

# Über den Aufbau des Kalkgehäuses von *Phacotus Lendneri* CHOD.

Von

**Erwin Kamptner** (Wien).

(Mit 2 Textabbildungen.)

(Eingegangen am 19. Mai 1950.)

## Vorbemerkungen.

Das Material für die in diesen Zeilen dargestellte Untersuchung verdanke ich Herrn Univ.-Prof. Dr. J. SCHILLER, der es einem im 12. Wiener Gemeindebezirk (Springer-Park, Tivoligasse 73) befindlichen Teich entnommen hatte. Der Genannte stellte sich vor einiger Zeit die Aufgabe, das dortige Auftreten der Volvocale *Phacotus Lendneri* CHODAT (1902, S. 147) im Rahmen einer umfassenden biologischen Erforschung jener künstlichen Wasseransammlung fortlaufend zu beobachten. Gerne folgte ich seiner Anregung, im Anschluß an dieses Unternehmen den Bau des Kalkgehäuses der Alge einer eingehenden Analyse zu unterziehen. Der Wert eines derartigen Versuches liegt nicht allein in der Mehrung unserer allgemeinen Kenntnis des Aufbaues biogener Skelettbildungen; er ist um so höher zu veranschlagen, als ja die Systematik des Genus *Phacotus* so wie diejenige aller übrigen beschalteten Einzeller sich in erster Linie auf die Beschaffenheit der Hartteile gründet. Gar manche der hieher gehörigen Arten sind im Schrifttum nur ungenügend gekennzeichnet. Dies gilt auch für *Phacotus Lendneri*, dessen sehr enges Verhältnis zur typischen Art des Genus, *Ph. lenticularis* (EHRENBG.) STEIN, zwar außer Zweifel steht, aber doch erst der näheren Aufklärung bedarf. Es war von vornherein mein Plan, die Untersuchung nicht auf die bloße äußere Gestalt und Skulptur des Gehäuses zu beschränken, sondern auch den innern, submikroskopischen Aufbau desselben in den Kreis der Betrachtung zu ziehen, da man füglich erwarten darf, in Zukunft auch von dieser Seite her manch wertvollen Fingerzeig in betreff der verwandtschaftlichen Beziehungen der Formen zu erhalten.

### Gestalt und Skulptur des Gehäuses.

Bei der Gattung *Phacotus* besteht das Gehäuse aus zwei gleich beschaffenen, uhrglasförmigen, mit den Rändern aneinanderschließenden Klappen. Sein Grundriß ist kreisrund oder elliptisch bis eiförmig. Bei manchen Formen ist es äußerlich glatt, bei anderen wiederum in verschiedener Weise skulpturiert. Die Autoren sprechen von grubiger, schuppiger oder feinpunktierter Oberfläche. Auch Streifensysteme werden angegeben; sie sollen, indem sie über das Gehäuse ziehen, rhombische oder auch unregelmäßige Felder zwischen sich einschließen.

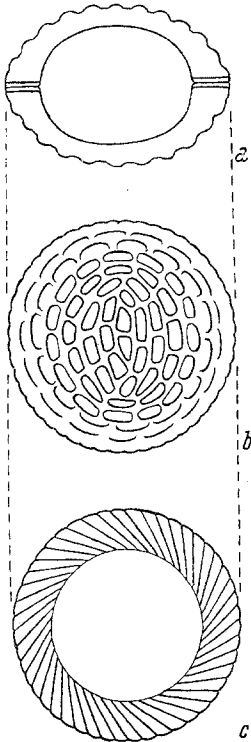


Abb. 1. Gehäuse von *Phacotus Lendneri* CHOD. Klappen undurchsichtig gedacht. 2000  $\times$ . *a* Axialer Querschnitt, *b* Klappe von der Oberseite, Hauptsymmetrale in der NS-Richtung, *c* Klappe von der Unterseite.

Die von uns hier näher betrachtete Spezies, *Ph. Lendneri*, hat ein genau linsenförmiges, kreisrundes, bei manchen Exemplaren schwach elliptisches Gehäuse (Abb. 1). Die beiden Klappen sind an ihren verdickten und verbreiterten Randpartien zusammengefügt. Ihre gewölbte Oberfläche trägt eine Skulptur (Abb. 1 *b*). Diese besteht aus zahlreichen, zumeist länglichen wulstartigen Erhebungen, die förmlich wie die Höhenrücken einer glacialen Moränenlandschaft gruppiert erscheinen. Der Plan, nach welchem diese Erhebungen sich aneinanderreihen, erinnert in gewissem Grade an die elliptischen Äquatorial-Skiodromen, wie sie am kugelförmigen Skiodromen-Modell eines zweiachsigen Kristalls zur Kennzeichnung der Auslöschungsrichtungen dienen. Die Reihen liegen nämlich in der Nähe des Klappenrandes konzentrisch zu diesem; aber höher oben auf der Wölbung, also gegen die Mitte der Klappe zu, weichen sie von der Kreisform ab und gehen zuerst in eine breitelliptische und schließlich in eine schmal-elliptische Gestalt über. Die gemeinsame große Achse aller dieser Ellipsen entspricht offenbar der Längsachse des Gehäuses. Denn bei nicht wenigen Individuen vermag man

an der verbreiterten Randpartie, in der Verlängerung der Achse, eine allerdings schwer sichtbare Differenzierung zu entdecken, die man mit Wahrscheinlichkeit für einen Geißelporus halten darf. Die an den lebenden Individuen nachgewiesene Existenz eines Bewegungsapparates

macht ja das Vorhandensein einer entsprechenden Durchbrechung zum Postulat. An der Seitenansicht des Gehäuses, also in der Richtung des scharfen Randes desselben, ist ein Porus nicht zu entdecken.

Eine sehr auffällige Skulptur besteht an den randlichen Berührungsflächen der beiden Gehäusehälften. Hier trägt jede Klappe ein System von etwa 60 einseitig schief gestellten Leisten (Abb. 1 c). Wenn man eine einzelne Klappe vor sich hat, so empfängt man von dieser Skulptur geradezu den Eindruck einer rundherum reichenden Fiederung. Liegen beide Klappen in normaler Weise beisammen, so überkreuzen sich beide Leistensysteme. Da die Klappen mehr oder weniger durchsichtig sind, so kann man deutlich wahrnehmen, daß die einander überkreuzenden Elemente der beiden Systeme in der Perspektive beiläufig einen rechten Winkel einschließen. Das Vorhandensein der Leistensysteme bringt es mit sich, daß die einander gegenüberliegenden ebenen Randflächen der beiden Klappen nicht unmittelbar zusammenstoßen, sondern einen Zwischenraum in der Gesamthöhe der beiden Leistensysteme freilassen (Abb. 1 a); der für den Lebensprozeß des Zellindividuums notwendige Stoffaustausch ist damit gewährleistet. Wenn eine isolierte Klappe im Gesichtsfeld horizontal liegt und ihre Innenseite nach oben wendet, dann zeigen sich die Elemente des Leistenapparates entgegen dem Sinn des Uhrzeigers schief gestellt.

An seiner Innenseite scheint der aufgewölbte Teil der Klappe keinerlei Skulptur aufzuweisen.

Über die Dimensionen, die sich am Gehäuse von *Ph. Lendneri* feststellen ließen, ist folgendes anzuführen. Der horizontale äußere Durchmesser des Gehäuses, also gleichzeitig derjenige einer Klappe, beträgt 13,3 bis 16,7  $\mu$ , der Durchmesser des Binnenraumes 9 bis 11  $\mu$ . Der äußere axiale, also zu dem vorigen senkrechte Durchmesser mißt gleichfalls 9 bis 11  $\mu$ , während sich der entsprechende innere Durchmesser zwischen 6,7 bis 8,8  $\mu$  hält. Der Berührungsrand an der Unterseite der Klappe ist 2,2 bis 2,8  $\mu$  breit. Die Entfernung benachbarter Leisten von First zu First ist 0,6  $\mu$ , die Höhe der Leisten etwa die Hälfte dieses Betrages. Die skulpturellen Erhebungen an der gewölbten Außenseite der Klappe sind 1 bis 1,7  $\mu$  lang und stehen 0,6 bis 0,7  $\mu$  voneinander ab. An manchen Gehäusen gelingt es, diese Erhebungen in 0,5  $\mu$  lange Knoten aufzulösen. Jene unscheinbare Differenzierung, die wir auf den Geißelapparat beziehen möchten, zeigt eine Breite von 2,2 bis 2,8  $\mu$ .

### **Einiges über die chemische Beschaffenheit des Gehäuses.**

Im Schrifttum findet man mehrfach erwähnt, daß die Gehäuse von *Phacotus*, so auch jene der (dem *Ph. Lendneri* nahestehenden) Spezies *Ph. lenticularis*, eine gelbbraune Färbung aufweisen, die auf einer Einlagerung von Eisenhydroxyd beruhen soll (s. PRINTZ, S. 52; PASCHER,

S. 356). An den mir vorgelegenen Exemplaren von *Ph. Lendneri* war eine derartige Verfärbung nicht festzustellen. Nichtsdestoweniger unternahm ich den Versuch, das Element Eisen auch hier aufzufinden. Ich wandte zu diesem Zweck beide Blutlaugensalzproben an (s. MOLISCH, S. 41). Von besonderer Bedeutung ist in unserem Fall die Tatsache, daß die Reaktionsprodukte bei beiden Verfahren an jener Stelle, an der sie entstehen, in unlöslicher Form, als Berliner Blau bzw. Turnbullblau, liegenbleiben. Da die Kalkgehäuse sich in verdünnten Säuren leicht lösen, verschwanden sie bei Anwendung der Blutlaugensalzproben sogleich; aber die blauen Niederschläge blieben aus, und es war überhaupt kein fester Rückstand zu konstatieren. Die leichte Löslichkeit der Gehäuse bietet indes keinen Anlaß, den entscheidenden Wert der Blutlaugensalzproben für den vorliegenden Fall anzuzweifeln. Denn wenn sich das Kalkgebilde löst, so gerät eine etwa vorhandene Eisenverbindung augenblicklich mit der Salzsäure in Kontakt, und das hierbei entstehende Eisenchlorid erzeugt bereits im status nascendi mit dem zugefügten Blutlaugensalz den charakteristischen Niederschlag.

Die völlige Abwesenheit des Elementes Eisen, sowohl in der Ferro- wie in der Ferrbindung, darf also bei dem von mir geprüften Material von *Ph. Lendneri* als gesichert gelten.

### Untersuchung im polarisierten Licht. Feinbau.

Zur Kennzeichnung des äußern Aussehens von *Phacotus Lendneri* mögen die vorstehenden Feststellungen einstweilen genügen. Im übrigen aber wollen wir versuchen, ein Bild vom submikroskopischen Aufbau einer Gehäuseklappe zu gewinnen. Diese Kalkgebilde besitzen sowohl in der Größe wie in der Gestalt eine nicht geringe Ähnlichkeit mit gewissen Bautypen unter den Skelettelementen der Kalkflagellaten, den sogenannten Coccolithen. Es ist gelungen, mit Hilfe des polarisierten Lichts, zum Teil auch des Elektronen-Mikroskops, in den Feinbau dieser Kalkkörperchen weitgehend einzudringen und dabei zu zeigen, daß sie aus winzigen anisotropen Teilchen (Submikronen, Micelle) aufgebaut sind. Es war sogar möglich, die räumliche Anordnung der Teilchen bei den verschiedensten Coccolithen-Formen in einer Weise zu erforschen, daß die Resultate mit Erfolg in den Dienst der phylogenetischen Spekulation gestellt werden konnten.

Dieses Beispiel legt uns nahe, auch das Gehäuse von *Phacotus Lendneri* einer analogen Untersuchung zu unterziehen.

Die Größenverhältnisse an diesem Objekt bilden einen günstigen Umstand für dessen Prüfung im polarisierten Licht. Die Dicke einer Klappe ist gerade hinreichend, um bei gekreuzten Nicols die Entstehung von Farben erster Ordnung, nach Einschaltung des Gipsplättchens Rot I also Farben zweiter Ordnung zu ermöglichen. Darin ähneln diese

Klappen gewissen relativ großen Typen unter den Coccolithen. Das Elektronen-Mikroskop kommt indes für die Untersuchung der *Phacotus*-Klappen nicht ernstlich in Betracht, weil diese zu dick sind, um den Elektronen den Durchgang zu gestatten.

Bevor wir an unsere Aufgabe herantreten, müssen wir uns die allgemeinen Voraussetzungen, welche jeglicher polarisationsoptischen Untersuchung biogener Hartteile zugrunde liegen, einmal vergegenwärtigen. Dasselbe gilt auch für die besonderen Voraussetzungen, wie sie sich an das hier zu untersuchende Objekt knüpfen.

Eine solche allgemeine Voraussetzung ist der anisodiametrische Bau und die optische Anisotropie der Submikronen, aus denen sich das Gehäuse zusammensetzt. Obendrein müssen die Teilchen eine geordnete Lagerung im Raum aufweisen. Ihre absoluten Abmessungen sind dagegen gleichgültig. Wenn wir das vektorielle Verhalten eines solchen Gefüges prüfen, so zeigt sich uns zunächst eine Gesamtwirkung der Struktur. Diese Wirkung führen wir dann auf die physikalischen Eigenschaften und die räumliche Anordnung der aufbauenden Teilchen zurück.

Da die Teilchen an dem von uns untersuchten Objekt in chemischer Hinsicht aus Calciumcarbonat, also mineralisch aus Calcit oder Aragonit bestehen, so ist ihnen ein optisch negativer Charakter zuzuschreiben, und es ist anzunehmen, daß sie gerade Auslöschung in der Längsrichtung aufweisen. Ihre Gestalt wollen wir uns in schematisierender Vereinfachung stäbchenförmig denken.

Bei der Untersuchung war besonderer Bedacht zu nehmen auf die Art und Weise, in welcher die Einbettung der Objekte bei der Herstellung der mikroskopischen Präparate erfolgen mußte. Wir wissen, daß die Sichtbarkeit äußerer Skulpturen durchsichtiger mikroskopischer Gegenstände abhängig ist von dem Grad, in welchem sich die Brechungsindizes des Mediums und des Objektes voneinander unterscheiden. Liegen die *Phacotus*-Gehäuse in Luft, so zeigen sich die dunklen Ränder, wie sie durch die Totalreflexion erzeugt werden, als recht störend, so daß Einzelheiten nur mangelhaft zu erkennen sind. Als vorteilhafter erweist sich die Einbettung in reinem Wasser, wo die Skulpturen gut hervortreten. Eine noch stärkere Aufhellung bietet eine konzentrierte wässrige Lösung von Calciumchlorid, und in noch höherem Grad ist dies in Canadabalsam der Fall. Für die Untersuchung der Außenskulptur der Gehäuse hat sich eine kombinierte Verwendung von Präparaten mit schwächer brechenden und solchen mit stärker brechenden Medien als sehr zweckmäßig bewährt.

Die Einbettung in flüssige Medien, also Wasser oder Calciumchlorid-Lösung, hat den Vorteil, daß die Objekte beweglich bleiben und durch Druck der Präpariernadel auf das Deckglas in ihrer Lage verändert

werden können. Dies ist in erster Linie bei der Untersuchung der Gestalt und äußern Skulptur der Gehäuse von Bedeutung. Weniger wichtig ist die Beweglichkeit für die Prüfung mittels polarisierten Lichts, weil hier eine fixe horizontale Lage des Gehäuses auf dem Objektträger erwünscht ist. In diesem Fall kann man ohne weiteres Balsampräparate gebrauchen, wobei der Umstand von Nutzen ist, daß sich die linsenförmigen Gehäuse oder die einzelnen Klappen im frisch angefertigten Präparat der großen Mehrzahl nach horizontal auf den Objektträger setzen und damit von vornherein die für die polarisationsoptische Untersuchung geeignete Stellung einnehmen.

Durch stärkeren Druck der Präpariernadel auf das Deckglas lassen sich die Gehäuse leicht zertrümmern, wobei die Teilstücke scharfe Bruchränder zeigen. Das Material, aus dem die Kalkgebilde bestehen, ist also sehr spröde.

Wenn wir das Gehäuse in der Richtung der Flächenansicht mit polarisiertem Licht durchleuchten, so kommen die optischen Wirkungen beider Klappen zur Interferenz. Um die dabei erzielten Beobachtungen zuverlässig beurteilen zu können, müssen wir sie durch die Untersuchung der isolierten Klappe ergänzen. In jedem Präparat sind solche isolierte Gehäusehälften mehr oder weniger leicht aufzufinden, da sie sich aus dem normalen Verband oft ohne besonderes Zutun lösen. Im gewöhnlichen Licht zeigen sie sich durch ihr helleres Kolorit und durch die einseitig schief gestellte Serie der Randleisten von den intakten Gehäusen, an denen sich die Leisten beider Klappen in spiegelbildlicher Stellung überdecken, deutlich verschieden.

Liegt ein Gehäuse oder eine einzelne Klappe im Mikroskop waagrecht, so ist es unsere Aufgabe, darauf zu achten, in welcher azimutalen Richtung die horizontale Hauptachse des Gebildes orientiert ist. Zur Feststellung dessen vermag uns zunächst die äußere Skulptur einen brauchbaren Dienst zu erweisen, da sie ja, wie wir vorhin gesehen haben, die beiden horizontalen Hauptrichtungen des Kalkkörpers, also die Hauptsymmetrale und die zu dieser senkrechte Nebensymmetrale, eindeutig kennzeichnet. Nun prüfen wir das Objekt bei gekreuzten Nicols, indem wir die optischen Effekte in verschiedenen azimutalen Lagen feststellen. Zuerst wollen wir die Hauptsymmetrale in die NS-Richtung<sup>1</sup> legen (Abb. 2 a). Im Mittelfeld der Klappe, also in dem perspektivisch innerhalb der leistentragenden Randzone liegenden Bereich, sehen wir ein dunkles Auslöschungskreuz in orthogonaler Lage. Die Balken desselben sind von ungleicher Breite. Der in der NS-Richtung, also in der Hauptsymmetrale befindliche Balken ist der schmalere,

<sup>1</sup> Zum Ausdruck der verschiedenen azimutalen Richtungen im Gesichtsfeld des Mikroskops werden hier wie im folgenden der Bequemlichkeit halber die Bezeichnungen der Windrose verwendet.

wobei er an seiner Basis das Minimum der Breite aufweist; der quer dazu liegende ist der breitere. Aber im Bereich der Randzone biegen die Kreuzbalken unvermittelt nach der Seite um, und zwar entsprechend der schiefen Stellung der Leisten, so daß die Auslöschungsfur als Ganzes geradezu einem Hakenkreuz ähnlich erscheint. Wenn die Wölbung der Klappe, also ihre Oberseite, dem Beschauer zugekehrt ist, dann sind die Leisten, wie wir bereits wissen, im Uhrzeigersinn schief gestellt, und nach derselben Seite sind die Kreuzbalken an ihren Enden umgebogen. Liegt dagegen die Klappe umgekehrt, dann gestaltet sich die Auslöschungsfur spiegelbildlich zur vorigen.

Dies gilt also von der isolierten Klappe. An der ganzen, zweiklappigen Schale hingegen hat die Auslöschungsfur keine hakenkreuzartige Gestalt, weil nun das Kreuz der einen Klappe und dasjenige der gegenüberliegenden Klappe einander überdecken. Innerhalb der Randzone treten infolgedessen zu den einseitig umgebogenen Haken der einen Klappe die spiegelbildlich orientierten der anderen Klappe hinzu, so daß die Enden der Kreuzbalken nicht einseitig umgebogen, sondern nach beiden Seiten symmetrisch verbreitert erscheinen.

Stets hat man im Auge zu behalten, daß die Symmetrie des dunklen Kreuzes in den Grenzen des Mittelfeldes keine vierzählige, sondern eine zweizählige ist. In seinem Umriß ist das Kreuz nicht unähnlich jener Auslöschungsfur, wie sie an einer optisch zweiachsigen, senkrecht zu einer Mittellinie geschnittenen Kristallplatte bei gekreuzten Nicols sich darbietet. Dieser Vergleich ist insofern nur ein äußerlicher, als man bei den *Phacotus*-Klappen, dem oben Gesagten gemäß, ein Sphäritenkreuz und nicht ein wirkliches Achsenkreuz vor sich hat. Die Analogie bleibt in gewissen Grenzen auch dann bestehen, wenn man das Gehäuse bzw. die Klappe durch Veränderung des Azimuts um  $45^\circ$  in die Diagonalstellung überführt. Das Kreuz löst sich dann in zwei gleichgestaltete, zueinander diagonal liegende

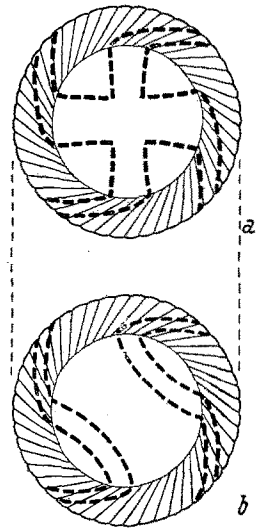


Abb. 2. Schematisiertes Bild einer Klappe von *Phacotus Lendneri* CHOD. in Draufsicht mit Auslöschungsfur. Die Außenskulptur ist weggelassen; aber das an der Unterseite befindliche randliche System von schief gestellten Leisten ist an der durchsichtig gedachten Klappe eingezeichnet.  $2000\times$ . *a* Die beiden Symmetralen der Klappe befinden sich zu den Nicols in orthogonaler Stellung; Hauptsymmetrale in der NS-Richtung. *b* Die beiden Symmetralen der Klappe befinden sich zu den Nicols in diagonalen Stellung; die Klappe ist um  $45^\circ$  im Uhrzeigersinn gegen die orthogonale Stellung verdreht.

Gebilde auf, deren Abstand mit dem Drehungswinkel wächst und deren Gestalt an jene Hyperbeläste erinnert, wie man sie in der Diagonalstellung einer zweiachsigen, senkrecht zu einer Mittellinie geschnittenen Kristallplatte beobachten kann. Dies gilt aber nur für die Auslöschungsfigur im Mittelfeld der Klappe. Die ungebogenen, in den Bereich des Leistenbesatzes hineinreichenden Enden der Kreuzbalken verbleiben bei jedem Azimut der Klappe an ihrem Ort und verändern ihre Gestalt nur ganz unbedeutend. Die Stellen des Knickes liegen stets in orthogonaler Position.

Unsere Abb. 2 sucht die Auslöschungsverhältnisse in zwei Teilbildern anschaulich zu machen. Sie stellt in starker Schematisierung eine mit der Oberseite dem Beschauer zugewandte Klappe dar. Diese ist durchsichtig gedacht, damit der Leistenbesatz am Rand der Unterseite zur Darstellung kommen konnte. Die Auslöschungsfigur hat in Wirklichkeit keine scharfe Begrenzung; aber in unserer Abbildung ist sie mit scharfem (kräftig gestricheltem) Umriß wiedergegeben.

Während sich die Klappe an der Abb. 2a in orthogonaler Stellung (Hauptsymmetrale N—S) befindet, erscheint sie an Abb. 2b bereits im Sinn der Uhrzeigerbewegung in die diagonale Stellung (Hauptsymmetrale NO—SW) übergeführt.

Nun wollen wir die Farbenänderungen betrachten, die sich beim Einschalten des Gipskompensators ergeben. Im voraus sei bemerkt, daß an dem ZEISSschen Polarisations-Mikroskop, mit dessen Hilfe ich die Untersuchung vornahm, die  $\alpha$ -Richtung des Gipsplättchens, also die Richtung der rascheren Lichtwelle, entgegen der Gepflogenheit in der NO-SW-Richtung liegt, ein Umstand, der zum Verständnis der folgenden Darlegungen wohl zu beachten ist.

Wir behalten die Diagonalstellung des Objektes bei und schalten nun das Gipsplättchen Rot I ein. Das Grau zwischen den „Hyperbel“-Ästen wird dann in eine blaue Additionsfarbe umgewandelt. Diese erstreckt sich über das Objekt in der NW-SO-Richtung als breiter blauer Streifen. Wenn wir die Lage desselben zur horizontalen Hauptachse der Klappe oder, was dasselbe bedeutet, zu den von NO nach SW ziehenden Höhenrücken der Oberflächenskulptur prüfen, so finden wir, daß er quer zu dieser Richtung liegt. Daraus folgt, daß die Submikronen entsprechend der  $\alpha$ -Richtung des Kompensators in der Längsrichtung der skulpturellen Züge orientiert sind. An der Konkavseite der beiden hyperbelähnlichen Bögen (die im Rot I. Ordnung erscheinen) zeigt sich eine gelbe Subtraktionsfarbe in Übereinstimmung damit, daß daselbst in Nachbarschaft der Randzone die Submikronen in der NW-SO-Richtung laufen. Auch hier stimmt diese Richtung mit jener der skulpturellen Züge überein.

Diese optischen Versuche habe ich an einer großen Zahl von In-



dividuen vorgenommen und stets haben sie das gleiche Resultat geliefert. Jedenfalls lehren sie, daß die anisotropen Teilchen, durch deren Zusammenwirken die besprochenen Erscheinungen zustande kommen, an der Klappe in einer Weise angeordnet sind, wie dies an dem perspektivischen Bild der Äquatorial-Skiodromen am kugelförmigen Skiodromen-Modell eines zweiachsigen Kristalls sein Analogon hat; sie liegen mit den Längsachsen in den Richtungen der Skiodromen. Nun fügen wir im Gedanken die Schwingungsrichtungen der Nicols hinzu und stellen uns zunächst vor, daß die Klappe orthogonal zu ihnen liege. Dann muß im Mittelfeld eine disymmetrische Auslöschungsfigur resultieren. Es ist an ihr eine horizontale Hauptachse und senkrecht dazu eine horizontale Querachse vorhanden. Beide Achsen sind bipolar. Lassen wir die eingangs aufgestellten Voraussetzungen gelten, dann leuchtet uns ein, daß die Auslöschungsfigur unter den gegebenen Umständen beim Übergang des Objektes aus der orthogonalen in die diagonale Stellung eine Auflösung in zwei hyperbelähnliche Gebilde erfahren muß.

Im ganzen gelangen wir also zu dem Ergebnis, daß nicht nur die äußere Skulptur, sondern auch der submikroskopische Aufbau wenigstens an der aufgewölbten Partie einen disymmetrischen Charakter hat. Nur die Randzone weicht davon ab, da sie skulpturell wie auch in bezug auf den Feinbau drehsymmetrisch beschaffen ist. An dem seitens der Randzone umschlossenen Bereich besteht somit eine auffällige Übereinstimmung in der räumlichen Anlage von Skulptur und Feinbau.

Wir sehen uns aber auch zu der Frage gedrängt, ob die beiden Klappen am intakten Gehäuse derart aneinandergesetzt seien, daß die Symmetrieebenen ihrer Mittelfelder zusammenfallen, oder ob eine derartige Gesetzmäßigkeit fehle. Es ist jedoch keineswegs leicht, mittels gewöhnlichen Lichts, also nur durch Betrachtung der äußeren Skulptur, darüber eine Entscheidung zu fällen. Wenn man ein ganzes Gehäuse im Mikroskop horizontal vor sich liegen hat, also in der Weise, daß die eine Wölbung dem Beschauer zugekehrt ist, dann vermag man zwar ohne weiteres den optischen Schnitt in die Oberflächenskulptur der oberen Klappe scharf einzustellen. Bei Verwendung eines Immersionsobjektivs erhält man dann ein gut aufgelöstes Bild dieser Skulptur. Aber dies gelingt nicht mit der Skulptur der nach unten gewendeten Klappe. Auf diesem direkten Weg ist es also nicht möglich, die Kongruenz der Skulpturen beider Klappen unmittelbar zu demonstrieren.

Das polarisierte Licht jedoch bietet einen Ausweg aus dieser Schwierigkeit. Die Auslöschungsfiguren bei gekreuzten Nicols, ebenso das Gesamtbild der höheren Interferenzfarben nach Einschaltung des Gipskompensators, zeigen nämlich an dem ganzen, aus beiden Klappen bestehenden Gehäuse ihren disymmetrischen Charakter in der gleichen

Art wie an einer einzelnen Klappe. Es sind bloß die Interferenzfarben entsprechend höhere, da ja das Licht in der Kalksubstanz den doppelten Weg zurückzulegen hat. Und wenn wir das Azimut des Objektes gegenüber den Nicols verändern, so können wir die analogen räumlichen Wandlungen der Farbeffekte beobachten wie an der einzelnen Klappe. Besonders wichtig und beweisend für die homosymmetrische Lage der beiden Klappen ist dabei die Tatsache, daß dieses optische Verhalten bei allen Gehäuseexemplaren das nämliche ist. Denn wäre die relative Stellung der Klappen am Gehäuse an keine feste Regel gebunden, so müßten sich auch die Interferenzbilder gegenseitig in einer sehr wechselnden Weise stören. Dadurch würde das Farbenbild des Gehäuses von Exemplar zu Exemplar ein verschiedenes sein. Differenzen solcher Art zwischen den Individuen sind aber nicht zu konstatieren, und dies bedeutet einen Umstand, wie er nur bei einheitlich homosymmetrischer Stellung der beiden Klappen denkbar ist.

Das Verständnis dieser Tatsachen kann dadurch gewinnen, daß wir die Farbeffekte der Einzelklappe mit jenen des ganzen Gehäuses eingehender vergleichen.

Zu diesem Zweck beobachten wir die Klappe von der Seite her und finden, daß die Wand am höchsten Punkt der Wölbung nur wenig mehr als  $1\mu$  dick ist. Prüft man aber die Polarisationsfarben in der Draufsicht dieser Wandpartie, so fallen die Farben daselbst niedriger aus, als man es in Anbetracht der vorgefundenen Wanddicke erwarten sollte, und zwar unter der Voraussetzung, daß das Objekt aus Calcit- oder Aragonit-Kriställchen aufgebaut ist und daß diese Teilchen mit ihren Achsen parallel zur Wandfläche liegen, wodurch sie das Maximum der Doppelbrechung darbieten. Befinden sich die beiden Symmetralen in Diagonalstellung zu den Nicols, die Hauptsymmetrale in der Richtung NO-SW, so erhalten wir bei gekreuzten Polarisatoren ein Lavendelgrau gemäß einem Gangunterschied von zirka  $90\mu\mu$ . Dem würde eine Substanzdicke von zirka  $0,5\mu$  entsprechen, also bloß die Hälfte jenes Betrages, den man von der Seite her im optischen Schnitt feststellen zu können glaubt. Führt man nun das Gipsplättchen Rot I ein, so erhält man ein Himmelblau mit einer schwachen Tendenz gegen Indigo, entsprechend einem Gangunterschied von zirka  $640\mu\mu$ .

Ein ganzes, doppelklappiges Gehäuse ergibt im Vergleich dazu in seiner Mitte bei gekreuzten Nicols ein Blau mit grünlichen Stich; Gangunterschied zirka  $180\mu\mu$ . Das Gipsplättchen Rot I bringt daselbst ein Grünlichblau mit einem Gangunterschied von zirka  $730\mu\mu$  hervor, gemäß einer Substanzdicke von etwa  $1\mu$ .

Alle diese Feststellungen beruhen, wie es ja im Wesen des Verfahrens liegt, auf subjektiver Schätzung. Dieser Nachteil ist infolge

der geringen Größe des Objektes besonders fühlbar. So ist also ein solcher Vorgang mit einem weiten Fehlerbereich behaftet, der aber sicherlich nicht ein solches Ausmaß erreicht, daß dadurch das Grundsätzliche meiner Darlegung seiner Gültigkeit beraubt würde.

Die Ursache, die dem Widerspruch zwischen dem Resultat der mikrometrischen Messung und der Aussage der Polarisationsfarben zugrunde liegt, mag vielleicht darin bestehen, daß die am optischen Schnitt der Seitenansicht ausgeführte Messung infolge der speziellen Lichtbrechungsverhältnisse, wie sie durch die Krümmung der Wand gegeben sind, einen zu hohen Wert ergibt. Es kann aber auch sein, daß die Lage der Submikronen innerhalb der Wand doch nicht ganz den von uns aufgestellten Voraussetzungen entspricht, indem die Teilchen nicht streng parallel zur Oberfläche der Wand liegen. Falls es sich so verhält, könnte das Maximum der Doppelbrechung nicht voll zur Wirkung kommen, und die Polarisationsfarben müßten demgemäß niedriger ausfallen.

Nun haben wir noch das Verhalten des Leistenbesatzes am Berührungsrand der Klappe näher zu betrachten.

Die Leisten beider Klappen überkreuzen einander, wie wir gesehen haben, beiläufig unter einem rechten Winkel, da ihr System an jeder Klappe einseitig unter einem Winkel von  $45^\circ$  schief gestellt erscheint und die beiden Klappen mit ihren hohlen Seiten, also gegensätzlich aneinandergesetzt sind. Es ist bereits gezeigt worden, wie sich die Auslöschungs- und Farbenercheinungen an diesem Leistenbesatz gestalten.

Wenn wir aber die optischen Erscheinungen im einzelnen prüfen, so finden wir, daß die Richtung der Auslöschung durchaus nicht der Längsrichtung der Leisten entspricht. Zwischen beiden Richtungen klafft ein Winkel von ungefähr  $40^\circ$ . Unter diesem Winkel liegen eben die anisotropen Teilchen mit ihren Achsen schief zur Längserstreckung der Leiste. Am Berührungsrand besteht also anscheinend keine Gleichsinnigkeit der äußeren Skulptur und des submikroskopischen Aufbaues. In diesem randlichen Bereich hat aber die gewölbte Klappe das Maximum ihres Steilabfalles. Ihre Submikronen liegen perspektivisch durchwegs tangential zum Klappenrand und weichen also um etwa einen halben rechten Winkel von der Richtung der Leisten ab. Infolge ihrer bedeutenden Gesamtmasse bestimmen sie im wesentlichen das Interferenzbild der Randpartie, und dieser Umstand nimmt uns die Möglichkeit, über die Orientierung der Submikronen innerhalb der zarten Leisten eine sichere Entscheidung zu treffen.

Zum Schluß möge noch die Frage beleuchtet werden, ob neben der Eigendoppelbrechung der Micelle auch eine Formdoppelbrechung des micellaren Verbandes vorhanden ist und sich mit der ersteren zu der von uns unmittelbar beobachteten Doppelbrechung, also einer Gesamt-

doppelbrechung summiert. Um dies auf die Probe zu stellen, bettete ich die Gehäuse von *Ph. Lendneri* nebeneinander in Medien von verschiedenem Brechungsindex ein, nämlich in Wasser, wässrige Calciumchloridlösung und Canadabalsam. Hierauf unterzog ich Stärke und Charakter der Doppelbrechung einem schätzungsweisen Vergleich. Es war aber keine auffällige Verschiedenheit in den genannten Eigenschaften festzustellen. Eine Imbibition seitens der Einbettungsmedien scheint also nicht in merklichem Grade stattgefunden zu haben. Offenbar sind die Micelle ganz dicht aneinandergesetzt. Auch dürfte jegliche Kittsubstanz, wie sie an den Skelettbildungen mancher anderer Einzeller (Foraminiferen, Skelettkörper mancher Coccolithineen) vorhanden ist, völlig fehlen, zumal, wie oben gesagt, die chemische Auflösung der Gehäuse in Säuren keinerlei Rückstand hinterläßt. Sicherlich tritt bei *Ph. Lendneri* bloß die negative Eigendoppelbrechung der Feinbauelemente in Erscheinung.

#### Literaturverzeichnis.

- CHODAT, R. (1902): Algues vertes de la Suisse. Matér. flore crypt. Suisse, vol. 1, fasc. 3. Berne.
- MOLISCH, H. (1923): Mikrochemie der Pflanze. 3. Aufl. Jena.
- PASCHER, A. (1927): Volvocales. Die Süßwasser-Flora Deutschlands, Österreichs und der Schweiz, herausg. von A. PASCHER, Heft 4. Jena.
- PRINTZ, H. (1927): Chlorophyceae (nebst Conjugatae, Heterocontae und Charophyta). Die natürlichen Pflanzenfamilien (A. ENGLER u. K. PRANTL), vol. 3. Leipzig.