
92. Th. Moore: On the Relationship and rôle of the Archoplasme during Mitosis in the Larval Salamander. In: Quaterly Journal of Microscop. Science. Vol. XXVIII (1893).
93. O. Müller: Durchbrechungen der Zellwand in ihren Beziehungen zur Ortsbewegung der Bacillariaceen. In: Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellschaft. Bd. VII, Heft 4 (1889), pag. 169–180.
94. O. Müller: Die Ortsbewegung der Bacillariaceen betreffend. In: Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch. Bd. XI (1893), pag. 571.
95. O. Müller: Die Ortsbewegung der Bacillariaceen. II. In: Ber. der Deutsch. Botan. Gesellschaft. Bd. XII (1894), pag. 136–143.
96. O. Müller: Über Achsen, Orientierungs- und Symmetrieebenen bei den Bacillariaceen. In: Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellschaft. Bd. XIII (1895), pag. 222.
97. Nageli und Cramer: Pflanzenphysiologische Untersuchungen. I. Zürich 1855.
98. E. Palla: Beitrag zur Kenntnis des Baues des Cyanophyceen-Protoplasts. In: Pringsheims Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. XXV (1893), pag. 511–562.
99. E. Palla: Über ein neues Organ der Konjugatenzelle. In: Ber. d. Deutsch. Botan. Gesellschaft. Bd. XII (1894), pag. 153.

100. W. Pfeffer: Über Aufnahme von Anilinfarben in lebende Zellen. In: Untersuchungen aus dem Bot. Institut zu Tübingen. Bd. II, Heft 2 pag. 179–329.
101. E. Pfitzer: Untersuchungen über Bau und Entwicklung der Bacillariaceen (Diatomaceen). In: Bot. Abhandl. aus dem Gebiet der Morphologie und Physiologie, herausgegeben von J. Hanstein. 2. Heft. Bonn 1871.
102. E. Pfitzer: Die Bacillariaceen (Diatomaceen). In: Schenks Handbuch der Botanik.
103. E. Pfitzer: Über ein Härten- und Färbung vereinigendes Verfahren für die Untersuchung des plasmatischen Zelleibes. In: Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellschaft. Bd. I. 1883.
104. G. Platner: Zur Bildung der Geschlechtsprodukte bei den Pulmonaten. In: Archiv f. mikroskop. Anatomie. Bd. XXVI (1886), pag. 599–621.
105. G. Platner: Beiträge zur Kenntnis der Zelle und ihrer Teilungserscheinungen. In: Archiv für mikroskop. Anatomie. Bd. XXXIII (1888).
106. M. Prinz: Note sur les coupes du Pinnularia. In: Bulletin des séances de la Société belge de Microscopie. Tom. IX. (1883.)
107. Fr. Pröschner: Untersuchungen über Raeborski's Myriophyllin. In: Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellschaft. Bd. XIII (1895), pag. 345–348.
108. C. Rabl: Über Zellteilung. In: Morph. Jahrb. Bd. X (1885), pag. 214.
109. C. Rabl: Über Zellteilung. In: Anatom. Anzeiger. IV. Jahrg. (1889), pag. 21–30.
110. M. Raeborski: Über die Inhaltskörper der Myriophyllumtrichome. In: Ber. d. Deutschen Bot. Gesellschaft. Bd. XI (1893), pag. 348–352.
111. Reinhard: Algologische Untersuchungen I. Materialien zur Morphologie und Systematik der Algen des schwarzen Meeres. Mit 11 Tafeln. Odessa 1885 (Russisch).
112. F. Reinke: Untersuchungen über das Verhältnis der von Arnold beschriebenen Kernformen zur Mitose und Amitose. Inaug.-Diss. Kiel 1891.
113. F. Reinke: Zellenstudien. In: Archiv f. mikroskop. Anatomie. Bd. 42 (1894), pag. 377–422.
114. J. Rempel: Kentrochona Nebaliae n. g. n. sp., ein neues Infusor aus der Familie der Spirochoninen, zugleich ein Beitrag zur Lehre von der Kernteilung und dem Centrosoma. In: Zeitschrift f. wiss. Zoologie. Bd. LVIII (1894), pag. 618–635.
115. L. Sala: Experimentelle Untersuchungen über die Reifung und Befruchtung der Eier bei *Ascaris megalocephala*. In: Archiv f. mikroskop. Anatomie. Bd. XLIV (1895), pag. 422–498.
116. J. Schaarschmidt: Adatok a *Synedra Ulna* (Nitzsch) Ehrenb. oszlásánah böreob ismeretéhez Beiträge zur näheren Kenntnis der Teilung von *Synedra Ulna* (Nitzsch) Ehrenb. Magyar növény-tani Lapok. Klausenburg 1883, VII. Jahrg., pag. 49–58 mit 1 Taf. (Ungar.). Citiert nach Botan. Jahresber. Bd. XI, pag. 224.
117. F. Schaudinn: Über Kernteilung mit nachfolgender Körperteilung bei *Amoeba crystalligera* Gruber. In: Sitzungsber. d. k. preuss. Akademie d. Wiss. zu Berlin. Bd. XXXVIII (1893), p. 1029–1036.
118. F. Schaudinn: Über die Teilung von *Amoeba binucleata* Gruber. In: Sitzungsber. d. Gesellsch. naturf. Freunde Berlin. Jahrg. 1895, Nr. 6, pag. 130–141.
119. F. Schaudinn: Über den Zeugungskreis von *Paramoeba eilhardi* n. g. n. sp. In: Sitzungsber. d. k. preuss. Akademie d. Wiss. 1896. pag. 31–41.
120. W. Schewiakoff: Über die karyokinetische Kernteilung der *Euglypha alveolata*. In: Morphol. Jahresber. Bd. XIII (1888), pag.
121. W. Schewiakoff: Über die Ursache der fortschreitenden Bewegung der Gregarinen. In: Zeitschr. f. wiss. Zoologie. Bd. LVIII (1894), p. 340.
122. A. J. Schilling: Anatomisch-biologische Untersuchungen über die Schleimbildungen der Wasserpflanzen. In: Flora. 1894. pag. 346.
123. F. Schmitz: Die Chromatophoren der Algen. Verhandl. d. Naturhist. Vereins d. preuss. Rheinlande u. Westfalens. 40. Jahrg. (1883).
124. F. Schmitz: Beiträge zur Kenntnis der Chromatophoren. In: Pringsheims Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. XV (1884).
125. M. Schultze: Innere Bewegungserscheinungen bei Diatomaceen der Nordsee aus den Gattungen *Coscinodiscus*, *Denticella*, *Rhizosolenia*. In: Müllers Arch. f. Anatomie u. Physiologie. 1858. pag. 330.

126. M. Schultze: Die Bewegung der Diatomeen. In: Schultzes Archiv für mikroskop. Anatomie. Bd. 1 (1865), pag. 374.
127. Schumann: Diatomeen der hohen Tatra. In: Verhandl. der Zoolog. Bot. Gesellschaft zu Wien, 1867.
128. F. Schütt: Das Pflanzenleben der Hochsee. 1893.
129. F. Schütt: Über die Diatomeengattung *Chaetoceros*. In: Botan. Zeitung. 1888. Nr. 11 u. 12.
130. F. Schütt: Wechselbeziehungen zwischen Morphologie, Biologie, Entwicklungsgeschichte und Systematik der Diatomeen. In: Ber. d. Deutschen Bot. Gesellschaft. Bd. XI, Heft 10 (1894), p. 563–571.
131. Frank Schwarz: Die morphologische und chemische Zusammensetzung des Protoplasmas. In: Cohns Beiträge zur Biologie der Pflanzen. Bd. V, Heft 1 (1887).
132. C. Th. v. Siebold: Über einzellige Pflanzen und Tiere. In: Zeitschrift f. wiss. Zoologie. Bd. I (1849), pag. 270.
133. H. L. Smith: A Contribution to the Life-History of the Diatomaceae. Proceedings of the American Society of Microscopists. Part 1 1886, Part 2 1887.
134. Solger: Zur Kenntnis der Pigmentzellen. In: Anat. Anzeiger. VI. Jahrg. (1891), Nr. 6, pag. 162–65.
135. E. Strasburger: Zellbildung und Zellteilung. 3. Aufl.
136. E. Strasburger: Zu dem jetzigen Stande der Kern- und Zellteilungsfragen. Anatom. Anzeiger. Bd. XIII (1893).
137. E. Strasburger: Schwärmsporen, Gameten, pflanzliche Spermatozoiden und das Wesen der Befruchtung. In: Histologische Beiträge. Heft IV.
138. E. Strasburger: Über die Wirkungssphäre der Kerne und die Zellgrösse. In: Histologische Beiträge. Heft V (1893), pag. 97–124.
139. E. Strasburger: Karyokinetische Probleme. In: Jahresber. f. wiss. Botanik. Bd. XXVIII (1895), pag. 151–204.
140. M. Verworn: Psycho-physiologische Protisten-Studien. Jena, Fischer, 1889.
141. Th. Waage: Über das Vorkommen und die Rolle des Phloroglucins in der Pflanze. In: Ber. der Deutschen Bot. Gesellschaft. Jahrg. 1890, pag. 250.
142. H. Wager: On the presence of Centrospheres in Fungi. In: Ann. of Botany. Vol. VIII (1894).
143. Wallieh: On the development and structure of the Diatom-Valve. In: Transact. of the Microsc. Society. 1860. pag. 129.
144. Wasielewsky: Die Keimzone in den Genitalschläuchen von *Ascaris megalocephala*. In: Arch. für mikroskop. Anatomie. Bd. 41 (1893), pag. 324.
145. Watase: Homology of the Centrosome. In: Journal of Morphologie. 1893.
146. E. De Wildeman: Notes algologiques. II. Sur la structure des Diatomées. In: Notarisia. Vol. VI (1892), pag. 1478–1481. Mit Abbild.
147. A. Zimmermann: Botanische Mikrotechnik. 1892.
148. A. Zimmermann: Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Pflanzenzelle. Bd. II, Heft 1, pag. 1–35.
149. K. W. Zimmermann: Studien über Pigmentzellen etc. In: Arch. f. mikrosk. Anatomie. Bd. 41 (1893), pag. 367.

Tafel-Erklärungen.

Buchstaben-Bezeichnungen.

<i>bk</i>	Butschliche Körnchen und Kugeln.	<i>nuc'</i>	Nucleolus.
<i>c</i>	Centrosomen.	<i>ol</i>	Oltropfen.
<i>c'</i>	dunkle Ansammlungen zu beiden Seiten der Centralspindel, aus welchen Centro- somen hervorgehen.	<i>plf</i>	Plasmafäden.
<i>csp</i>	Centralspindel.	<i>pi</i>	Pyrenoid.
<i>chrom</i>	Chromatophoren.	<i>qk</i>	Querkanal.
<i>chroml</i>	Chromatophoren-Lappen.	<i>r</i>	Raphe.
<i>chros</i>	Chromosomen.	<i>rf</i>	einschneidende Ringfalte, welche die Teil- lung bewirkt.
<i>chrosr</i>	Chromosomen-Ring.	<i>sp</i>	Spalt.
<i>dst</i>	Doppelstäbchen im Plasma.	<i>spc</i>	abgeschnurtes Spindelende.
<i>fl</i>	Flügel.	<i>spr</i>	Sporn der Schale.
<i>gf</i>	Gallertfäden.	<i>ss</i>	Schalenseite.
<i>gm</i>	Gallertmantel.	<i>tsf</i>	tonnenförmige Spindel.
<i>GS</i>	Gürtelseite.	<i>vbf</i>	Verbindungsfäden (äquatorialer Teil der Centralspindel).
<i>k</i>	Kiel der Schale.	<i>Zi</i>	Zellinneres.
<i>kr</i>	Kammern im Innern der Zellhaut („Riefen“)	<i>zk</i>	zuführender Körnchenstrom.
<i>lk</i>	Längskanal.	<i>ztc</i>	Zwischenstücke der Flügel.
<i>nu</i>	Kern.		

Erklärung der Tafel I.

Fig. 1. *Pinnularia maior*. Querschnitt durch die Zelle aus der Gegend zwischen Zellende und mittlerer Plasmaansammlung. Nach verschiedenen Schnitten rekonstruiert. Vergr. ca. 1400. Strukturen der Schalen bei Seibert Ap. 2 mm Oc. 12 gezeichnet. (Text pag. 11—13.)

Im Querschnitt präsentiert sich *Pinnularia* als Quadrat mit abgerundeten Ecken, dessen obere und untere Seite in der Abbildung von den Schalenseiten (SS), dessen rechte und linke Seite von den Gürtelseiten (GS) gebildet wird. Die obere Schalenhälfte greift über die untere, wobei sich die Wandungen der übereinandergreifenden Gürtelbänder messerartig verschmälern. Auf beiden Schalenseiten ist die mittlere, durch einen matten Glanz ausgezeichnete Partie etwas verdickt und springt nach aussen, sowie nach innen vor. Sie wird durchsetzt von der Raphe (*r*), welche als winklig gebrochener, offener Spalt von aussen nach innen zieht, und zwar in den beiden Schalenhälften nach entgegengesetzter Richtung. Zu beiden Seiten der mittleren verdickten Partie finden sich in der Wandung beider Schalenhälften je zwei ansehnliche kammerförmige Hohlräume (*kr*), welche durch eine ziemlich weite Öffnung mit dem Zellinnern kommunizieren; sie entsprechen den sog. Riefen, welche man früher fast allgemein für Einsenkungen auf der Aussenfläche der Schalen anzusehen pflegte. Das ganze Innere der Schale ist ausgekleidet von einem Plasmaschlauche, welcher seine Ausläufer auch in die Schalenkammern (*kr*) entsendet und unter jeder Gürtelseite je ein braungelbes Chromatophor enthält, das sich noch eine Strecke weit nach den Schalenseiten umschlägt, deren Mitte aber unter der Raphe frei lässt. Im Plasma zwischen den Chromatophoren und der Zellmembran sind die Querschnitte der Plasmafäden als sehr kleine Kreise sichtbar. Das Innere der Figur wird eingenommen von der grossen mit Zellsaft erfüllten Vakuole.

Fig. 2. Querschnitt durch eine Schalenhälfte von *Pinnularia maior*, ebenfalls aus der Region zwischen Mitte und Ende der Zelle. Verg. wie vorige Figur. — Der Schnitt geht zwischen zwei „Riefen“ durch und lässt darum keine Innenkammern der dicken Zellmembran erkennen; er zeigt die messerartige Verschmälerung der übereinandergreifenden Schalenhälften sehr deutlich.

Fig. 3—7. Verschiedene Querschnitte der Raphe aus der Region zwischen Zellmitte und Zellende. Vergr. wie vorige Figur. (Text pag. 12—13.) — Dieselben lassen erkennen, wie sehr der Querschnitt der Raphe wechselt, je nach der Gegend, aus welcher der Schnitt stammt. Über die Flächenansicht dieser Bilder vergl. Text pag. 12.

Fig. 8. Querschnitt durch *Surirella calcarata* in der Mitte der Zelle. Nach verschiedenen Schnitten rekonstruiert. Vergr. ca. 900. Die feineren Details der Flügelstruktur bei Seibert Ap. 2 mm Oc. 12 gezeichnet.

Surirella calcarata besitzt im Querschnitt die Gestalt eines Rechtecks. In der Figur liegen die beiden Gürtelseiten (GS) oben und unten und sind fast in ihrer ganzen Ausdehnung eben, während die beiden seitlichen Schalenseiten (SS) ausgeschweift sind und in ihrer Mitte als scharfer Kiel (*k*) vorspringen. Die verlängerten Diagonalen des Rechteckes nehmen die vier Flügel (*f*) ein, welche an ihrem distalen Ende alle den kreisförmigen Querschnitt des Längs- oder Randkanals, sowie die diesem aufsitzende sehr enge Rinne erkennen lassen. Bei *f*₁ hat der Schnitt gerade ein U-förmiges dünnes Zwischenstück des Flügels getroffen, infolgedessen der Querschnitt des rundlichen Längskanals nur durch einen dünnen Stiel mit der Zelle zusammenzuhängen scheint. Bei *f*₂ ging der Schnitt gerade an der

Grenze eines Zwischenstückes und eines Querkanales durch, während q_1 und q_2 die Querkanäle in ihrer ganzen Ausdehnung durchschnitten zeigen. Das Innere der Zelle ist ausgekleidet von Protoplasma, welches auch in die Kanäle der Flügel eindringt. In der Mitte spannt sich eine grössere Plasmamasse von quer Xförmiger Gestalt von Schale zu Schale und umschliesst in der Mitte den Zellkern (nu), der im Querschnitt flach ellipsoidal erscheint. In den vier zu den Schalen strebenden, fibrillär gestreiften Schenkeln der centralen Plasmamasse wölben sich in der Mitte der Schalen die Chromatophoren zeltförmig vor und umschliessen mehr oder weniger grosse, von Zellsaft erfüllte Hohlräume; ausserdem entsenden sie dicht unter dem Kieselpanzer verlaufende Ausläufer nach den Gürtelseiten, wo sich dieselben in Gestalt zahlreicher Lappen ($chrom$) ausbreiten.

Fig. 9. Stück eines Flügels von *Surirella calcarata*. Ansicht von der Fläche nach dem Leben. Vergr. ca. 1100. Gezeichnet bei Seibert Ap. 2 mm Oc. 12. (Text pag. 15–16.) Im Bilde sind die beiden Querkanäle (qk) sichtbar, welche in den am Rande des Flügels verlaufenden Längskanal (lk) einmünden. Die Fortsätze der Chromatophoren treten in Gestalt brauner fingerförmiger Lappen ($chrom$) in diese Querkanäle ein, umhüllt von einem Plasmamantel; dieser schliesst sich am distalen Ende der Chromatophoren zu einem soliden Strange zusammen, dessen fibrillär-wabige Struktur auch im Leben deutlich hervortritt. (Vergl. Text pag. 21.) Zwischen den drei Querkanälen befinden sich zwei U- oder fensterförmige Zwischen- oder Verbindungsstücke (zw), welche namentlich gegen das Zellinnere hin nischenförmig zwischen die dicken Röhren der Querkanäle eingesenkt sind und in ihrer dünnen Membran eine zarte Streifung erkennen lassen. In der linken Nische ist eine der blaugrünen kugelligen Algen (par) eingezeichnet, die man häufig an den Flügeln der *Surirella* parasitierend trifft. (Vergl. Text pag. 16.)

Fig. 10. Querschnitt eines Flügels von *Surirella calcarata*. Der Schnitt geht durch einen Querkanal. Gezeichnet bei Seibert Ap. 2 mm Oc. 12. (Text pag. 15–16.) — Der Querkanal (qk) beginnt gegen das Zellinnere (Zi) mit breiter Basis, verschmälert sich dann im weiteren Verlaufe, um sich dann schliesslich zum kreisförmig begrenzten Längskanal (lk) zu erweitern. Letzterer ist nach aussen von einem sehr engen Spalt durchbrochen, dem eine niedere schmale Rinne (sr) aufsitzt.

Fig. 11. Stück eines Flügels von *Surirella calcarata*. Ansicht senkrecht auf den Flügel, also parallel der Richtung der Querkanäle. Gezeichnet bei Seibert Ap. 2 mm Oc. 12. (Text pag. 16.) — Bei Einstellung auf die Oberfläche erscheint der den Flügel nach aussen durchbrechende Spalt und seine Rinne als zarte, doppelt konturierte Linie (sr), die sich über den ganzen Flügelrand hin verfolgen lässt. Bei etwas tieferer Einstellung erscheinen parallel der Richtung des Spaltes beiderseits die doppeltkonturierten Begrenzungslinien des Längskanals (lk), unter welchem zwei elliptische Durchschnitte von Querkanälen (qk) durchschimmern.

Fig. 12. Wie vorige Figur, tiefere Einstellung. Hier erscheinen die Querkanäle auf dem Durchschnitte als Ellipsen (qk), welche durch die dünnen Membranen der fensterförmigen Zwischenstücke (zw) mit einander in Verbindung stehen. Bei noch tieferer Einstellung würde der Durchschnitte der Querkanäle aus der Form einer Ellipse mehr in die eines Kreises übergehen.

Fig. 13. Partie der oberflächlichen Chromatophoren der Gürtelseite von *Surirella calcarata*. Nach dem Leben. Gezeichnet bei Seibert Ap. 2 mm Oc. 12. (Text pag. 22, 27.) — Die braungelben Chromatophoren ($chrom$) sind in zahlreiche gerundete Lappen zerteilt, welche rundliche oder ovale helle Pyrenoide (pn) einschliessen. Über diesen Lappen breitet sich das Geflecht der plasmatischen Fäden (pl) aus, an denen während des Lebens pendelnde und schlängelnde Bewegungen zu beobachten sind. (Vergl. Text pag. 22.) Vergl. Taf. II Fig. 19.

Erklärung der Tafel II.

Sämtliche Figuren dieser Tafel sind nach dem Leben entworfen. Alle feineren Details der Kern- und Plasmastruktur wurden bei Ap. 2 mm (Seibert) Oc. 8 und 12 eingezeichnet.

Fig. 14. *Stauroneis acuta*. Ansicht von der Gürtelseite. Zelle etwa 600mal vergrössert. (Text pag. 25.) — Im Innern der Schalen zwei gelbbraune Chromatophoren, welche die Gürtelseiten

bedecken und sich nach den Schalenseiten umschlagen; die nach den Schalenseiten umgeschlagenen Partien der Chromatophoren erscheinen als dunkelbraune Linien auf die Ränder der Gürtelseiten projiziert. In der Mitte der Zelle die Plasmaansammlung mit dem bikonvexen Kern (*uu*).

Fig. 15. *Navicula cuspidata* Kütz. Ansicht von der Schalenseite. Vergr. ca. 600. (Text pag. 25, 31.) — Die braungelben Chromatophoren (*chrom*) bedecken die Gürtelseiten und schlagen sich nach den Schalenseiten hin um, deren Mitte sie frei lassen. In der Mitte der schiffchenförmigen Zelle spannt sich eine Plasmabrücke mit fast parallelen Rändern aus, die den ellipsoidalen Zellkern (*uu*) umschliesst. Im Innern des letzteren ein etwas grobmaschiges, aus Linien bestehendes Gerüstwerk mit eingelagerten kleinen Chromatinkörnchen; ein grosser centraler Nukleolus. An den verschmälerten Enden der Zelle kleinere Plasmaansammlungen mit eingelagerten Körnchen. In der Medianlinie, unter der Raphe, zwei grosse, ziemlich glänzende Bütschliche Kugeln (*bk*). Die kleineren Kügelchen zu beiden Seiten der queren Plasmabrücken sind Öltröpfen (*öl*).

Fig. 16. *Navicula cuspidata* Kütz. Ansicht von der Gürtelseite. Vergr. ca. 600. (Text pag. 25, 31.) — Beide Gürtelseiten sind von den Chromatophoren bedeckt. Alle sonstigen Verhältnisse wie bei der vorigen Figur, nur erscheint von der Gürtelseite aus der Kern kreisrund begrenzt.

Fig. 17. *Cymbella cuspidata*. Ansicht von der Schalenseite. Vergr. ca. 900. (Text pag. 19, 25–26.) Das in jeder Zelle in Einzahl vorhandene Chromatophor ist auf der stärker gewölbten Gürtelseite (rechts in der Figur) in der Mitte beutelförmig gegen das Zellinnere eingesenkt; auf den Schalenseiten ist es durch zwei von den Enden her der Mitte zustrebende Einschnitte zerteilt und schlägt sich teilweise noch gegen die schwächer gewölbte Gürtelseite (links) hin um. Die unregelmässig begrenzte Plasmamasse liegt einseitig der schwächer gewölbten Gürtelseite an und entsendet zahlreiche Plasmastränge und -fäden, welche untereinander anastomosierend das Zellinnere als grobmaschiges Netzwerk durchsetzen. Der Kern (*uu*) zeigt nierenförmige Gestalt und wendet seine Einbuchtung dem Binnenraum der Zelle zu. In seinem Innern lässt er auch im Leben ein sehr regelmässiges engmaschiges Gerüstwerk erkennen, dessen Knotenpunkten zahlreiche Chromatinkörnchen in regelmässigen Abständen von einander eingelagert sind; ausserdem sind noch mehrere Nukleolen vorhanden. Rechts in der beutelförmigen Einbuchtung des Chromatophors ein sehr grosses kugeliges Pyrenoid (*π*); an den verschmälerten Enden je eine Bütschliche Kugel (*bk*) von einer Vakuole umschlossen.

Fig. 18. *Pinnularia maior* L. Ansicht von der Gürtelseite. Vergr. der Zelle ca. 600. (Text pag. 21, 56.) — Jede der Gürtelseiten ist bedeckt von einem Chromatophor, das sich beiderseits nach den Schalenseiten umschlägt und nur deren Mitte frei lässt; in der Figur erscheinen die nach den Schalenseiten umgeschlagenen Partien des Chromatophors als dunkelbraune Linien. In der Mitte der Zelle spannt sich die quere Plasmabrücke aus, welche den kugeligen Zellkern (*uu*) umschliesst. Dieser besitzt ungefähr kugelige Gestalt und ist erfüllt mit einem netzig-wabigen Gerüstwerk, welches in seinen Knotenpunkten zahlreiche kleine Chromatinkörnchen eingelagert enthält und zwei Nukleolen umschliesst²⁾. Zwischen beiden letzteren wurde das Centrosom, welches ganz am Beginne der Kernteilung auf der Oberfläche des Kerns auftritt, als kleines Kügelchen anzudeuten versucht. Unmittelbar über dem Chromatophor, zwischen diesem und der Zellwand, verlaufen zahlreiche geschlängelte plasmatische Fäden (*plf*), welche an verschiedenen Stellen miteinander anastomosieren. In der mittleren Plasmamasse setzten sich die Fäden in Doppelstäbchen (*ds*) fort, die sich, öfters kettenartig zusammenhängend, beim Beginn der Kernteilung gegen Kern und Centrosom centrieren. — An den Enden der Zelle schwächere Plasmaansammlungen. In den Zellsaftvakuolen eine Anzahl Öltröpfen (*öl*) von nicht immer kugelige Gestalt.

Fig. 19. *Surirella calcarata* Pfitzer. Ansicht von der Gürtelseite. Vergr. der Zelle ca. 500. (Text pag. 27.) — Die Figur giebt die Ansicht wieder, die man bei hoher Einstellung, direkt unter den Kieselpanzer, erhält. Man sieht hier vor allem die in den wandständigen Plasmaschlauch eingebetteten Ausläufer der Schalen-Chromatophoren, welche vielfach gelappt und eingebuchtet von den Seiten gegen die Mitte der Gürtelbandflächen zustreben. Die in den Lappen eingeschlossenen Pyrenoiden sind nicht gezeichnet. Rechts und links sind die flügel förmigen Fortsätze der Zelle sichtbar, in deren Querkanäle (*qk*) sich Ausläufer der Chromatophoren hinein strecken. Zwischen je zwei Querkanälen ein U- oder fenster förmiges Zwischenstück (*zw*); am Rande der Flügel ein Längskanal (*lk*). — Vergl. Taf. I Fig. 9 und Fig. 8; Fig. 13 Taf. I zeigt eine Partie der Chromatophoren bei stärkerer Vergrösserung.

Fig. 20 befindet sich auf Tafel IX.

¹⁾ *Pinnularia viridis* und *Pinnularia nobilis* stimmen in ihrem plasmatischen Bau vollständig mit der hier abgebildeten Form überein.

²⁾ Die in der Figur wiedergegebene Struktur des Kernes wurde nach Präparaten ergänzt.

Fig. 21. *Cyclotella comta* Kütz. var. *radiosa*. Ansicht von der Schalen-
seite. (Text pag. 18, 28.) Das Centrum der Zelle nimmt der rundliche Kern (*nu*) ein. Von der ihm um-
schliessenden Plasmaschicht ziehen mehrere Plasmafäden in radiärer Richtung gegen die Peripherie hin.
Die zahlreichen Chromatophoren haben eine ovale oder mehr biskuitförmige Gestalt (Teilungszustände);
die am Rande der Zelle liegenden, welche ihre Fläche der Gürtelseite zuwenden, erscheinen im optischen
Durchschnitt als dunkelbraune Linien.

Fig. 22. Ruhender Kern von *Nitzschia sigmoidea*. Ansicht von der Gürtelseite.
Nach dem Leben. (Text pag. 50–51.) In der Mitte der langgestreckten und schwach S-förmig
gekrümmten Zelle, wo der Kern liegt, ist das Chromatophor unterbrochen und beiderseits eingebuchtet;
am Rande mehrere umgeschlagene Lappchen des Chromatophors. Der Kern, umgeben von einer wenig
deutlichen Plasmamasse, zeigt die charakteristische langgestreckte ovale Gestalt und ist in seiner Mitte
etwas verbreitert. Von seiner inneren Struktur sieht man im Leben die zahlreichen blassen Chromatin-
körnchen deutlicher; das sie verbindende Liniengerüst tritt nur an besonders günstigen Stellen hervor.
Dagegen sind die in Mehrzahl vorhandenen kleinen Nukleolen (*nuc'l*) bei stärkeren Vergrößerungen
stets gut sichtbar.

Erklärung der Tafel III.

Kernteilung von *Nitzschia sigmoidea*.

(Samtliche Figuren sind nach Präparaten entworfen). (Fixierung in Pikrinschwefelsäure oder
Jodalkohol, Färbung mit Delafieldschem Hämatoxylin, Aufstellung in Damarlack.) Vergr. ca. 1250.

Fig. 23. Ruhender Kern. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 50–51.) — Durch
die Anwendung von Reagentien wird im Innern des Kerns ein engmaschiges netzig-wabiges Liniengerüst
sichtbar, in dessen Knotenpunkte zahlreiche dunkle Chromatinkörnchen eingelagert sind; die drei vor-
handenen Nukleolen (*nuc'l*) erscheinen nur blass gefärbt. Das umgebende Plasma ist auf dieser
sowie den folgenden Figuren etwas schematisiert.

Fig. 24. Übergang zum Knäuelstadium. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag.
75.) — Das im ruhenden Zustande sehr regelmässige und engmaschige Gerüstwerk beginnt sich aufzu-
lockern und dabei gröber und unregelmässiger zu werden, wobei die Chromatinkörnchen sich reihenartig
hinter einander anordnen; auf diese Weise kommen perschnurartige Stränge zustande, welche in mannig-
fachen Windungen den Kernraum durchziehen, stets aber durch blässere Verbindungen (Linien) mit einander
in Verbindung stehen. Nukleolen noch deutlich erhalten.

Fig. 25. Übergang zum Knäuelstadium. Ansicht von der Gürtelseite. (Text
pag. 75.) Die Umrisse des Kerns sind oval geworden. In seinem Innern hat sich das Gerüstwerk zu
einem lockeren Knäuel umgewandelt, dessen Fäden ein perschnurartiges Aussehen darbieten, da die
Verschmelzung der Chromatinkörnchen unter sich noch nicht vollzogen ist; nur rechts am Rande zeigt
ein Fadenstück ein mehr homogenes Aussehen. Die blassen Verbindungsstränge zwischen den Windungen
der Fäden sind noch deutlich zu erkennen, ebenso ein blasser Nukleolus (*nuc'l*). Links vom Kern
im Plasma ein blass gefärbtes Kugelnchen; wahrscheinlich ein Centrosom resp. Anlage der Centralspindel.

Fig. 26. Knäuelstadium. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 75–76.) — Indem die
Chromatinkörnchen unter sich und mit dem sie tragenden Liniengerüst verschmolzen sind, erscheint der
Kernraum nunmehr durchzogen von einem lockeren vielfach gewundenen Knäuelwerk, in dessen Innern
der bis dahin sichtbar gebliebene Nukleolus (*nuc'l*) zu verblassen und zu schwinden beginnt. Blass
Verbindungen zwischen den Knäueläden waren an dem Präparate nicht wahrzunehmen, dürften aber
jedenfalls nicht fehlen. Die Breite der Gürtelseiten nimmt durch das Auseinanderweichen beider
Schalenhälften stetig zu.

*) Details der Schalenstruktur sowie die Chromatophoren sind in den Fig. 23–37 nicht
eingezeichnet.

Fig. 27. Übergang zum Mutterstern. Ansicht von der Gürtelseite¹⁾. (Text pag. 78.) — Die Gestalt des Kerns ist eine ungefähr biskuitförmige geworden; die Kernmembran deutlich erhalten. In der Mitte zwischen beiden Einbuchtungen spannt sich die deutliche Centralspindel (*cs*) aus, deren Fasern kontinuierlich von Pol zu Pol verlaufen. Die Chromosomen, noch etwas knäuelartig durcheinander gewunden, sind in zwei Haufen zu beiden Seiten der Centralspindel angesammelt.

Fig. 28. Stadium des Muttersterns (Kernplatte). Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 78.) — Die Gestalt des Kerns, dessen Membran noch deutlich erhalten ist, ist dieselbe wie des vorhergehenden Stadiums, also ungefähr biskuitförmig. Bei der hier gezeichneten Einstellung auf die Mitte tritt besonders die garbenförmige Centralspindel (*cs*) hervor, welche sich zwischen beiden Dellen des Kerns in der Richtung von Schale zu Schale ausspannt. Ihre zarten Fasern ziehen kontinuierlich von Pol zu Pol und divergieren hier etwas; die Polflächen sind gerade. Im verschmälerten Äquator ist eine ziemlich breite dunkle Binde sichtbar. Die Centralspindel ist umhüllt von einer bauchig aufgetriebenen, also tonnenförmigen Kernspindel (*ts*), deren wenig zahlreiche Fasern wohl aus Linienbestandteilen des Kerns ihren Ursprung genommen haben. Im Äquator dieser tonnenförmigen Spindel gruppieren sich in einer breiten Zone die Chromosomen²⁾, ohne also mit der Centralspindel in direkte Berührung zu kommen. Gegen beide breite Polflächen ist eine ziemlich deutliche Strahlung des Plasmas zu beobachten.

Fig. 29. Stadium des Muttersterns (Kernplatte). Ansicht von der Schalenseite. (Text pag. 79.) — Diese Figur zeigt den in Fig. 28 abgebildeten Kern in polarer Ansicht. Es fällt hierbei auf, dass die schleifenförmigen Chromosomen nur in der Richtung des Längsdurchmessers der Zelle angeordnet sind; eine sternförmige Gruppierung um die Spindel ist durch die Gestalt der Nitzschia-Zelle ausgeschlossen. Die Mitte der Figur nimmt der kreisförmige Querschnitt der Centralspindel (*cs*) ein, umgeben von den wenig zahlreichen Fasern der im Querschnitt ovalen tonnenförmigen Spindel (*ts*). An letztere setzen sich die Chromosomen mit kleinen dunkel gefärbten Zäcchen an, die von den Umbiegungsstellen der Schleifen ausgehen.

Fig. 30. Ähnliches Stadium wie Fig. 28. Ansicht von der Gürtelseite. — Das dunkle Band im Äquator der Centralspindel weniger deutlich. Die Chromosomen umfassen gegen die tiefer liegende Gürtelseite zu den Äquator der tonnenförmigen Spindel. In der Delle rechts vom Kern ein dunkel gefärbtes Kügelchen, wohl ein Centrosom.

Fig. 31. Polare Ansicht der Fig. 30. Ansicht von der Schalenseite. — Kern links etwas eingebuchtet; wahrscheinlich die Stelle, wo die Centralspindel in den Kern einrückte. Die Chromosomen um die tonnenförmige Spindel gruppiert, lassen letztere an der der Einbuchtung zugekehrten Seite (links) frei.

Fig. 32. Dyaster-Stadium. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 81.) — Die Chromosomen sind nach ihrer Längsspaltung auseinandergerückt und haben sich an den Polen zu schönen Tochtersternen gruppiert. Die Pole der jetzt mehr kugeligen Kernteilungsfigur werden eingenommen von halbkugelig vorgewölbten etwas glänzenden „Polkörpern“. Zwischen den Chromosomen sind die Spindelfasern (*cs*) sichtbar, die nunmehr die Rolle von „Verbindungsfäden“ spielen. Das Plasma ist gegen die Pole der Spindel deutlich strahlenförmig angeordnet.

Fig. 33. Weiter vorgeschrittenes Stadium. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 81.) — Die Chromosomen sind noch mehr gegen die Pole zu gerückt, wobei ihre radiäre Anordnung mehr und mehr verloren geht und dabei gleichzeitig die Polflächen verbreitert werden. „Polkörper“ wie auf dem vorhergehenden Stadium sind nicht mehr sichtbar. Zwischen beiden Tochterkernen sind „Verbindungsfäden“ (= Fasern der Centralspindel) ausgespannt.

Fig. 34. Beginn der Durchschnürung. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 82.) — Die von beiden Zellenden her einschneidende Ringfalte ist bereits tief in die Plasmamasse eingedrungen. Die Tochterkerne sind weit auseinander gerückt, stehen indessen noch durch ein garbenförmiges Büschel von „Verbindungsfäden“ (Fasern der Centralspindel) mit einander in Verbindung. Ihre Polflächen sind in der Mitte seicht eingebuchtet und hier sehr dunkel gefärbt, sodass sich einzelne Schleifen nicht mehr unterscheiden lassen, dagegen sind letztere noch gegen die Zellmitte recht deutlich.

Fig. 35. Beginnende Rekonstruktion der Tochterkerne. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 84.) — Die Ringfalte hat Plasma und Kern völlig durchschnürt. Beide Tochterkerne,

1) Diese Figur bitte ich nur als Skizze betrachten zu wollen, da das Präparat verloren ging, bevor ich es vollständig studiert hatte.

2) Da in Fig. 28–31 der Kern bei Einstellung auf die Mitte der Centralspindel gezeichnet ist, so kommt naturgemäss nur ein Teil der Chromosomen zur Darstellung.

umgeben von einer deutlichen Membran, beginnen sich zu rekonstruieren. Ihr Inneres zeigt sich erfüllt von zahlreichen stark gefärbten Kugelnchen, welche durch etwas blässere Stränge mit einander in Verbindung stehen und da und dort noch etwas reihenartige Anordnung erkennen lassen. Sehr deutlich tritt diese Anordnung in der gegen die Mitte der Zelle hin gerichteten Partie der Kerne zu Tage, wo die früheren Schenkel der Schleifen auch jetzt noch als Kornchenreihen vorspringen.

Fig. 36. Weiteres Stadium der Rekonstruktion der Tochterkerne. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 84.) — Die vorspringenden Kornchenreihen, welche den früheren Schleifenschenkeln entsprechen, sind nunmehr eingezogen und der ganze Kern, welcher sich immer mehr in die Länge streckt und dabei an Volumen zunimmt, ist erfüllt von dicht gedrängten, stark gefärbten Kugelnchen, die durch schwächer gefärbte Linienstränge mit einander in Verbindung stehen.

Fig. 37. Rekonstruktion der Tochterkerne vollendet. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 84.) — Beide noch zusammenhängenden Tochterzellen haben ihre neuen Schalenhälften vollständig ausgebildet. Die innere Struktur gleicht wieder vollständig der ruhenden; auch die Nukleolen sind vorhanden.

Erklärung der Tafel IV.

Fig. 38–46. Kernteilung von *Pleurosigma attenuatum*.

Nach Präparaten. (Fixierung in Pikrin-Schwefelsäure, Färbung mit Delafieldschem Hämatoxylin, Aufstellung in Damarlack.) Vergr. ca. 1100. Details mit Seibert Apochromat 2 mm Oc. 12 eingezeichnet.

Fig. 38. Ruhender Kern. Ansicht von der Schalenseite. (Text pag. 50.) — Der kugelige Kern ist bei mittlerer Einstellung gezeichnet. Das netzig-wabige Gerüstwerk ist an der Peripherie sehr engmaschig und enthält in den Knotenpunkten zahlreiche kleine Chromatinkörnchen eingelagert. Gegen das Innere zu treten grössere Lückräume auf, welche von Strängen und Brücken des Gerüstwerkes durchsetzt werden. Im Centrum des Kernes liegt der Nukleolus (*nucl.*), umgeben von engmaschigem Gerüstwerk.

Fig. 39. Ruhender Kern. Ansicht von der Schalenseite. — Der Kern besitzt unregelmässig ovale Umrisse. Im Innern zwei Nukleolen. Sonst stimmt die feinere Struktur vollständig mit derjenigen von Fig. 38 überein.

Fig. 40. Übergang zum Knäuelstadium. Ansicht von der Schalenseite. (Text pag. 70.) — Der Kern hat sein Volumen bedeutend vergrössert und ist durchzogen von einem lockeren, vielfach gewundenen, perlschnurartigen Knäuelwerk, dessen Fäden durch blassere Verbindungsstränge mit einander in Zusammenhang stehen. Die beiden Nukleolen sind noch vorhanden, erscheinen aber sehr blass gefärbt.

Fig. 41. Knäuelstadium. Ansicht von der Schalenseite. (Text pag. 70.) — Die auf gewundenen Liniabahn perlschnurartig hinter einander angeordneten Chromatinkörnchen des vorhergehenden Stadiums sind unter sich zu gleichmässig stark gefärbten Fäden verschmolzen, welche das Innere des Kernes in vielfachen Windungen durchziehen. Der Nukleolus (*nucl.*) ist im Verschwinden begriffen.

Fig. 42. Knäuelstadium. Ansicht von der Schalenseite. (Text pag. 70.) — Die Fäden des Knäuelwerkes haben sich an der Peripherie des Kernes angesammelt und zwar besonders an jener Seite, welche der Centralspindelanlage (*cp.*) zugekehrt ist. Letztere erscheint im Plasma in einiger Entfernung vom Kern als schwach gefärbtes Gebilde, welches bei Ansicht von der Schalenseite ovale Gestalt besitzt.

Fig. 43. Einrücken der Centralspindel in den Kern. Ansicht von der Schalenseite. (Text pag. 77.) — Die Centralspindel (*cp.*), welche ihre ovalen Polflächen der Schalenseite zukehrt, ist gerade im Begriff, sich in das Innere des Kernes hinauszusenken. In letzterem hat sich das Knäuelwerk in einzelne Stücke segmentiert, die schleifenförmige Gestalt angenommen haben. Sämtliche Schleifen neigen sich radial zur einrückenden Centralspindel und umschliessen mit ihren Winkeln halbkreisförmig

die Centralspindel. Gegen diese Stelle, die vollkommen einem „Polfeld“ im Sinne Rabls entspricht, zieht auch eine Strahlung des umgebenden Plasmas.

Fig. 44. Derselbe Kern wie Fig. 40, etwas gedreht und mehr von der Gürtelseite gesehen. — Man erkennt bei dieser Ansicht mit aller Deutlichkeit die garbenförmige Gestalt der längsgestreiften Centralspindel, welche sich unter die Chromosomen hineinsenkt, wobei ihre beiden Pole den Schalenseiten zugekehrt sind.

Fig. 45. *Pleurosigma attenuatum*. Mutterstern. Ansicht von der Schalenseite. (Text pag. 79.) — Die zahlreichen schleifenförmigen Chromosomen sind radiär um die central gelegene Spindel angeordnet, bilden aber keinen vollständigen Strahlenkranz um dieselbe, sondern sind auf einer Seite unterbrochen. Diese offene Stelle im Chromosomenstern entspricht derjenigen Seite, von welcher her die Centralspindel in den Kern einrückte. Von der Gürtelseite gesehen, bietet der Kern ein ähnliches Aussehen dar, wie dasjenige Taf. V Fig. 58.

Fig. 46. Übergang vom Tochterstern zum Tochterknäuel. Ansicht von der Schalenseite. (Text pag. 83.) — Von beiden Zellenden her dringt eben die einschneidende Ringfalte (*rf*) in das Plasma ein, um dieses in seiner Mitte zu durchschnüren. Die beiden Tochterkerne sind weit auseinander gerückt, stehen aber noch durch die lang ausgezogene Centralspindel (= Verbindungsfäden *vbf*) mit einander in Zusammenhang. In ihrem Innern geht die radiäre Anordnung der Chromosomen, welche dies auf dem Stadium der Tochtersterne zeigten, in eine mehr knäuelige über.

Fig. 47–52 Stadien der Kernteilung von *Pinnularia viridis*.

Mit Ausnahme von Fig. 47 nach Präparaten. (Behandlung derselben wie oben für *Pleurosigma* angegeben.)

Fig. 47. Kern in dem Anfangsstadium der Teilung. Ansicht von der Gürtelseite. Nach dem Leben (Kernstruktur etwas nach Präparaten ergänzt). — Der kugelige Kern im Innern der Plasmamasse (auf die Mitte eingestellt) ist erfüllt von einem regelmässigen, ziemlich engmaschigen Gerüstwerk mit eingelagerten Chromatinkörnchen. Die Nukleolen (*nuc*) sind in Zweizahl vorhanden. Das auf diesem Stadium an der Oberfläche des Kernes als kleines Kügelchen auftretende Centrosom gelangte nicht zur Darstellung. Im Protoplasma um den Kern liegen zahlreiche Doppelstäbchen (*ds*) eingebettet, welche meist kettenartig an einander gereiht sich gegen den Kern (resp. Centrosom) centrieren; auch das Plasma lässt eine radiäre Anordnung gegen den Kern erkennen.

Fig. 48. Stadium aus dem Beginn der Knäuelbildung. Ansicht von der Gürtelseite. — Die Struktur im Innern des Kernes ist bereits ziemlich unregelmässig geworden und es lassen sich im Gerüstwerk mehrere dickere, mit Chromatinkörnchen besetzte Stränge unterscheiden, welche merkwürdigerweise von einem kreisförmig umschriebenen hellen Fleck ziemlich in der Mitte des Kernes in radiärer Richtung ausstrahlen. Bei Ansicht von der Schalenseite lässt sich der helle Fleck als eine Art Spalt eine Strecke weit in das Kerninnere verfolgen. Die beiden Nukleolen (*nuc*) sind noch deutlich erhalten.

Fig. 49. Knäuelstadium. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 76.) — Im quereovalen Kern hat sich die Gerüstsubstanz zu einem ziemlich lockeren Knäuelwerk umgebildet, welches besonders die peripheren Teile des Kernes einnimmt. In der Mitte bleibt ein grösserer Bezirk frei und gegen diesen richten sich vorherrschend die Schlingen und Windungen der Fäden. An dieser Stelle liegt auf der Oberfläche des Kernes die noch kleine Centralspindel (*cs*), welche in der Richtung der Teilungsachse (= Pervalvarachse) des Kernes verlängert und zart gestreift ist; ihre garbenförmige Gestalt ist schon deutlich ausgeprägt. Das Plasma und die darin eingebetteten Ketten von Doppelstäbchen (*ds*) orientieren sich radiär zur Centralspindel.

Fig. 50. Stadium des Muttersternes (Kernplatte). Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 78.) — Die Centralspindel hat sich von der Gürtelseite her in den Kernraum hineingesenkt, hier bedeutend in die Länge gestreckt und spannt sich nunmehr in garbenförmig-cylindrischer Gestalt kontinuierlich von einem Kernpol zum andern aus. In ihrem Äquator haben sich die Chromosomen (*chs*) zu einem dicken, breiten Ring vereinigt, welcher die Centralspindel allseitig umgibt und nur da und dort die schattenhaften Umrisse einzelner Chromosomen erkennen lässt. An den Polen der Centralspindel Strahlung des Plasmas. Centrosomen, jedenfalls vorhanden, entgingen der Beobachtung.

Fig. 51. Polare Ansicht des Chromosomenringes. Von der Schalenseite. — Nur einzelne freie Chromosomenenden (auch auf Fig. 50 sichtbar) ragen etwas über die dunkel gefärbte Masse

der ringförmig verklebten Chromosomen hinaus. Man erkennt auf dieser und der vorhergehenden Figur die weitgehende Übereinstimmung mit den Verhältnissen bei *Surirella*.

Fig. 52. Endstadium der Tochtersterne. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 83.)

Die Centralspindel hat sich sehr lang cylindrisch ausgezogen und spielt die Rolle der sog. Verbindungsfäden (*bf*) zwischen beiden Tochterkernen. Dieselben sind ganz an das Ende der Spindel gerückt und umschliessen letztere immer noch ringförmig, doch sind im Innern die geschlängelten Schleifen der Chromosomen etwas deutlicher zu sehen als im Stadium des Muttersternes.

Erklärung der Tafel V.

Fig. 53—63. Kernteilung von *Pinnularia oblonga*.

(Nach Präparaten. Fixierung mit Pikrinschwefelsäure, Färbung mit Delafieldschem Hämatoxylin, Aufstellung in Damarlack.) Vergr. ca. 1100. Die Chromatophoren wurden zum Teil nach lebenden Exemplaren, zum Teil ebenfalls nach Präparaten eingezeichnet.

Fig. 53. Ruhender Kern. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 50.) — Der inmitten der Plasmamasse gelegene kugelige Kern zeigt im ruhenden Zustande eine sehr regelmässige Struktur. Sein ganzes Innere ist durchsetzt von einem engmaschigen, netzig-wabigen Liniengerüst, in dessen Knotenpunkten zahlreiche Chromatinkörnchen in annähernd gleichen Abständen von einander eingelagert sind. Um den central gelegenen grossen Nukleolus (*nuc*) ordnen sich die Bälkchen des Gerüstwerkes radiär, d. h. in Gestalt eines Alveolarsaumes an.

Fig. 54. Übergang zum Knäuel. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 76.) — Rings um den noch deutlich sichtbaren Nukleolus (*nuc*) hat sich das Gerüstwerk zu anscheinenden Fäden umgelagert, die dicht mit Chromatinkörnchen besetzt sind. In Wirklichkeit ist jedoch der netzige Bau des Kernes auch jetzt noch gewahrt, da sich überall zwischen den perschnurartigen gewundenen Fäden zahlreiche blässere Verbindungen erkennen lassen.

Fig. 55. Ansicht von der Gürtelseite. — Die chromatischen Bestandtheile des Kernes sind im Innern zusammengedrängt, in Gestalt zahlreicher zu gewundenen Strängen vereiniger Körnchen; die Gesamtmasse wird durch mehrere zur Kernmembran ausstrahlende, blasse Linienstränge in ihrer Lage fixiert. — Obwohl ich mehrere Kerne in der hier wiedergegebenen Ansicht sah, halte ich es doch nicht für ausgeschlossen, dass es sich hier um eine pathologische Erscheinung handelt, indem durch Anwendung der Reagentien Schrumpfungsercheinungen im Kern aufgetreten sein könnten.

Fig. 56. Übergang zum Mutterstern. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 77.) — Die Centralspindel (*sp*) ist an einer der Gürtelseiten in den Kernraum hineingerückt. Die zahlreichen Chromosomen, in Gestalt vielfach geschlängelter Schleifen und Fäden, umfassen halbseitig den mittleren Teil der Centralspindel, um welche einige von den Polen ausgehende Mantelfasern angedeutet sind. Die Chromatophoren, welche nach den Schalenseiten übergewandert waren, erscheinen von der Gürtelseite aus in der Mitte unterbrochen.

Fig. 57. Derselbe Kern wie Fig. 56, jedoch in polarer Ansicht. Von der Schalenseite gesehen. — Man sieht hier vor allem, dass die Centralspindel noch völlig excentrisch im Kernraum liegt und von den geschlängelten Chromosomen in einem Halbkreis umspannt wird.

Fig. 58. Stadium des Muttersternes. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 78—79.) Die Figur ist bei Einstellung auf die Centralspindel gezeichnet, wodurch nur ein Teil der Chromosomen zur Darstellung gelangte. Der Kern hat ellipsoide Gestalt angenommen und ist an seinen Polen beiderseits schwach eingebuchtet. Zwischen beiden Dellen verläuft die Centralspindel (*sp*) ununterbrochen von Pol zu Pol, umgeben von einer in der Mitte tonnenförmig erweiterten Spindel, in deren Äquator sich die Chromosomen ansetzen.

Fig. 59. Stadium des Muttersterns. Polare Ansicht von der Schalenseite. — Derselbe Kern wie Fig. 58; ungefähr mittlere Einstellung. Die Centralspindel liegt immer noch excentrisch im Kern, umgeben von den schleifenförmigen geschlängelten Chromosomen, welche rechts eine Lücke lassen (Stelle, wo die Centralspindel in den Kern einrückte).

Fig. 60. Dyaster-Stadium. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 81.) — Die Chromosomen haben sich gegen die Pole hingezogen und hier sternförmig angeordnet. In den etwas eingesenkten Polflächen sind beiderseits — aber nicht besonders deutlich — dunkler gefärbte Kugeln, die Centrosomen, sichtbar. Zwischen beiden Tochterkernen spannen sich die Fasern der Centralspindel als „Verbindungs-fäden“ durch den Kernraum aus, an dessen Peripherie bereits die beiden von den Zellenden her einschneidenden Ringfalten angelangt sind.

Fig. 61. Ende des Dyasterstadiums. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 82.) Die einschneidende Ringfalte dringt von beiden Seiten her gegen die Fasern der Centralspindel vor, welche sich als „Verbindungs-fäden“ noch ununterbrochen zwischen beiden Tochterkernen erstrecken. In letzteren haben sich die Chromosomen ganz an die Pole hingezogen und streben hier im Allgemeinen bogenförmig gegen die Enden der Centralspindel.

Fig. 62. Rekonstruktion der Tochterkerne. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 84.) — Die Zell- und Kernteilung ist im wesentlichen vollzogen. Die beiden Tochterkerne liegen nunmehr vollkommen getrennt in ihren Plasmamassen. Ihre Gestalt ist ungefähr hantelförmig und lassen sich die früheren Einbuchtungen an den Polen noch erkennen. Das Innere erscheint gleichmässig erfüllt mit ziemlich grossen, stark gefärbten Chromatinkörnchen, welche da und dort zu Strängen hintereinander gereiht sind.

Fig. 63. Rekonstruktion der Tochterkerne fast vollendet. Ansicht von der Gürtelseite. — Während sich von den der Mitte zugekehrten Rändern beider Plasmamassen allmählich die beiden neuen Tochterschalen ausbilden, haben die Kerne langgestreckt ovale, etwas gekrümmte Gestalt angenommen, wobei sie ihre konvexen Seiten den neuen Tochterschalen zukehren. In ihrem Innern sind die grösseren Chromatinkörnchen des vorhergehenden Stadiums in zahlreiche kleinere zerfallen, welche in die Knotenpunkte eines sehr zarten netzig-wabigen Gerüstwerkes eingelagert erscheinen.

Fig. 64. Kern von *Surirella biseriata*. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 51.) — Der Kern von *Surirella biseriata* besitzt annähernd nierenförmige Umrisse, ist aber in der Richtung der Schalenseiten sehr stark zusammengedrückt, sodass die Kernbucht eine sehr schmale ist. In seinem Innern sehen wir ein — besonders in den peripheren Bezirken — ziemlich lockeres netzig-wabiges Gerüstwerk, welches aus Linien besteht und sich nur schwach färbt; das Chromatin ist in Gestalt kleinerer und grösserer Körnchen in den Knotenpunkten und Wabenwänden verteilt. Nukleolen (*nuc^l*) sind vier vorhanden. Vorn vor der Kernbucht liegt das deutliche dunkel gefärbte Centrosom (*c*) im Mittelpunkt einer plasmatischen Strahlung.

Fig. 65. Kern von *Pinnularia viridis* in Ruhe. Ansicht von der Gürtelseite. — Der kugelige Kern lässt auch im Leben eine ziemlich gleichmässig netzig-wabige Struktur erkennen und enthält zahlreiche kugelige Chromatinkörnchen in den Knotenpunkten des Gerüstes. Um die hier in Zweifelszahl vorhandenen Nukleolen (*nuc^l*) ordnet sich das Gerüstwerk radiär an. Im Plasma liegt eine Anzahl der eigentümlichen Doppelstäbchen (*dit*), welche, meist zu Ketten vereinigt, nach verschiedenen Richtungen hin verlaufen.

Fig. 66–69. Drei Stadien der Kernteilung der Desmidiaceen (*Closterium*)¹⁾.

Nach Präparaten (Fixierung in Pikrinschwefelsäure, Färbung mit Delafieldschem Hämatoxylin, Aufstellung in Damarlack). Bei Ap. 2 mm, Oc. XII gezeichnet.

Fig. 66. Ruhender Kern. — In der Mitte der schwach halbmondförmig gebogenen Zelle liegt der ungefähr ellipsoidale Zellkern zwischen beiden Hälften der Chromatophoren. Die färlbare Sub-

1) Die drei Stadien der Kernteilung der Desmidiaceen sind lediglich zum Vergleich mit derjenigen der Diatomeen hier eingeschoben worden. Soweit die bis jetzt vorliegenden Beobachtungen

-tanz, das Chromatin, findet sich fast vollständig in einer grossen Kugel, dem „Nukleolus“ (*nuc^l*) kondensiert. Das übrige netzig-wabige Gerüstwerk mit verdickten Knotenpunkten.

Fig. 67. „Knäuel“ stadium. — Im Innern des Kerns zahlreiche stark gefärbte Kugeln, welche durch schwächer sich färbende Verbindungsstränge in ihrer Lage fixiert werden. Der „Nukleolus“ (*nuc^l*) des ruhenden Kerns erscheint deformiert und nur ganz schwach gefärbt, da sich aus seiner Substanz wohl sicher die zahlreichen kugligen Chromosomen zusammensetzen. Die Zellmembran zeigt in ihrem mittleren Teil das beginnende Auseinanderweichen der übereinandergreifenden Hälften.

Fig. 68. Stadium der Kernplatte. — Die Linienbestandteile des Kerns haben sich zu einer sehr breiten cylindrischen Kern„spindel“ angeordnet, deren Äquator die zahlreichen Chromosomen reifenartig umgeben. Da die meisten Chromosomen eine biskuitförmige Gestalt haben, liegt wohl beginnende Halbierung der Chromosomen vor.

Fig. 69. Ruhender Kern von *Cymatopleura Solca*. — Nach Präparaten. (Text pag. 50.) — Der kugelige Kern lässt eine sehr regelmässige und sehr engmaschige netzig-wabige Struktur erkennen, welche sich um den grossen Nukleolus (*nuc^l*) radiär anordnet.

Fig. 70–74. Bütschliche Kugeln der *Navicula cuspidata* bei Einwirkung künstlicher Verdauung sowie 0,2% Salzsäure. Bei Einwirkung der genannten Reagentien zeigen die Kugeln eigentümliche Veränderungen, welche im Text (pag. 38) geschildert wurden.

Fig. 75–76. Bütschliche Kugeln von *Navicula cuspidata* bei Einwirkung von Ferrocyankalium + Essigsäure. Vergl. Text pag. 39.

Fig. 77. Wahrscheinliche Teilungszustände der Bütschlichen Kugeln von *Suriella calcarata*. Nach Jodalkohol — Hamatoxylin-Präparaten. (Text pag. 33–34.) In *a* beginnt sich die Kugel etwas zu verbreiten und erscheint in *b* deutlich ellipsoidal; *c* zeigt eine mittlere Einschnürung, welche in *d* immer weiter greift, bis schliesslich zwei getrennte Kugeln neben einander liegen, wie *e* vor Augen führt.

Fig. 78—96. Entstehung und Entwicklung der Centralspindel.

Nach dem Leben und nach Präparaten bei Seibert Ap. 2 mm, Oc XII gezeichnet.

Fig. 78. Zeigt das einfache Centrosom (*c*) in der Kernbucht liegend, ohne Strahlung, wie dies beim vollständig ruhenden Kern Regel ist. (Nach dem Leben.)

Fig. 79. Beim Beginn der Kernteilung tritt das Centrosom (*c*) etwas aus der Kernbucht heraus und wird zum Mittelpunkt prächtiger Strahlungserscheinungen des umgebenden Plasmas.

Fig. 80. Neben dem stark gefärbten Centrosom (*c*) tritt gegen den Kern zu ein zweites kleines Körperchen auf, welches sich nur schwach färbt: die Anlage der Centralspindel (*cs^l*), welche wohl durch Teilung aus dem Centrosom hervorgegangen ist. Vergl. Taf. VII Fig. 112. — Nach einem mit Chromosomessigsäure fixierten und nach Henneguys Methode gefärbten Präparate.

Fig. 81. Die blasse kugelige Anlage der Centralspindel (*cs^l*) wandert gegen die Oberfläche des Kerns zu, wo sie unter Grössenzunahme in

Fig. 82 angekommen ist. (Vergl. Taf. VII Fig. 113.)

Fig. 83 und ebenso die folgenden Figuren zeigen die Weiterentwicklung der Centralspindel allein.

Fig. 84–85. Die Centralspindel streckt sich in die Länge und nimmt fiedelbogenartige Umrisse an.

eine Entscheidung gestatten, scheint die bei den Diatomeen so deutlich ausgeprägte Centralspindel zu fehlen. Die sehr breite cylindrische „Spindel“ mit den kleinen kugligen Chromosomen um ihren Äquator erinnert sehr an entsprechende Verhältnisse bei gewissen Protozoen, wie *Actinosphaerium*, *Amoeba binucleata* (Schaudinn). Es erscheint nicht ohne Interesse, dass bei der Keimung der Zygoten von *Closterium* die Spindel des aus zwei verschmolzenen Kernen bestehenden „Keimkerns“ ganz derjenigen gleicht, welche auch bei der hier abgebildeten vegetativen Zweiteilung auftritt, während bei der sofort darauf folgenden Halbierung der Teilhälften des „Keimkerns“ eine Spindel zur Ausbildung gelangt, deren Fasern an den Polen konvergieren. Über die Keimung der Zygoten vergl. Klebahn (76).

Fig. 86. Späteres Stadium: a) hohe Einstellung, b) mittlere Einstellung, bei welcher zu beiden Seiten der im optischen Durchschnitt stäbchenförmig erscheinenden Centralspindel blass gefärbte Ansammlungen sichtbar werden.

Fig. 87. Drei Ansichten der Centralspindel aus jenem Stadium, wo im Innern des Kerns die Knäuelbildung beginnt. (Vergl. Taf. VII Fig. 114.) a) bei hoher, b) bei mittlerer, c) bei tiefer Einstellung.

Fig. 88. Aussehen der Centralspindel während des Stadiums des „dichten Knäuels“. a) im optischen Durchschnitt gesehen, wo die Centralspindel stäbchenförmig erscheint; vorn rechts und links zwei dunkel gefärbte halbkugelige Ansammlungen (c'), aus denen später die Centrosomen hervorgehen. b) zeigt die Centralspindelanlage von der Fläche, also von den Schalenseiten her gesehen. c) Ansicht der Centralspindel aus der Richtung vom breiteren Zellende her.

Fig. 89. Die Centralspindel hat im weiteren Verlauf der Kernteilung bei mittlerer Einstellung stempelförmige Gestalt angenommen (a); b) bei tiefer Einstellung. Von nun an beginnt sie in der Richtung der Pervalvarachse (in der Richtung des Doppelpfeils) auszuwachsen.

Fig. 90. Die Centralspindel erscheint in Gestalt eines sehr niederen Cylinders, dessen Mantelfläche in der Richtung des Auswachsens zart gestreift ist. Die beiden einseitig gelegenen dunkeln Halbkugeln (c'), welche sich später zu Centrosomen differenzieren, recht deutlich¹⁾. Nach dem Leben. 10 Uhr 15 Min. beobachtet.

Fig. 91. Die Höhe des Centralspindel Cylinders nimmt beständig zu, wobei die Streifung immer deutlicher hervortritt. Nach dem Leben. 10 Uhr 28 Min. beobachtet.

Fig. 92. Ebenso. Nach dem Leben. 10 Uhr 40 Min. beobachtet. (Vergl. Taf. VII Fig. 117.)

Fig. 93. Die Höhe des Cylinders ist dessen Breite annähernd gleich geworden. Nach dem Leben. 10 Uhr 50 Min. beobachtet.

Fig. 94. Ungefähres Stadium, auf welchem die Centralspindel in den Kern einwandert. Nach dem Leben. 10 Uhr 54 Min. beobachtet.

Fig. 95. Centralspindel excentrisch im Kern. Auf diesem Stadium sammeln sich bereits die Chromosomen in ihrem Äquator an. Nach dem Leben. 11 Uhr beobachtet.

Fig. 96. Ungefähre Grösse der Centralspindel, wenn sie sich in der Teilungsachse des Kerns, senkrecht auf beiden Schalenseiten, einstellt.

Erklärung der Tafel VI.

Fig. 97–104. Kern- und Zellteilung von *Pinnularia oblonga*.

Nach dem Leben und nach Präparaten (Fixierung in Pikrinschwefelsäure, Färbung mit Delafieldschem Hämatoxylin, Aufstellung in Damarlack). Vergr. der Zelle ca. 700. Alle Details der Kern- und Plasmastruktur bei Ap. 2 mm (Seibert) Oc. 12 gezeichnet. — Die die Gürtelseiten bedeckenden Chromatophoren sind der Deutlichkeit halber weggelassen.

Fig. 97. *Pinnularia oblonga* in Ruhe. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 32.) Von der Gürtelseite gesehen bietet die Diatomee die Gestalt eines langgezogenen Rechteckes mit abgerundeten Ecken dar. In der Mitte der Zelle spannt sich die centrale Plasmamasse aus, welche in ihrem Innern den kugelförmigen Kern umschliesst, dessen Struktur auch im Leben recht deutlich hervortritt. Zu beiden Seiten der Plasmamasse befinden sich konstant zwei ansehnliche Vakuolen mit je einer grossen mattglänzenden Bütschli'schen Kugel; gegen die Zellenden zu trägt jede Vakuole noch einen eigentümlichen kappenförmigen Aufsatz, welcher bei dem gezeichneten Exemplar kleine vakuolenartige Ein-

¹⁾ In dieser und in den folgenden Figuren sind die dunkleren Ansammlungen (c') z. T. etwas nach Präparaten ergänzt.

schlusse erkennen lässt. An den Enden der Zelle finden sich ebenfalls Ansammlungen von Plasma, welche im Leben sehr deutlich netzig-wabig strukturiert erscheinen und gegen Zellsaft sowie gegen Zellmembran durch einen Alveolarsaum abgegrenzt sind.

Fig. 98. Kern im Beginn des Knäuelstadiums. Ansicht von der Gürtelseite. Nach Präparaten. — Beim Beginn der Kernteilung wandern die beiden Chromatophoren nach den Schalenseiten über, wo sie sich später in der Mitte quer durchschnüren¹⁾. Die Bütschli'schen Kugeln in den Vakuolen lösen sich (nach Beobachtungen lebender Exemplare) nach und nach, während die Aufsätze der Vakuolen unter mannigfachen Formwandlungen noch längere Zeit persistieren.

Fig. 99. Kern im Stadium des Muttersterns. Ansicht von der Gürtelseite. Nach Präparaten. — Während im Kern die Chromosomen den Äquator der tonnenförmigen Spindel in einer breiten Zone einnehmen um dann gegen die Pole auseinander zu rücken, beginnt an beiden Zellenden die einschneidende Ringfalte (*r*) aufzutreten und beiderseits gegen die zentrale Plasmamasse und den Kern vorzuschieben. Die Chromatophoren, welche am Beginn der Kernteilung nach den Schalenseiten rückten, sind in ihrer Mitte geteilt. Die ganze mittlere Plasmamasse mit der Kernteilungsfigur lag einseitig einer Gürtelseite an.

Fig. 100. Kern im Dyasterstadium. Ansicht von der Gürtelseite. Nach Präparaten.

Wenn die Chromosomen sich an den Polen der Spindel zu Tochtersternen gruppieren, erreicht die einschneidende Ringfalte die mittlere Plasmamasse und dringt in diese ein.

Fig. 101. Kern am Ende des Dyasterstadiums. Beginn der Plasmazerklüftung. Ansicht von der Gürtelseite. Nach Präparaten. — Die Ringfalte ist in der mittleren Plasmamasse von beiden Seiten her gegen die Centralspindel vorgedrungen, welche sich in Gestalt der „Verbindungs-fäden“ noch ununterbrochen zwischen beiden Tochterkernen erstreckt.

Fig. 102. Kern in Rekonstruktion begriffen. Plasmamasse vollständig durchschnürt. Ansicht von der Gürtelseite. Nach Präparaten. — Die Berührungsflächen der neuen Zellwände liegen noch fest aneinander. Bei lebenden Exemplaren zeigen die Zellsaft Räume einen eigentümlichen milchbläulichen Schimmer, welcher von der Substanz der in ihnen gelösten Bütschli'schen Kugeln herrühren dürfte.

Fig. 103. Rekonstruktion der Tochterkerne fast vollendet. Beginnende Ausbildung der neuen Tochteraschen. Ansicht von der Gürtelseite. Nach Präparaten.

Fig. 104. Rekonstruktion der Kerne etc. vollendet. Beide Tochter-Zellen unmittelbar vor der Trennung. Ansicht von der Gürtelseite. Nach dem Leben.

Fig. 105. *Navicula amphibaena* (forma) im Stadium des Muttersterns. Ansicht von der Gürtelseite. Nach Präparaten. (Text pag. 80.) — Im Äquator der sehr langgestreckten Centralspindel haben sich die deutlich längsgespaltene Chromosomen in einer breiten Zone angeordnet und scheinen, wie sich aus ihrer Verteilung schliessen lässt, gerade im Beginne ihrer Überwanderung nach beiden Polen zu stehen.

Fig. 106. *Navicula amphibaena* (forma) im Stadium des Muttersterns. Polare Ansicht von der Schalenseite. Nach Präparaten. — Die Abbildung zeigt denselben Kern wie in Fig. 105, jedoch von den Polen der Spindel gesehen. Es bilden die Schleifen hier einen vollständigen Stern um die Spindel. Auffallend ist, dass die ganze Kernteilungsfigur einseitig einer Gürtelseite anliegt.

Fig. 107–110. Bütschli'sche Kugeln von *Pinnularia oblonga* in ihren Vakuolen. Die Figuren zeigen besonders die sehr verschiedene Ausbildung der den Vakuolen aufsitzenden, in Hämatoxylin nicht färbbaren Massen, welche in Fig. 108–110 noch vakuolenartige Hohlräume erkennen lassen. Vergl. Text pag. 32.

Bei der Kernteilung lösen sich die Kugeln auf. Die Vakuole bleibt mit unregelmässiger Gestalt bis zur Durchschnürung der Plasmamasse erhalten, ebenso die kappenförmigen Aufsätze, welche dabei ausserordentlich wechselnde unregelmässige Umrisse annehmen. Sie werden von der Ringfalte zerklüftet; aus den Teilhälften rekonstruieren sich die neuen Vakuolen der Tochterzellen.

¹⁾ In mehreren Fällen, wo ich neuerdings die Kernteilung *intra vitam* verfolgen konnte, war das eine Chromatophor schon vollständig geteilt, während das andere am Beginn der Einschnürung stand.

Erklärung der Tafel VII.

Tafel VII und VIII Kernteilung von *Surirella calcarata* Pfitzer.

Meist nach Präparaten. (Fixierung in Chromosmiumessigsäure, Färbung mit Delafieldschem Hämatoxylin, Aufstellung in Damarlack.) Plasmastruktur z. T. nach dem Leben ergänzt. Alle Figuren sind bei Ap. 2 mm (Seibert), Oc. 12 meist mit dem Zeichenapparat (bei mittlerer Einstellung) entworfen. Vergr. ca. 1200.

Fig. 111. Ruhender Kern von *Surirella calcarata*. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 50—51.) — Der inmitten der Plasmamasse gelegene Kern besitzt nieren- oder bohnenförmige Gestalt und wendet seine Einbuchtung stets dem breiten Zellende zu. Das Innere ist durchzogen von einem sich nur relativ schwach färbenden Gerüstwerk, welches aus Linien besteht und im Centrum etwas dichter ist als an der Peripherie. In diesem Gerüstwerk — besonders in dessen Knotenpunkten — ist das Chromatin in Gestalt zahlreicher kleiner und grösserer Körnchen eingelagert, die im Centrum des Kerns um die Nukleolen herum dichter gehäuft sind. Nukleolen (*nuc'l*) sind in dem gezeichneten Kern nicht weniger als neun vorhanden; um sie zeigt sich das Gerüstwerk radiär angeordnet. In der Einbuchtung liegt ein auch im Leben stets deutliches Centrosom (*c*), welches im ruhenden Zustand des Kerns keine deutliche Strahlung des Plasmas um sich erkennen lässt.

Fig. 112. Erstes Auftreten der Centralspindel-Anlage. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 61.) — Der Kern lässt auf diesem Stadium noch kaum tiefer greifende Veränderungen wahrnehmen. Dagegen ist das Centrosom aus der Kernbucht herausgerückt und bildet den Mittelpunkt einer schon im Leben ausgezeichnet sichtbaren Strahlung des Plasmas, welche auch über den Kern wegzieht. Hart an dem dunkel gefärbten Centrosom liegt ein gleich grosses, aber nur sehr schwach gefärbtes Kügelchen — die erste Anlage der Centralspindel (*esp*).

Fig. 113. Beginnende Umlagerung der Gerüstsubstanz des Kerns. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 62—63.) — Im Innern des Kerns beginnen sich die Chromatinkörnchen reihenweise hintereinander anzuordnen, sodass sich an verschiedenen Stellen bereits perlschnurartige Stränge vom netzig erscheinenden Gerüstwerk abheben; um die Nukleolen (*nuc'l*) herum bleibt die engmaschige Struktur noch gewahrt. Die Anlage der Centralspindel (*esp*) ist zu einer sehr blassen Kugel angeschwollen, welche an der Oberfläche des Kerns, zwischen diesem und dem Centrosom, liegt. Gegen das Centrosom ist das gesamte Plasma der Zelle strahlig angeordnet.

Fig. 114. Übergang zum Knäuelstadium. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 63.) — Während die mittlere Plasmamasse nach dem breiten Zellende hin abzufließen beginnt, verliert der von ihr umschlossene Kern allmählich seine nierenförmigen Umrisse und wird mehr ellipsoidal. Gleichzeitig tritt auch in seinem Innern immer mehr die Knäuelstruktur zu Tage, indem die perlschnurartigen Reihen von Chromatinkörnchen zu anscheinenden Fäden von vielfach gewundenem Verlaufe verschmelzen, die jedoch stets durch blasse Stränge miteinander in Verbindung stehen. Ganz im Innern des Kerns sind noch zwei sehr blasse Nukleolen (*nuc'l*) sichtbar, welche von dichteren Anhäufungen der noch nicht zu Fäden verschmolzenen Chromatinkörnchen umgeben sind. Vorn im Plasma sehen wir das Centrosom (*c*) im Mittelpunkt der plasmatischen Strahlung der Zelle und zwischen ihm und dem Kern die Centralspindel, welche hier im optischen Durchschnitt gesehen, ungefähr schiffchenförmige Gestalt hat.

Fig. 115. Stadium des dichten Knäuels. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 63—64.) — Die verästelte Plasmamasse mit dem Kern hat etwa den halben Weg zum breiten Zellende zurückgelegt. Vorn und gleichsam die Richtung bestimmend liegt das deutliche Centrosom (*c*), gegen welches sich das Plasma strahlig centriert. Hinter ihm folgt die Centralspindel (*esp*) der vorherrschenden Bewegungsrichtung parallel angeordnet. Sie erscheint jetzt im optischen Durchschnitt als stäbchenförmiges Gebilde, welches vorn in der Nähe des Centrosoms beiderseits dunkler gefärbte Ansammlungen von ungefähr halbkugelige Gestalt erkennen lässt (*c'*), die sich später zu Centrosomen differenzieren. Den Beschluss macht der Kern, welcher eine mehr dreieckige Gestalt angenommen hat, wobei eine etwas vorgezogene Ecke gegen Centrosom und Centralspindel hinschaut. Sein ganzes Inneres ist durchzogen von einem feinfädigen, dicht gewundenen Knäuelwerk, zwischen dessen vielfachen Windungen sich überall sehr blasse Verbindungsfäden ausspannen. Die dunklen Punkte zwischen den Windungen sind Durchschnitte von Fäden, welche senkrecht zur Bildfläche verlaufen. Im Plasma zeigen sich zahlreiche Doppelstäbchen (*dsp*), parallel der Richtung der „Fibrillen“ des Plasmas angeordnet.

Fig. 116. Übergang zum lockeren Knäuel. Ansicht von der Gürtelseite. Plasma und Kern haben das Ziel ihrer Wanderung, das breite Zellende, beinahe erreicht. Zunächst der Zellmembran liegt das Centrosom (c), weiter nach hinten die Centralspindel (cs), welche eigentümliche Wandlungen ihrer Gestalt durchmacht, und schliesslich der Kern. Dessen Umrisse sind jetzt etwas unregelmässig geworden; in seinem Innern hat sich das dichte Knäuelwerk des vorhergehenden Stadiums ziemlich bedeutend gelockert, wobei die Knäueläden gleichzeitig dicker geworden sind. Im Plasma zahlreiche kurze Doppelstäbchen (ds).

Fig. 117. Stadium des lockeren Knäuels. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 64-65.) — Die Centralspindel (cs) hat die Gestalt eines niederen Cylinders angenommen, welcher seine Mantelfläche der Gürtelseite zukehrt und in der Richtung des Auswachsens auf seiner Oberfläche eine zarte Streifung erkennen lässt. Die beiden Polflächen sind konkav gewölbt und zeigen an der dem breiten Zellende zugekehrten Seite dunkle, fast kugelige Körper (c'), welche im weiteren Verlaufe der Kernteilung die Rolle von Centrosomen spielen. Das eigentliche Centrosom (c) erscheint gegen früher bedeutend kleiner und liegt hart an der Centralspindel. Im Kern zerfallen die Knäueläden in einzelne gewundene Segmente, welche durch sehr blasse Verbindungsstränge in ihrer Lage erhalten werden.

Erklärung der Tafel VIII.

Fortsetzung der Kernteilung von *Surirella calcarata*.

Fig. 118. Einrücken der Centralspindel in den Kernraum. Beginn der Längsspaltung der Chromosomen. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 66.) — Unter fortwährender Grössenzunahme hat sich die Centralspindel (cs) in den Kernraum hineingesenkt und liegt nunmehr excentrisch in der Masse der Chromosomen. Letztere haben sich zum grössten Teil schleifenförmig gekrümmt; viele zeigen sich bereits längsgespalten, wobei beide Hälften noch zusammenkleben.

Fig. 119. Beginnende Anordnung der längsgespalten Chromosomen im Äquator der Centralspindel. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 66.) — Die Centralspindel, welche seit ihrer Einwanderung in den Kernraum noch bedeutend an Volumen zugenommen hat, ist nach der Mitte des Kerns gerückt und hat sich hier in der Richtung der Zellteilungsachse, also senkrecht auf beiden Schalenseiten, orientiert. Ihre Gestalt ist jetzt eine sehr deutlich garbenförmige, wobei sich die zarte Faserung ihrer Oberfläche kontinuierlich von einer der breiten gerundeten Polflächen zur anderen verfolgen lässt. Um die Centralspindel herum liegen zahlreiche meist Uförmig gekrümmte Chromosomen, die sich in dem etwas dunkler gefärbten Äquator der Centralspindel anzuordnen beginnen.

Fig. 120. Bildung des Chromosomenrings im Äquator der Spindel. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 65-67.) — Die Mehrzahl der Chromosomen hat sich im Äquator der Spindel in Gestalt eines breiten Ringes zusammengeschlossen, in welchem die einzelnen Chromosomen nur schwer zu unterscheiden sind. Einige Chromosomen liegen noch frei in dem gegen das Plasma ziemlich undeutlich begrenzten Kernraum oder streben gleichfalls der Mitte der Spindel zu.

Fig. 121. Derselbe Kern wie in Fig. 120 in polarer Ansicht. Von der Schalenseite gesehen. — Hier fällt besonders auf, dass die Centralspindel scharf und doppelt konturiert ist. Die einzelnen Chromosomen des dunklen Ringes sind etwas zu deutlich eingezeichnet.

Fig. 122. Stadium des „Muttersterns“. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 67.) — Diese mit Ausnahme der beiden Centrosomen vollständig nach dem Leben gezeichnete Figur lässt die Centralspindel (cs) in ihrer garbenförmigen Gestalt, mit ihrer kontinuierlich von Pol zu Pol ziehenden Faserung auf das schärfste hervortreten. Die Masse der ringförmig um den Äquator angesammelten Chromosomen erscheint bei der wiedergegebenen mittleren Einstellung in Gestalt zweier grauer gerundeter Hügel, in denen einzelne Chromosomen im Leben höchstens nur in ganz schattenhaften Umrissen wahrzunehmen sind. Zu beiden Seiten der durch dicke dunkle Linien begrenzten bogenförmigen Polflächen liegen, wie aus Präparaten hervorgeht, zwei ziemlich grosse, ausserst blasse Centrosomen (c), welche aus den auf früheren Stadien zu beobachtenden dunkleren Ansammlungen an den Seiten der

Centralspindel hervorgegangen sind und wie diese einseitig den Polflächen anliegen. Das die Kern-
teilungstügel umgebende Plasma mit seinen zahlreichen eingelagerten Doppelstäbchen ist deutlich nach
den Centrosomen hin strahlig angeordnet.

Fig. 123. Beginnende Teilung des Chromosomenrings. Ansicht von der Gürtel-
seite. (Text pag. 68.) — Wie die vorige Figur ist auch diese mit Ausnahme der Centrosomen nach dem
Leben gezeichnet. Der die Centralspindel unmittelbar umgebende Teil des Chromosomenringes hat sich
an dieser etwas gegen beide Pole hingezogen, wobei in der Mitte des Ringes gleichzeitig eine helle
Trennungslinie sichtbar wird. Die einzelnen Chromosomen sind wie auf dem vorhergehenden Stadium
nur sehr verschwommen wahrzunehmen; an Präparaten sind sie jedoch etwas deutlicher. Die bogen-
förmige Begrenzung der Plasmamasse tritt seitlich sehr nahe an die Pole und Centrosomen heran.

Fig. 124. Auseinanderrücken der Tochterchromosomenringe. Ansicht von der
Gürtelseite. (Text pag. 69.) — Während die bis dahin garbenförmige Centralspindel mehr cylindrische
Form annimmt und sich in die Länge streckt, rücken die ringförmig zusammenschliessenden Chromo-
somen immer weiter auseinander, wobei sie an Präparaten etwas deutlicher hervortreten als früher.
Die bogenförmig begrenzten Pole der Centralspindel erscheinen durch eine dunkle Linie gegen die
übrige Partie abgegrenzt; die grossen blassen Kugeln der Centrosomen (c) sowie die Strahlung des
Plasmas treten auf diesem Stadium deutlicher hervor als früher. Gleichzeitig sammelt sich auch immer
mehr Plasma an den Polen der Spindel an, sodass die Begrenzungslinien der Plasmamasse immer weiter
von denselben wegrücken.

Fig. 125. Ungefähr Dyasterstadium. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 69.)
— Die Ringe der Tochterchromosomen sind auf der Centralspindel entlang gleitend bis nahe an die Pole
hin vorgerückt. Dabei hat sich die Öffnung der Ringe immer mehr verengt und die polaren Enden der
Spindel zum Teil schon von dem äquatorialen Teil abgeschnürt; die Pole sitzen in Gestalt abgerundeter
etwas glänzender Gebilde gleichsam pfropfenförmig den schwach eingebuchteten Chromosomenringen auf.
Dabei ist die Kontinuität der Fasern der Centralspindel noch vollständig erhalten und deren äquatorialer
Teil spielt die Rolle der „Verbindungs-fäden“ (*connecting*).

Fig. 126. Beginnende Halbierung der Centralspindel. Ansicht von der Gürtel-
seite. (Text pag. 70.) — Die vom schmälern Zellende her vordringende Ringfalte hat die Plasmamasse
erreicht und beginnt dieselbe, von aussen nach innen einschneidend, zu zerklüften. Auf dem dargestellten
Stadium ist sie noch nicht bis zu der Centralspindel resp. den „Verbindungs-fäden“ vorgedrungen, deren
Fasern etwas wellig hin- und hergebogen erscheinen. Die centrale Öffnung der Chromosomenringe hat
sich noch mehr verengt und die fast vollständig abgeschnürten Spindelenden liegen zum Teil etwas in
die Tochterkerne hineingesenkt. Die Ansammlungen von Plasma an den Polen der Spindel sind beträcht-
lich breiter geworden.

Fig. 127. Zerklüftung der Kerne sowie der Plasmamasse vollendet. Ansicht von
der Gürtelseite. (Text pag. 70.) — Durch die einschneidende Ringfalte ist das Plasma in zwei
Hälften zerklüftet und dadurch der Zusammenhang beider Tochterkerne definitiv unterbrochen worden.
Die „Verbindungs-fäden“ wurden sehr wahrscheinlich durch das noch nicht vollständig geschlossene Loch
der Tochterkerne in die polaren Spindelenden eingezogen, welche jetzt als ovale scharf begrenzte Körper
einander symmetrisch an den Kernpolen gegenüber liegen. Im Innern der Kerne lassen sich in der
stark gefärbten Grundmasse zahlreiche dunkle gewundene Stränge unterscheiden.

Fig. 128. Derselbe Kern wie in Figur 127 in anderer Ansicht. (Text pag. 70—71.) —
An isolierten Kernen dieses Stadiums lässt sich erkennen, dass der Kern in Wirklichkeit nierenförmige
Gestalt besitzt und seine Einbuchtung den Schalenseiten zugekehrt. Die Chromosomen ziehen als dunkle
gewundene Stränge gegen die Mitte des Kerns, wo die frühere centrale Öffnung des Ringes noch als
Spalt persistiert.

Fig. 129. Beginnende Rekonstruktion der Tochterkerne. Ansicht von der Gürtel-
seite. (Text pag. 71.) — Die Plasmamassen beider Tochterkerne sind durch einen schon ziemlich
breiten Zwischenraum getrennt. Die Tochterkerne, welche stark gekrümmt sind, haben sich gegen das
vorhergehende Stadium um etwa 90° gedreht und wenden ihre Einbuchtung dem breiten Zellende zu.
In ihrem Innern beginnt die Sonderung des Gerüstwerkes in seine einzelnen Bestandteile. Von der jetzt
wieder deutlicher hervortretenden Kernmembran strahlen radienartig dunkel gefärbte Balken gegen die
Mitte, welche mit zahlreichen grösseren und kleineren, durch Linienstränge verbundenen Chromatin-
kugeln erfüllt ist. Ganz im Innern persistiert noch der Kernspalt als heller Raum, welcher an den
Präparaten frei von Gerüstwerk erschien. Die Centrosomen (c) liegen als dunkle Kugeln vor der Ein-
buchtung der Kerne und lassen um sich eine schwache Strahlung des Plasmas erkennen.

Fig. 130. Weiteres Stadium der Rekonstruktion der Tochterkerne. Ansicht von der Gürtelseite. (Text pag. 72.) — Beide Plasmamassen sind nach der Zellmitte zurückgewandert und beginnen die neuen Tochterchalen auszubilden. Die Kerne, deren Langsdurchmesser noch ungefähr parallel der Längsachse der Zelle verläuft, sind gegen die Zellmitte zu schwach eingebuchtet. In ihrem Innern haben sich die dunkeln, von der Kernmembran nach der Mitte strebenden Balken aufgelöst in blasse verflochtene Linienstränge, welche mit zahlreichen Chromatinkörnchen besetzt sind. In der Mitte des Kerns ist der frühere Spalt immer noch andeutungsweise wahrzunehmen, umgeben von zahlreichen dicht gedrängten Chromatinkugeln. Die Centrosomen (c) liegen an den Einbuchtungen und lassen zwischen sich und dem Kern eine deutliche Strahlung des Plasmas erkennen.

Erklärung der Tafel IX.

Kern- und Zellteilung von *Surirella calcarata* Pfitzer.

Alle Figuren zeigen die Diatomeenzelle von der Gürtelseite. Die Kernteilungsbilder sind meist nach Präparaten gezeichnet¹⁾, das Plasma sowie die Chromatophoren wurden nach dem Leben wiedergegeben. Vergr. der Zelle ca. 500; die Details der Kernstrukturen wurden bei Ap. 2 mm (Seibert) Oc. 12 gezeichnet und entsprechend verkleinert.

Fig. 20. *Surirella calcarata* Pfitzer. Ansicht von der Gürtelseite. Einstellung auf die Mitte der Zelle. (Text pag. 19, 26–27.) — Unter den seitlichen Flügeln des keilförmigen Zellraumes ist der die Medianlinie der Schalen einnehmende Kiel sichtbar, welcher vorn als anschlicher Sporn (a) vorspringt, in welchen sich ein Fortsatz des Chromatophors hinein erstreckt; der dem schmälern Zellende zugekehrte Sporn (b) ist viel niedriger als der andere. Im Innern der Zelle spannt sich die centrale Plasmamasse aus und entsendet vier fibrillär gestreifte Stränge nach den Zellenden; seitlich setzt sie sich mit mehreren wurzelähnlichen Ausläufern an die Schalen an. Sie umschliesst einen nierenförmigen Zellkern (m), in dessen Einbuchtung das Centrosom als dunkles Kügelchen liegt. Die Wölbungen der Schalen überspannenden beiden Chromatophoren sind als gelbbraune Flächen sichtbar, welche um den Kern eine ungefähr halbkreisförmige Bucht bilden und hinter diesem durch eine quere Brücke verbunden sind. Wie das Plasma setzen sich auch die Chromatophoren nicht mit ihrer ganzen Fläche den Schalen an, sondern durch mehrere Ausläufer. Zahlreiche Butschliche Kügelchen gleiten an den Rändern der Plasmamasse hin und her.

Fig. 131. Beginn der Kernteilung. Strahlung des Plasmas (Text pag. 61.) — Die ersten Anzeichen der beginnenden Kernteilung bestehen darin, dass das Centrosom aus dem Innern der Kernbucht herausrückt und zum Mittelpunkt prächtiger Strahlungserscheinungen des gesamten Zellprotoplasmas wird; gleichzeitig entsenden die nach dem breiteren Zellende hinziehenden stark fibrillär gestreiften Plasmastränge mehrere schwächere Ausläufer, die sich oft wieder verästeln. Zwischen Centrosom und Kern ist auf der Figur die Anlage der Centralspindel bereits sichtbar. Die in dem wandständigen Plasmanschlauch eingebetteten Chromatophoren, welche während der Kernruhe vielfach gelappt und eingebuchtet die Gürtelseiten bedecken — vergl. Fig. 10 Taf. II. — ziehen sich beim Beginn der Kernteilung immer mehr nach den Seiten zurück; gleichzeitig werden auch die in die Querkanäle der Flügel eindringenden Ausläufer der Chromatophoren allmählich aus diesen zurückgezogen. — An den Rändern der Plasmamasse bewegen sich zahlreiche Butschliche Kügelchen.

Fig. 132. Wanderung des Plasmas nach dem breiten Zellende. Kern im Knäuelstadium. (Text pag. 62–64.) — Die verästelte Plasmamasse hat etwa die Hälfte des Weges zum breiten Zellende zurückgelegt. Vorn und gleichsam die Richtung der Wanderung bestimmend, liegt das Centrosom, gegen welches das Plasma strahlend angeordnet ist. Hinter ihm folgt die Centralspindel, im optischen

¹⁾ Die Stadien der eigentlichen Karyokinese sind im Vergleich zur Grösse der Zelle etwas zu gross wiedergegeben.

Durchschnitt stabförmig erscheinend, und schliesslich der ungefähr dreieckige Kern, dessen Inneres von einem dichten Knäuelwerk erfüllt ist.

Fig. 133. Plasma mit Kern am breiten Zellende. Centralspindel im Auswachsen begriffen. (Text pag. 64.) — Die Plasmamasse hat das Ziel ihrer Wanderung, das breite Zellende erreicht, wo sie sich der Zellmembran anschmiegt und nach hinten zwei breite, fibrillär gestreifte Stränge entsendet. Während der Kern in das Stadium des lockeren Knäuels getreten ist, hat sich die Centralspindel in der Richtung der Schalenseiten gestreckt, wobei an ihrer Oberfläche eine zarte Streifung hervorgetreten ist; das Centrosom liegt noch als kleines Kügelchen hart an der Centralspindel. — Je weiter die Kernteilung vorschreitet, desto breiter werden die Gürtelseiten, weil die beiden übereinandergreifenden Schalenhälften immer mehr auseinanderrücken, wie ein Vergleich der Figuren ergibt.

Fig. 134. Kern im Stadium des Muttersterns. Beginnendes Auftreten der einschneidenden Ringfalte am schmälern Zellende. (Mit Ausnahme der Centrosomen nach dem Leben gezeichnet.) (Text pag. 68.) — Die Centralspindel ist in den Kern eingerückt, hat sich hier bedeutend vergrössert; die Chromosomen haben sich um ihren Äquator in Gestalt eines breiten Ringes angeordnet, der bei der in der Figur wiedergegebenen mittleren Einstellung in Gestalt zweier grauer Flügel zu beiden Seiten der Centralspindel erscheint. An beiden Polen der garbenförmig-cylindrischen Spindel liegen einseitig die Centrosomen, gegen welche vorherrschend die Strahlung des Plasmas gerichtet ist. Die den Kern umschliessende Plasmamasse ist beiderseits stark bogenförmig ausgeschweift und dringen hier die Begrenzungslinien bis in die Nähe der Centralspindel vor. Am schmalen Zellende hat sich ebenfalls Protoplasma angesammelt, von welchem aus die einschneidende Ringfalte (77), umgeben von zahlreichen Bütschli'schen Kügelchen, gegen den Kern vorzuschreiten beginnt.

Fig. 135. Kern im „Dyasterstadium“. Vordringen der Ringfalte. (Text pag. 69–70.) — Die einschneidende Ringfalte, von Bütschli'schen Kügelchen begleitet, hat die Zellmitte erreicht und schiebt die Verbindungsbrücke der die Schalen überwölbenden Chromatophoren in einem immer spitzer werdenden Winkel vor sich her. Im Kern sind die Chromosomen auseinander gerückt und befinden sich jetzt im sog. „Dyasterstadium“. Die Strahlung des Plasmas gegen die einseitig an den Polen der Centralspindel gelegenen Centrosomen ist recht deutlich.

Fig. 136. Beginnende Zerklüftung des Plasmas und des Kerns. (Text pag. 70.) — Die einschneidende Ringfalte ist bis zur Plasmamasse vorgeschritten und beginnt dieselbe, von aussen nach innen vordringend, zu zerklüften. Sie hat dabei die Centralspindel noch nicht erreicht, welche sich kontinuierlich zwischen beiden Tochterkernen ausspannt und einen etwas welligen Verlauf ihrer Fasern erkennen lässt. Die polaren Enden der Spindel erscheinen etwas in die Tochterkerne eingesenkt; gegen die Centrosomen ist das Plasma sehr deutlich strahlig centriert. Die beiden Hälften der Chromatophorenbrücke, welche von der Ringfalte bis in die Nähe der Plasmabrücke geschoben und hier erst durchschnürt wurden, springen noch in der zuletzt innegehabten Lage gegen die Medianlinie der Zelle vor.

Fig. 137. Plasma und Kerne durchschnürt. (Text pag. 70.) — Die Plasmamasse hat sich gespalten, auch am schmalen Ende beginnt die Trennung deutlicher zu werden. Die Kerne liegen einander symmetrisch gegenüber, ebenso die an ihren Polflächen befindlichen abgeschnürten Spindelenden, gegen deren Centrosomen sich die Strahlung des Protoplasmas richtet.

Fig. 138. Beginnende Rekonstruktion der Tochterkerne. Auseinanderücken der neu gebildeten Zellmembranen. (Text pag. 70.) — Aus der einschneidenden Ringfalte haben sich die neuen Zellhäute der beiden Tochterzellen gebildet und beginnen diese jetzt immer mehr auseinanderzuweichen; auch die übereinandergreifenden Hälften der Mutterzelle berühren sich nur noch sehr wenig. Die Kerne der Tochterzellen haben sich nach beiden Schalenecken zurückgezogen und beginnen sich hier zu rekonstruieren, wobei sie sich so drehen, dass ihre Einbuchtung schliesslich gegen die neugebildeten Zellmembranen hin zu liegen kommen.

Fig. 139. Plasma mit Kern in beiden Tochterzellen auf der Rückwanderung nach der Zellmitte begriffen. (Text pag. 72.) — Sobald die Kerne beider Tochterzellen sich soweit gedreht haben, dass ihre Einbuchtungen sowie die Centrosomen den neuen Tochterschalen zugekehrt sind, beginnen die beiderseitigen Plasmamassen wieder nach der Mitte der Zelle zurückzuwandern. Auf dem in der Figur dargestellten Stadium haben sie etwa die Hälfte ihres Weges zurückgelegt. Die Kerne sind schwach eingebuchtet und erstrecken sich in ihrer grössten Ausdehnung parallel der Längsachse der Zelle; von ihren vor den Einbuchtungen gelegenen Centrosomen zieht eine plasmatische Strahlung gegen die Oberfläche der Kerne. Der Zwischenraum zwischen beiden Tochterzellen vergrössert sich immer mehr.

Fig. 140. Ausbildung der Flügel an den neuen Schalenhälften. Plasma mit Kern wieder in der Zellmitte. (Text pag. 72–73.) — Die neugebildeten Zellmembranen beider Tochterzellen haben sich abgerundet und mit der Bildung der Flügel begonnen, welche anfangs als zarte Falten der

Zellhaut angelegt worden; die verschiedenen Kanäle der Flügel sind jene Stellen, an denen sich beide Blätter der Falten nicht aneinander legten. Die Plasmamassen sind wieder in der Mitte der Zelle angekommen und entsenden je vier fibrillär gestreifte Strange. Die innere Struktur der Kerne ist beinahe vollständig wieder die des ruhenden Zustandes, da auch die Nukleolen wieder sichtbar sind, hingegen liegen die Kerne immer noch mit ihrem grössten Durchmesser parallel der Längsachse der Zelle und wenden ihre Einbuchtungen mit den Centrosomen einander zu. Erst später, nach der Teilung der Chromatophoren, orientieren sie sich in den auseinandergewichenen Tochterzellen wieder so, dass Kernbucht und Centrosom gegen das breite Zellende hinschauen.

Erklärung der Tafel X.

Bewegung der Diatomeen und Oscillarien.

Fig. 141. *Pinnularia maior* während der Bewegung; in Tuscheemulsion. Ansicht von der Gurtelseite. (Text pag. 115 fl.) — Bringt man sich lebhaft bewegende *Pinnularien* in eine ziemlich stark konzentrierte Tuscheemulsion, so sieht man, dass die Tuschekörnchen, locker mit einander vereinigt, von dem bei der Bewegung nach vorn gerichteten Ende der Diatomee gegen die Mittelknoten hingeführt werden. Dieser zuführende Körnchenstrom (33) ist relativ breit und verläuft in ziemlicher Entfernung von der Oberfläche des Kieselpanzers und zieht sich in einem steilen Bogen gegen die vordere Öffnung des Mittelknotens herab; von hier aus schiesst beiderseits ein mit Tuschekörnchen dicht besetzter Faden raketenartig nach hinten, wo er sich aufknäuel.

Fig. 142. *Pinnularia maior* während der Bewegung; in Tuscheemulsion. Ansicht von der Schalenseite. (Text pag. 115 fl.) — Die Oberfläche des Kieselpanzers zeigt in ihrer Medianlinie die Raphe, welche in wellenförmig gebogenem Verlaufe von den Endknoten der Zelle gegen die Mitte verläuft. Zu beiden Seiten der Raphe sind die zahlreichen sog. „Riefen“ sichtbar, Kammern im Innern des Kieselpanzers. Vom vorderen Endknoten der Zelle her bewegt sich entlang der Raphe ein Strom von Tuschekörnchen, die nur ganz lose mit einander verbunden erscheinen. Vom vorderen den Centralknoten durchbrechenden Kanal schiesst raketenartig ein Gallertfaden mit reihenweise verklebten Tuschekörnchen nach hinten, wo er sich aufknäuel, während die Diatomee in der Pfeilrichtung sich fortbewegt.

Fig. 143–146. Bildung des Gallertfadens bei *Pinnularia maior*. Ansicht von der Schalenseite. Nur die mittlere Partie der Diatomee ist gezeichnet.

Fig. 143. Die vom vorderen Körnchenstrom nach dem Centralknoten geführten Tuschekörnchen erscheinen in der Gegend des vorderen Centralknotenkanals mit einander verklebt.

Fig. 144. Ein Teil der Körnchen wird durch ein aus der Kanalöffnung austretendes gallertiges Bindemittel zu einem wurstförmigen Gebilde verklebt, welches sich nach vorn krümmt.

Fig. 145. Mit einem Ruck schessen die verklebten Tuschekörnchen in Gestalt eines Fadens nach hinten, wobei sich, wie

Fig. 146 zeigt, der Faden immer länger ausspinnet und schliesslich das 5–6fache der Schalenslänge erreichen kann.

Fig. 147–148. Gallertmantel von *Pinnularia maior*. Nur die Umrisse des Kieselpanzers gezeichnet. (Text pag. 115.)

Fig. 147 zeigt eine mit wässriger Methylblausolung gefärbte Diatomee, wobei deren sonst völlig unsichtbare gallertartige Umhüllung deutlicher hervortritt. Der Gallertmantel erscheint unter dem Einfluss des Farbstoffes ziemlich stark kontrahiert und an seiner Oberfläche unregelmässig gelappt und gefaltet; im Innern macht sich eine zarte Körnelung bemerkbar.

Fig. 148. Dieselbe Diatomee bei Ansicht von der Schalenseite.

Fig. 149. Ruhendes Exemplar von *Pinnularia* in konzentrierter Tuscheemulsion. (Text pag. 115.) — Die Zelle ist umhüllt von einer hyalinen Gallerte, welche an den Enden der Zelle,

sowie in der Gegend der beiden Mittelknoten in symmetrischer Weise unterbrochen ist, sodass hier die Tuschekörnchen bis an den Panzer herantreten können. Das Exemplar liess bei längere Zeit hindurch andauernder Beobachtung keine Bewegung erkennen.

Fig. 150. Kriechender Oscillaria-Faden in Tuscheemulsion. (Text pag. 130.) — Zu beiden Seiten des vorwärts kriechenden Fadens ist eine äusserst schmaler hyaliner Saum sichtbar, als optischer Durchschnitt der Wandung eines von der Oberfläche des Fadens abgeschiedenen Gallertschlauches, welche sich immer mehr verlängert, je weiter die Oscillarie kriecht. In einiger Entfernung von der Alge erscheint der Schlauch als heller Streifen, welcher spiralig gedreht ist und da und dort mit festgeklebten Sandkörnchen besetzt ist. Über der Oscillarie werden kleine Tuschekörnchen in spiraligen Bahnen nach hinten geführt; vorne vollführt der Faden pendelnde Bewegungen.

Verbesserungen.

Seite 4 Zeile 6 von unten statt (81) lies (83).

Seite 70 Zeile 4 von unten statt (Fig. 119 Taf. VIII) lies (Fig. 127 Taf. VIII).

Seite 70 Zeile 3 von unten statt Fig. 120 lies Fig. 128.

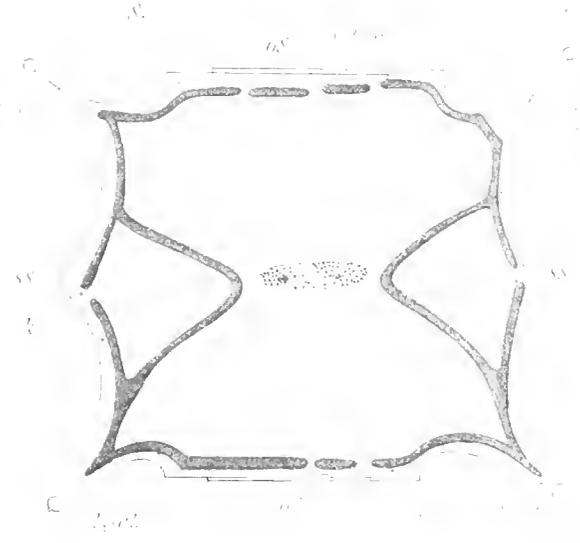
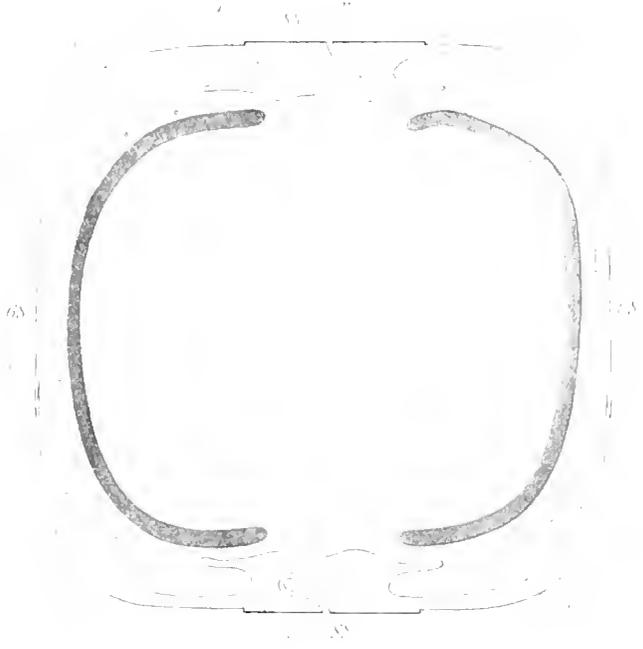
Auf Seite 111 ist noch einzuschalten, dass die von mir versuchte Ableitung des Centrosoms in scharfem Gegensatz zu den Anschauungen Julins (73) und Henneguy's (62) steht, nach welchen das Centrosom (ebenso wie die Nukleolen und der sog. „Dotterkern“) dem Makronucleus der Infusorien homolog ist, während dem Mikronucleus die chromatischen Bestandteile des Zellkerns gleichzusetzen sind.

Tafel I.

Tafel I.

Ausführliche Tafelerklärung Seite 147-148.

- Fig. 1. *Pinnularia maior*. Querschnitt durch die Zelle aus der Gegend zwischen Zellende und mittlerer Plasmaansammlung.
- Fig. 2. Querschnitt durch eine Schalenhälfte von *Pinnularia maior*, ebenfalls aus der Region zwischen Mitte und Ende der Zelle.
- Fig. 3-7. Verschiedene Querschnitte der Raphe aus der Region zwischen Mitte und Ende der Zelle.
- Fig. 8. Querschnitt durch *Surirella calcarata* in der Mitte der Zelle.
- Fig. 9. Stück eines Flügels von *Surirella calcarata*. Ansicht von der Fläche.
- Fig. 10. Querschnitt eines Flügels von *Surirella calcarata*. Der Schnitt geht durch einen Querkanal.
- Fig. 11. Stück eines Flügels von *Surirella calcarata*. Ansicht senkrecht auf den Flügel.
- Fig. 12. Wie vorige Figur, tiefe Einstellung.
- Fig. 13. Partie der oberflächlichen Chromatophoren der Gürtelseiten von *Surirella calcarata*.



101

101

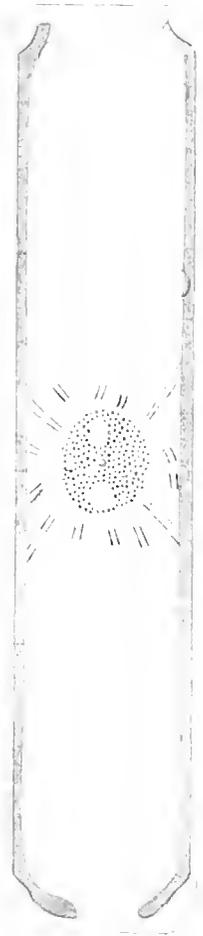
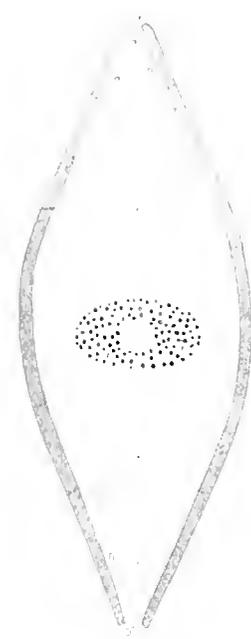
Tafel II.

Tafel II.

Ausführliche Tafelerklärung Seite 148--150.

- Fig. 14. *Stauroneis acuta*. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 15. *Navicula cuspidata*. Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 16. *Navicula cuspidata*. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 17. *Cymbella cuspidata*. Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 18. *Pinnularia maior*. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 19. *Surirella calcarata*. Ansicht von der Gürtelseite. Hohe Einstellung¹⁾.
- Fig. 21. *Cyclotella comta* Kütz. var. *radiosa*. Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 22. Ruhender Kern von *Nitzschia sigmoidea*. Ansicht von der Gürtelseite.
Nach dem Leben.

¹⁾ Fig. 20 (*Surirella calcarata* bei mittlerer Einstellung) befindet sich auf Tafel IX.



18.

19.

20.

21.

22.

Tafel III.

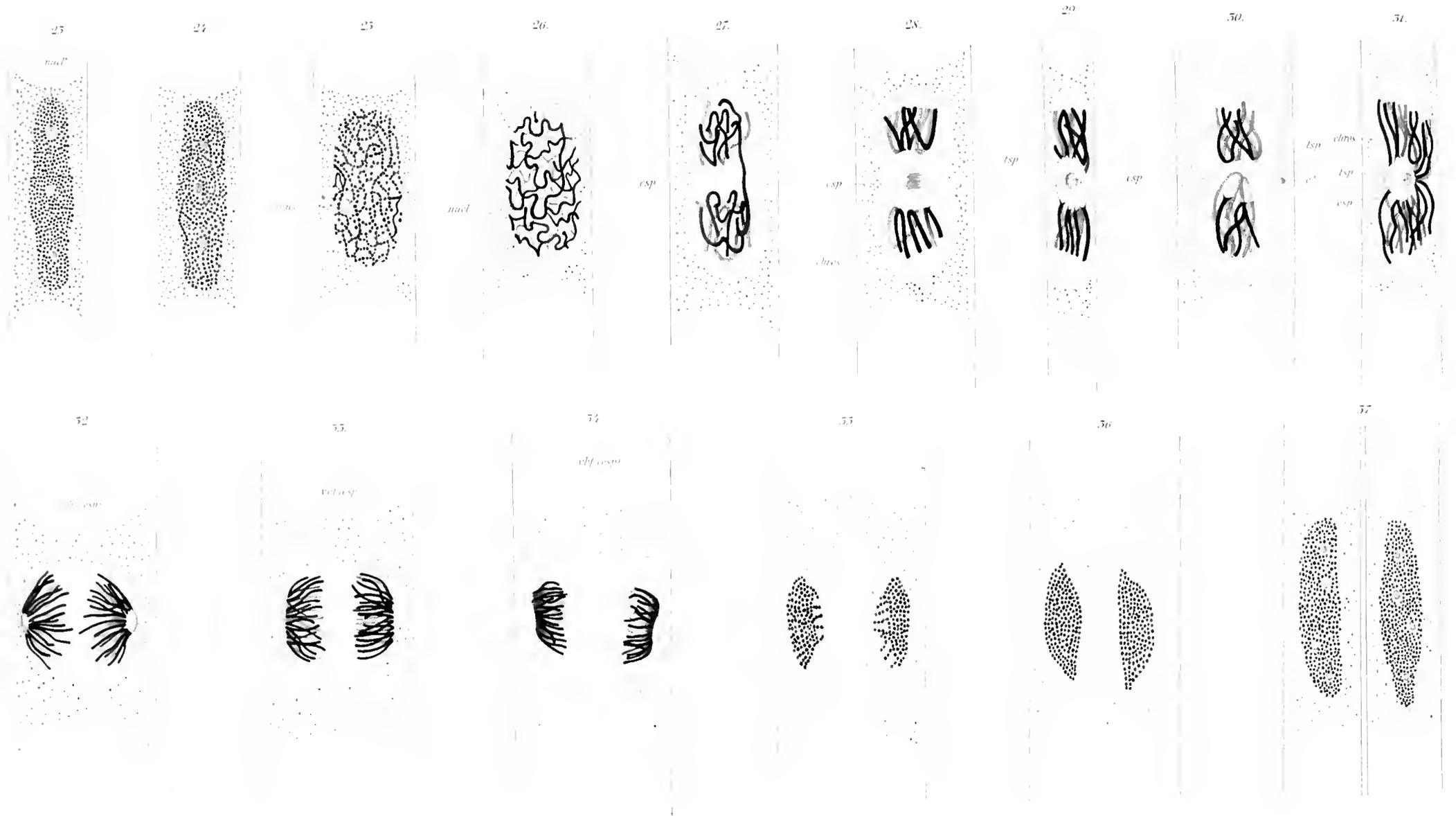
Tafel III.

Ausführliche Tafelerklärung Seite 150-152.

Kernteilung von *Nitzschia sigmoidea*.

- Fig. 23. Ruhender Kern. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 24. Übergang zum Knäuelstadium. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 25. Übergang zum Knäuelstadium. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 26. Knäuelstadium. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 27. Übergang zum Mutterstern. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 28. Stadium des Muttersterns (Kernplatte). Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 29. Stadium des Muttersterns (Kernplatte). Polare Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 30. Ähnliches Stadium wie Fig. 28. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 31. Polare Ansicht der Fig. 30. Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 32. Dyaster-Stadium. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 33. Weiter vorgeschrittenes Stadium. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 34. Beginn der Durchschnürung. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 35. Beginnende Rekonstruktion der Tochterkerne. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 36. Weiteres Stadium der Rekonstruktion der Tochterkerne. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 37. Rekonstruktion der Tochterkerne vollendet. Ansicht von der Gürtelseite.





Tafel IV.

Tafel IV.

Anstehliche Tafelerklärung Seite 152-154.

Fig. 38-46 Kernteilung von *Pleurosigma attenuatum*.

- Fig. 38-39. Ruhender Kern. Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 40. Übergang zum Knäuelstadium. Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 41. Knäuelstadium. Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 42. Knäuelstadium. Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 43. Einrücken der Centralspindel in den Kern. Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 44. Derselbe Kern wie Fig. 43, etwas gedreht und mehr von der Gürtelseite.
- Fig. 45. Mutterstern. Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 46. Übergang vom Tochterstern zum Tochterknäuel. Ansicht von der Schalenseite.

Fig. 47-52 Stadien der Kernteilung von *Pinnularia viridis*.

- Fig. 47. Kern in dem Anfangsstadium der Teilung. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 48. Stadium aus dem Beginn der Knäuelbildung. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 49. Knäuelstadium. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 50. Stadium des Muttersterns (Kernplatte). Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 51. Polare Ansicht des Chromosomenringes. Von der Schalenseite gesehen.
- Fig. 52. Endstadium der Tochtersterne. Ansicht von der Gürtelseite.

58.



nuc

59.



nuc

60.

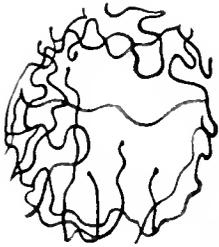


61.

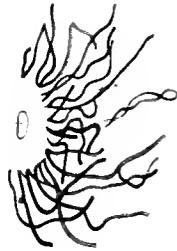


nuc

62.



63.

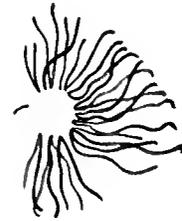


chros

64.



65.



66.

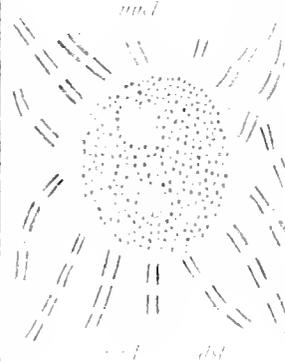


chros

67.



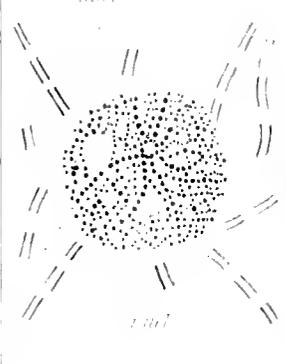
68.



nuc

nuc

69.



nuc

nuc

70.



chros

71.



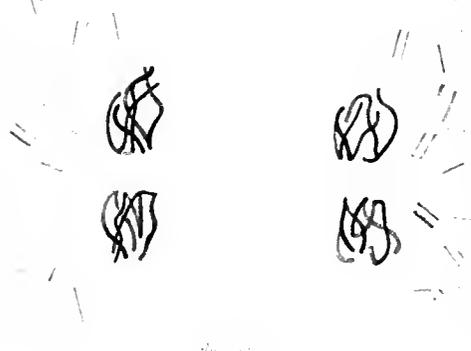
nuc esp

72.



esp nuc

73.



chros esp

Tafel V.

Tafel V.

Ausführliche Tafelerklärung Seite 154-157.

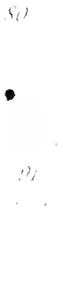
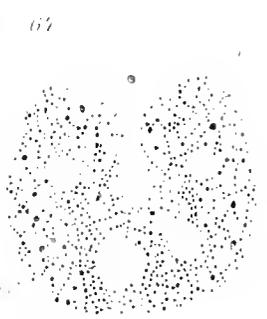
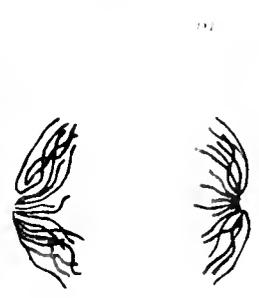
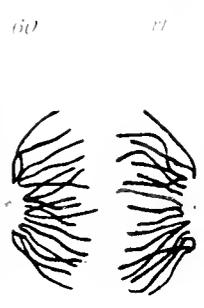
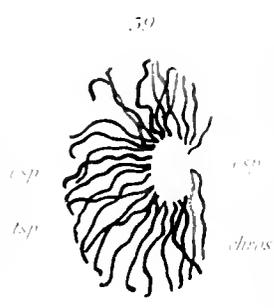
Fig. 53-63 Kernteilung von *Pinnularia oblonga*.

- Fig. 53. Ruhender Kern. Ansicht von der Gürtelseite.
Fig. 54. Übergang zum Knäuel. Ansicht von der Gürtelseite.
Fig. 55. Knäuelstadium? Ansicht von der Gürtelseite.
Fig. 56. Übergang zum Mutterstern. Ansicht von der Gürtelseite.
Fig. 57. Derselbe Kern, wie Fig. 56, in polarer Ansicht.
Fig. 58. Stadium des Muttersterns. Ansicht von der Gürtelseite.
Fig. 59. Stadium des Muttersterns. Polare Ansicht von der Schalenseite.
Fig. 60. Dyaster-Stadium. Ansicht von der Gürtelseite.
Fig. 61. Ende des Dyaster-Stadiums. Ansicht von der Gürtelseite.
Fig. 62. Rekonstruktion der Tochterkerne. Ansicht von der Gürtelseite.
Fig. 63. Rekonstruktion der Tochterkerne fast vollendet. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 64. Kern von *Surirella biseriata*. Ansicht von der Gürtelseite.
Fig. 65. Kern von *Pinnularia maior* in Ruhe.

Fig. 66-69. Drei Stadien der Kernteilung der Desmidiaceen.

- Fig. 66. Ruhender Kern.
Fig. 67. „Knäuel“stadium.
Fig. 68. Stadium der Kernplatte.
- Fig. 69. Ruhender Kern von *Cymatopleura Solea*.
Fig. 70-74. Bütschliche Kugeln der *Navicula cuspidata* bei Einwirkung künstlicher Verdauung sowie 0,2% Salzsäure.
Fig. 75-76. Bütschliche Kugeln von *Navicula cuspidata* bei Einwirkung von Ferrocyankalium-Essigsäure.
Fig. 77. Wahrscheinliche Teilungszustände der Bütschlichen Kugeln von *Surirella calcarata*.

Fig. 78-96. Entstehung und Entwicklung der Centralspindel.



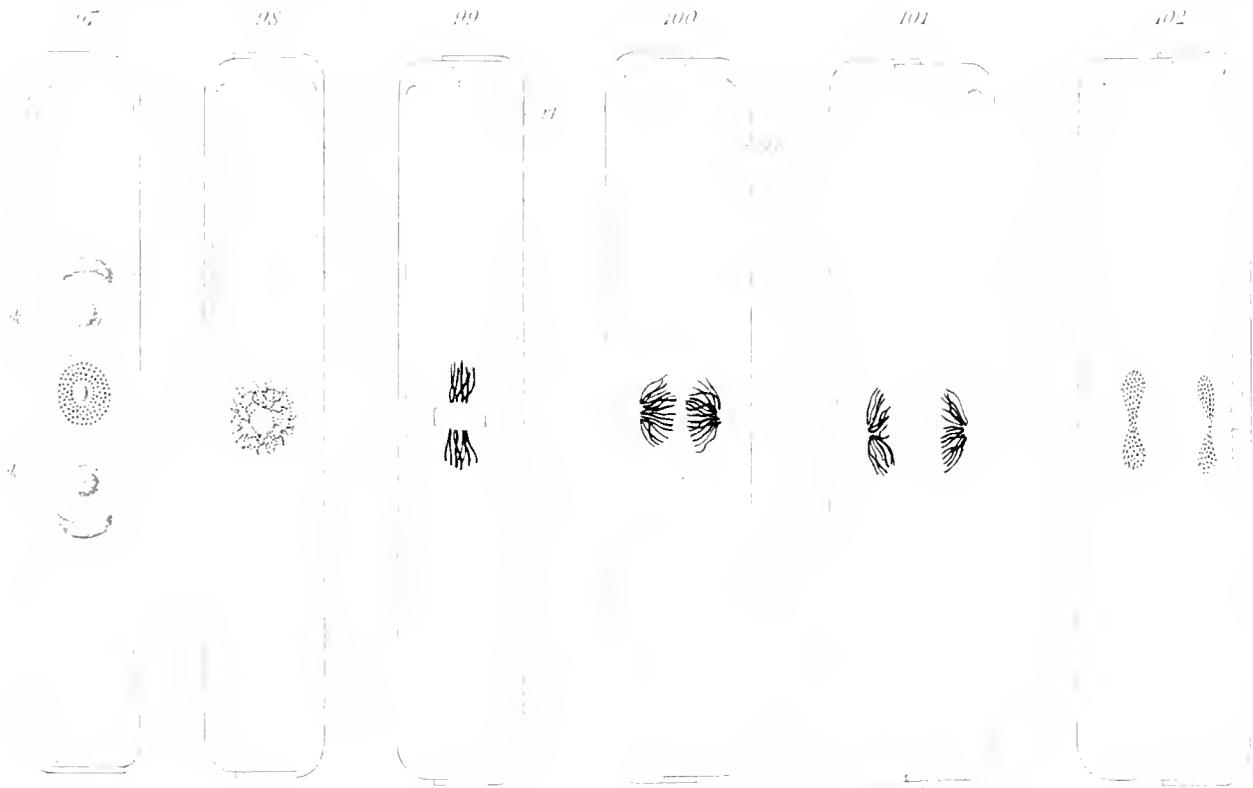
Tafel VI.

Tafel VI.

Ausführliche Tafelerklärung Seite 157—158.

Fig. 97—104. Kern- und Zellteilung von *Pinnularia oblonga*.

- Fig. 97. *Pinnularia oblonga* in Ruhe. Ansicht von der Gürtelseite. Nach dem Leben.
- Fig. 98. Kern im Beginn des Knäuelstadiums. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 99. Kern im Stadium des Muttersterns. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 100. Kern im Dyaster-Stadium. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 101. Kern am Ende des Dyaster-Stadiums. Beginn der Plasmazerklüftung. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 102. Kern in Rekonstruktion begriffen. Plasmamasse vollständig durchschnürt. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 103. Rekonstruktion der Tochterkerne fast vollendet. Beginnende Ausbildung der neuen Tochterschalen. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 104. Rekonstruktion der Kerne etc. vollendet. Beide Tochterzellen unmittelbar vor der Trennung. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 105. *Navicula amphisbaena* (forma) im Stadium des Muttersterns. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 106. Wie vorige Figur. Polare Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 107—110. Bütschliche Kugeln von *Pinnularia oblonga* in ihren Vakuolen.



Tafel VII.

Tafel VII.

Ausführliche Tafelerklärung Seite 159-160.

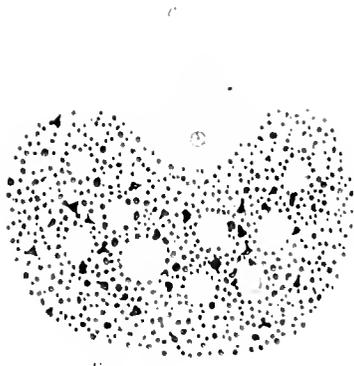
Kernteilung von *Surirella calcarata* Pfitzer.

- Fig. 111. Ruhender Kern. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 112. Erstes Auftreten der Centralspindel-Anlage. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 113. Beginnende Umlagerung der Gerüstsubstanz des Kerns. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 114. Übergang zum Knäuelstadium. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 115. Stadium des dichten Knäuels. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 116. Übergang zum lockeren Knäuel. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 117. Stadium des lockeren Knäuels. Ansicht von der Gürtelseite.

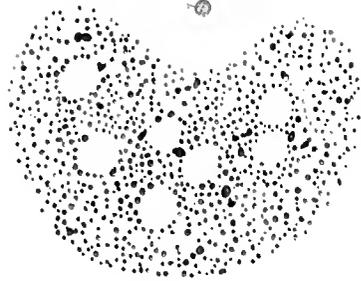
111

112

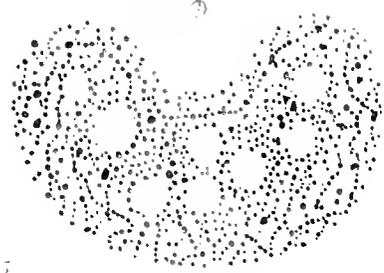
113



mut



113



114

esp



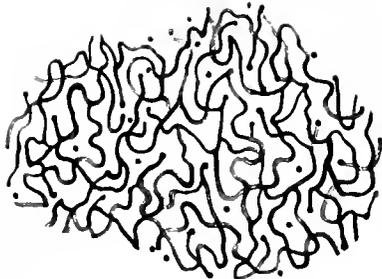
dst



116.

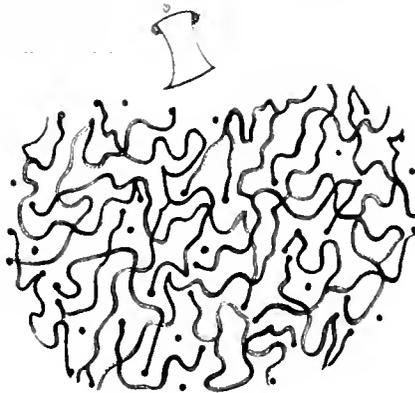
esp

116



117

esp



chys

Tafel VIII.

Tafel VIII.

Ausführliche Tafelerklärung Seite 160-162.

Kernteilung von *Surirella calcarata* Pfitzer.

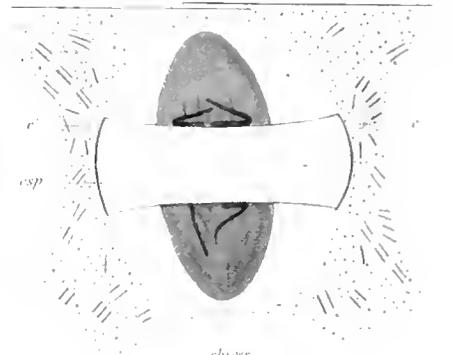
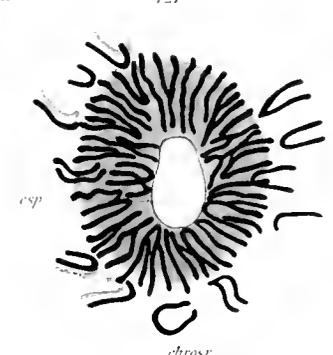
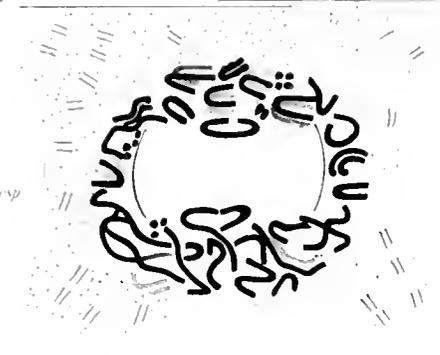
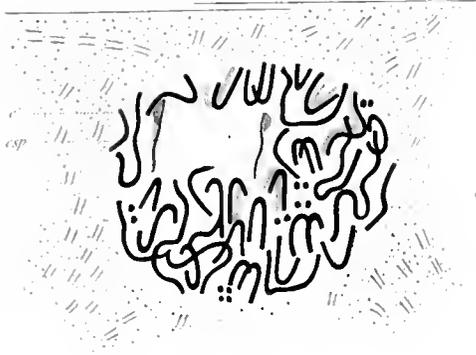
- Fig. 118. Einrücken der Centralspindel in den Kernraum. Beginn der Längsspaltung der Chromosomen. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 119. Beginnende Anordnung der längsgespaltenen Chromosomen im Äquator der Centralspindel. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 120. Bildung des Chromosomenrings im Äquator der Spindel. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 121. Derselbe Kern wie in Fig. 120 in polarer Ansicht. Von der Schalenseite gesehen.
- Fig. 122. Stadium des „Muttersterns“. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 123. Beginnende Teilung des Chromosomenrings. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 124. Auseinanderrücken der Tochterchromosomenringe. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 125. Ungefähr Dyaster-Stadium. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 126. Beginnende Halbierung der Centralspindel. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 127. Zerklüftung des Kernes sowie der Plasmamasse vollendet. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 128. Derselbe Kern wie Fig. 127 in anderer Ansicht.
- Fig. 129. Beginnende Rekonstruktion der Tochterkerne. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 130. Weiteres Stadium der Rekonstruktion der Tochterkerne. Ansicht von der Gürtelseite.

118

119

120

122

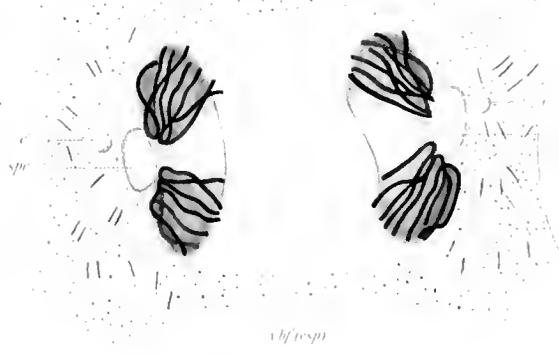
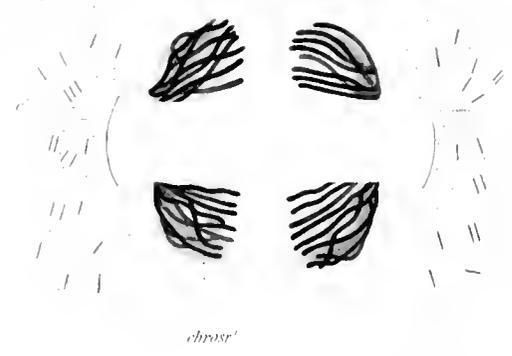
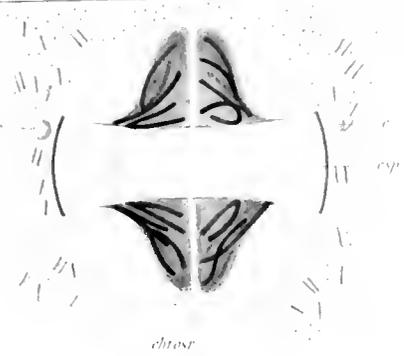


123

124

125

126

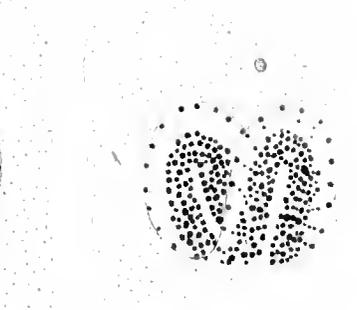
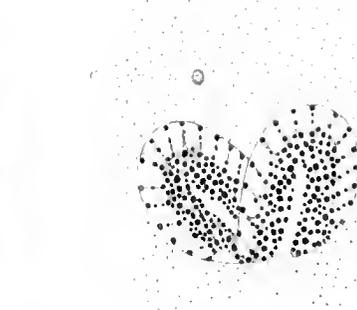
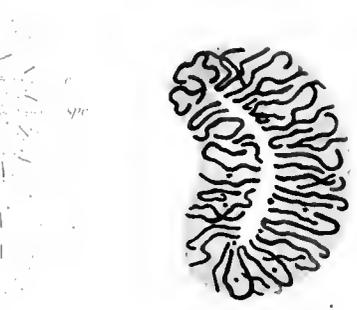


128

129

130

131



Tafel IX.

Tafel IX.

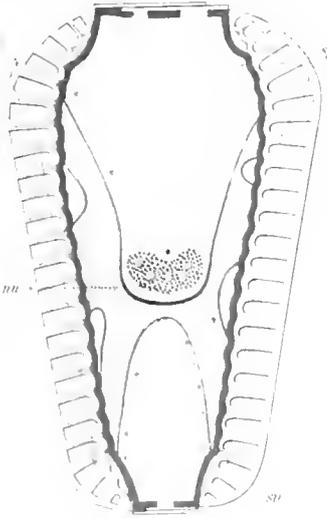
Ausführliche Tafelerklärung Seite 162-164.

Kern- und Zellteilung von *Surirella calcarata* Pfitzer.

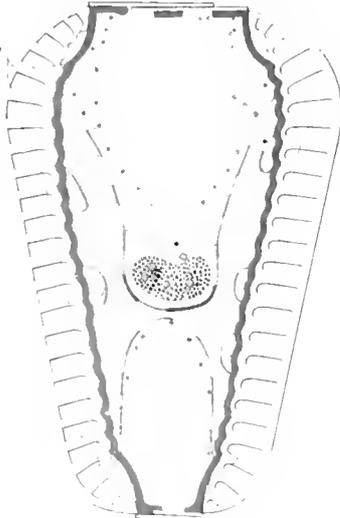
(Alle Figuren zeigen die Gürtelseite der Diatomee.)

- Fig. 130. *Surirella calcarata* in Ruhe. Mittlere Einstellung.
- Fig. 131. Beginn der Kernteilung. Strahlung des Plasmas.
- Fig. 132. Wanderung des Plasmas nach dem breiten Zellende. Kern im Knäuelstadium.
- Fig. 133. Plasma mit Kern am breiten Zellende. Centralspindel im Auswachsen begriffen.
- Fig. 134. Kern im Stadium des Muttersterns. Beginnendes Auftreten der einschnürenden Ringfalte am schmäleren Zellende.
- Fig. 135. Kern im Dyaster-Stadium: Vordringen der Ringfalte.
- Fig. 136. Beginnende Zerklüftung des Plasmas und des Kerns.
- Fig. 137. Plasma und Kern durchschnürt.
- Fig. 138. Beginnende Rekonstruktion der Tochterkerne. Auseinanderrücken der neugebildeten Zellmembranen.
- Fig. 139. Plasma mit Kern in beiden Tochterzellen auf der Rückwanderung nach der Zellmitte begriffen.
- Fig. 140. Ausbildung der Flügel an den neuen Schalenhälften. Plasma mit Kern wieder in der Zellmitte.

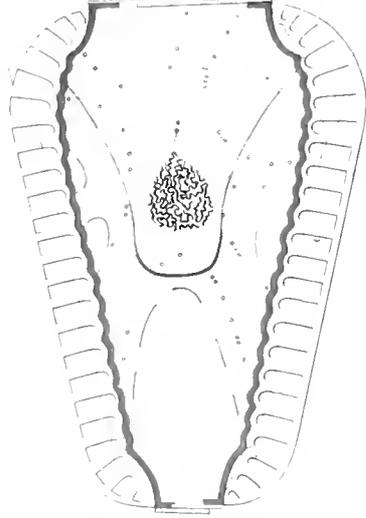
20.



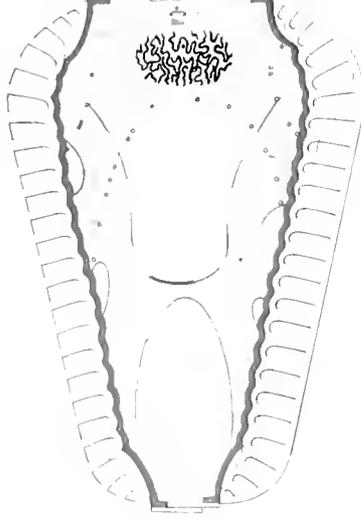
151



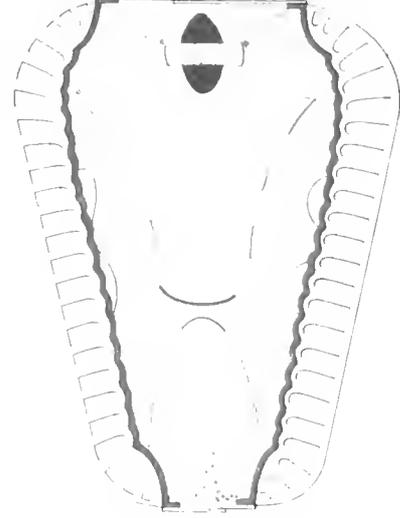
152



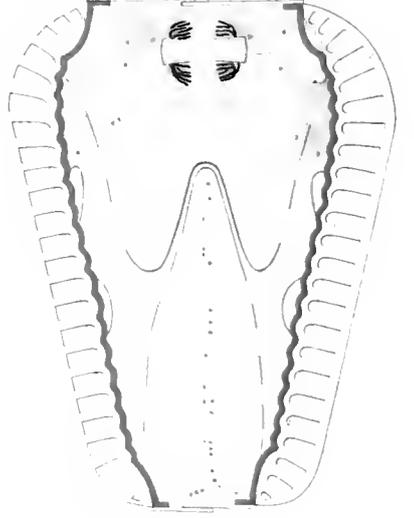
153



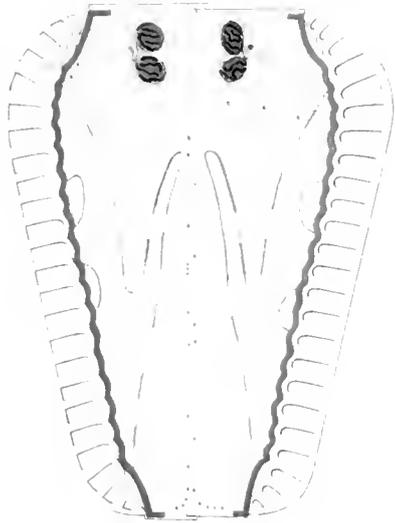
154



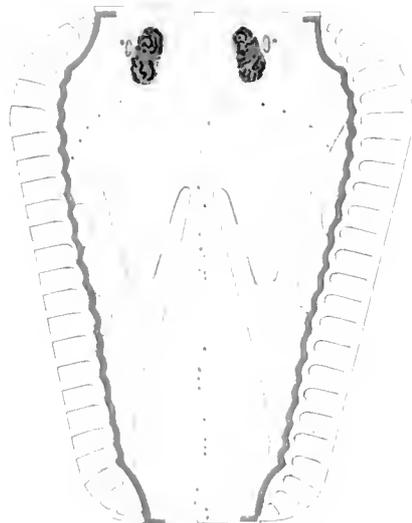
155



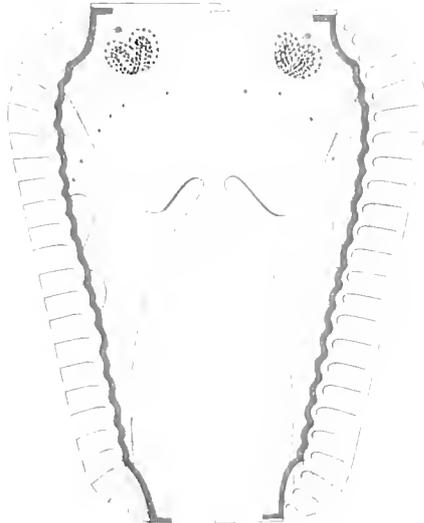
156



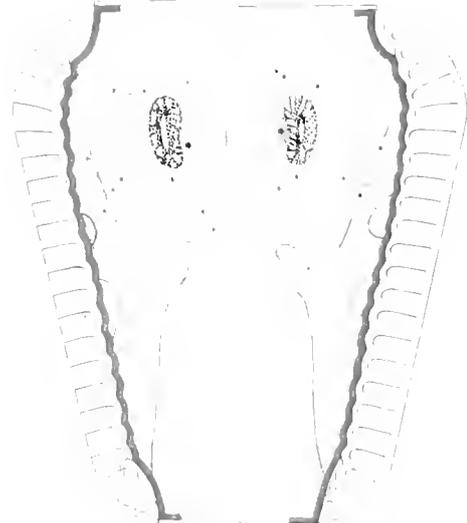
157



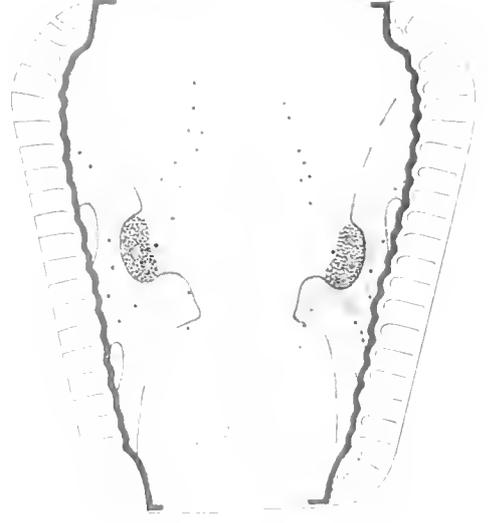
158



159



160



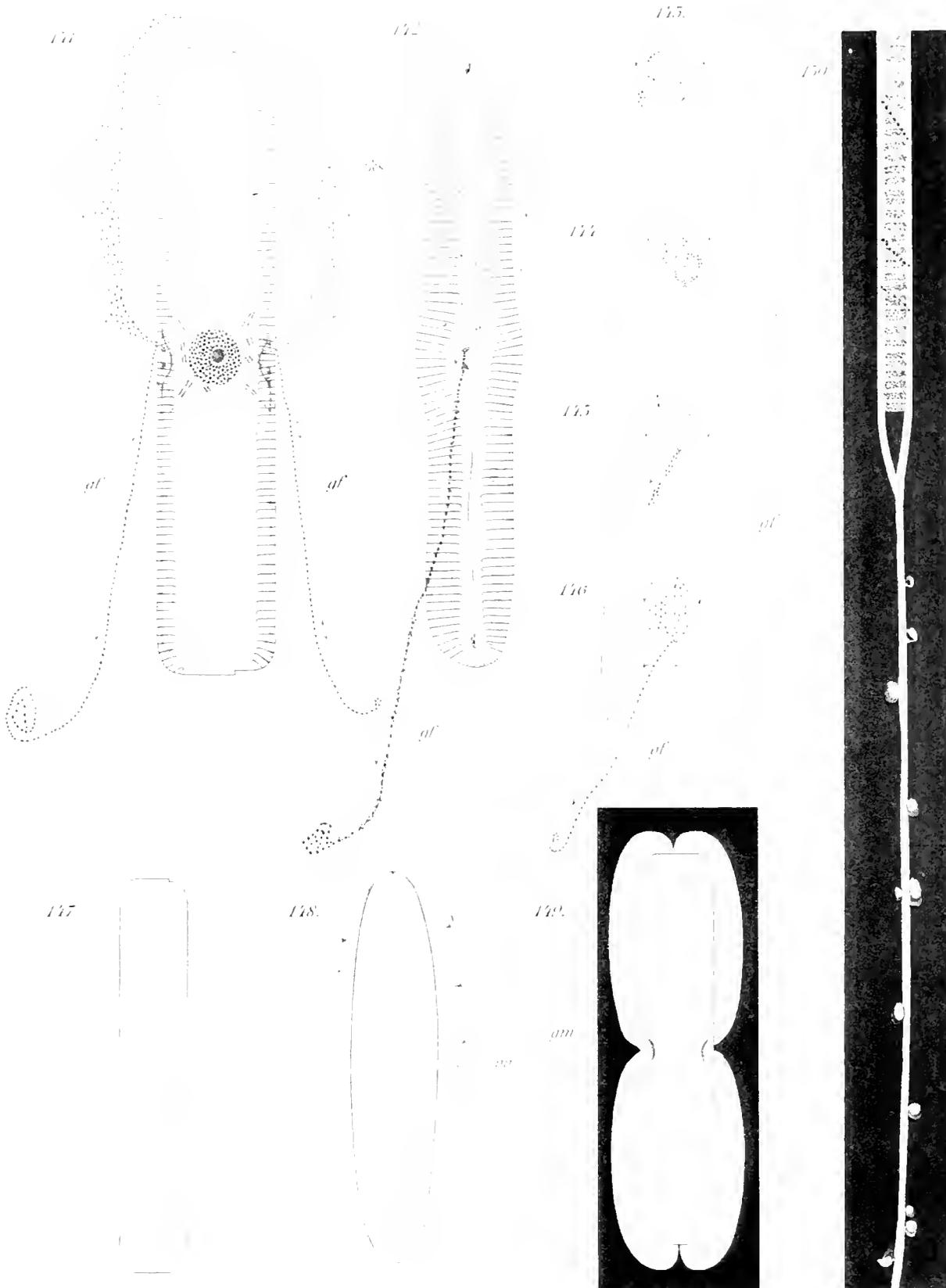
Tafel X.

Tafel X.

Ausführliche Tafelerklärung Seite 164 -165.

Bewegung der Diatomeen und Oscillarien.

- Fig. 141. *Pinnularia maior* während der Bewegung. In Tuscheemulsion. Ansicht von der Gürtelseite.
- Fig. 141. Wie vorige Figur. Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 143-146. Bildung des Gallertfadens bei *Pinnularia maior*. Ansicht von der Schalenseite.
- Fig. 147-148. Gallertmantel von *Pinnularia maior* nach Färbung mit Methylenblau.
- Fig. 149. Ruhendes Exemplar von *Pinnularia* in konzentrierter Tuscheemulsion.
- Fig. 150. Kriechender *Oscillaria*faden in Tuscheemulsion.



Lucretia
Winters



