

Über den feineren Bau der Skelettheile der Kalkschwämme nebst Bemerkungen über Kalkskelete überhaupt.

Von dem c. M. Prof. V. v. Ebner in Graz.

(Mit 4 Tafeln.)

I. Einleitung.

Nach Abschluss der Untersuchungen über die Ursachen der Anisotropie organisirter Substanzen¹ interessirte mich die Frage, welchen Einfluss die Natur des Materiales auf die doppelbrechenden Eigenschaften der Gewebe ausübe. Sehr geeignete Objecte für derartige Studien schienen die Spongien zu sein, bei welchen bekanntlich bald eine eigenthümliche organische Substanz, das sogenannte Spongin (Hornschwämme), bald colloidale Kieselsäure (Kieselschwämme), bald endlich kohlen-saurer Kalk (Kalkschwämme) als hauptsächliches Skeletmaterial verwendet wird. Ich fühlte mich zu derartigen Untersuchungen um so mehr ermuthigt, als mein verehrter Freund und früherer College Prof. Franz Eilh. Schulze mir mit grösster Zuvorkommenheit systematisch bestimmtes Material, zum Theil in fertigen Präparaten zur Verfügung stellte. Die Untersuchung der Horn- und Kieselschwämme ergab im Allgemeinen ein Resultat, wie es von vornherein zu erwarten war. Die Hornschwämme, von welchen *Euspongia zimocca*, *Cacospongia cavernosa*, *C. scalaris* und *Darwinella aurea* untersucht wurden, zeigten deutliche Doppelbrechung, welche sich kurz damit charakterisiren lässt, dass überall die kürzeste Axe des Elasticitätsellipsoides — im Sinne

¹ Leipzig, bei W. Engelmann, 1882.

Nägeli's — senkrecht zur Oberfläche der Skelettheile, beziehungsweise der Schichten derselben, orientirt ist.

In der Regel scheinen die Hornskelete optisch zweiaxig zu sein, nur die sechsstrahligen Sterne von *Darwinella aurea* sind vielleicht negativ einaxig.

Vom Standpunkte der Spannungshypothese ergäbe sich, dass bei der Bildung der Hornskelete ein Druck senkrecht zur Oberfläche der Skelettheile vorherrscht, was mit dem geschichteten Baue und der successiven Auflagerung von Substanz durch die Spongoblasten nach Art einer Cuticularbildung wohl vereinbar ist.¹ Dabei wird die Voraussetzung gemacht, dass die Hornsubstanz bei ihrer Bildung durch Druck optisch negativ, durch Zug optisch positiv doppelbrechend in Beziehung auf die Druck- oder Zugaxe werde, eine Annahme die ja sehr wahrscheinlich ist, da nur ganz wenige Substanzen bekannt sind, welche eine Ausnahme von dieser Regel bilden.

Von den Kieselskeleten ist seit Ehrenberg's Untersuchungen bekannt, dass sie im Allgemeinen keine deutlichen Erscheinungen von Doppelbrechung zeigen.

Nach Max Schultze² bricht aber die organische Substanz der Hyalonemen, welche er sich schichtweise zwischen der unorganischen Substanz eingelagert denkt, das Licht doppelt, und zwar so, wie ein Hohlcyylinder, der von aussen gedrückt wird.

Bei der Mehrzahl der von mir untersuchten Kieselschwämme konnte ich keine merkliche Doppelbrechung finden, so bei: *Plakina marginata*, *Reniera aquaeductus*, *Geodia conchilega* O. S., *G. placenta* O. S., *Suberites flavus* Lieberk., *Tethya lyncurium* Lbk., *Caminus vulcani* O. S. und *Dactylocalyx callocyathus* O. S.; nur bei *Spongelia avara* und einer Species *Farrea* mit dicken deutlich geschichteten Skelettbalken war eine sicher nachweisbare schwache Doppelbrechung vorhanden, deren Charakter mit jenem der Hornschwämme übereinstimmt. Im Ganzen ergab sich also, dass die Hornschwamm skelete deutlich doppelbrechend

¹ Vergl. hierüber: F. E. Schultze, Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung der Spongien, VII. Mittheilung. Zeitschr. f. wiss. Zool., XXXII. Bd., S. 635.

² Die Hyalonemen, Bonn 1860, S. 18.

sind, die Kieselschwammskelete schwach oder gar nicht, dass aber bei beiden — wenn Doppelbrechung erkennbar wird — dieselbe durch eine Druckspannung senkrecht zur Oberfläche sich erklären lässt. Ferner müsste man annehmen, dass die colloidale Kieselsäure gegen Spannungen viel weniger optisch reagirt, als das sogenannte Spongin. Ich erwartete nun auch bei den Kalkschwämmen die Doppelbrechung in analoger Weise zu finden, das heisst so, dass die kürzeste optische Elasticitätsaxe überall senkrecht zur Oberfläche der Nadeln orientirt wäre und war nicht wenig überrascht, statt dessen in allen Kalkspiculis, mochten dieselben was immer für Formen haben, eine durchaus parallele Lagerung der optischen Elasticitätsaxen zu finden, indem jede Kalknadel sich so verhielt, als wäre sie aus einem einzigen Kalkspathindividuum herausgeschnitten. Diese anfangs verblüffende Thatsache forderte zu sorgfältiger Untersuchung heraus, und da der Gedanke nahe lag, es handle sich in der That um eine Krystallbildung, so legte ich zunächst die Kalkschwämme bei Seite, um das Verhalten des Kalkspathes und des Aragonites, insbesondere gegen Ätzmittel, eingehender zu studiren.¹

Während ich mit diesen Arbeiten beschäftigt war, erschien eine wichtige Abhandlung von Sollas,² deren wesentliches Ergebniss sich kurz dahin aussprechen lässt, dass die Spiculae der Kalkschwämme nicht aus Aragonit, sondern aus Kalkspath bestehen, dem etwas organische Substanz beigemischt ist.

Die von Sollas gewonnenen Resultate decken sich zum Theile, insbesondere was die optische Untersuchung anbelangt, mit den im Folgenden mitzutheilenden Beobachtungen. Die Vorstellungen jedoch, die Sollas über die innere Structur der Nadeln gewonnen hat, sind in manchen Einzelheiten nicht aufrecht zu erhalten. Eine zusammenhängende Darstellung der Mittheilungen von Sollas dürfte nicht nothwendig sein, da dieselben bei den einzelnen zu erörternden Fragen Berücksichtigung finden werden.

¹ Diese Ber. Bd. LXXXIX, S. 368 und Bd. XCI, S. 760.

² On the physical characters of calcareous and siliceous sponge. spicules and other structures. Scientif. proceedings of the Royal Dublin Soc. Vol. IV (N. S.) 1885, S. 374.

Dagegen dürften einige Worte über die Formverhältnisse der Skelettheile der Kalkschwämme zum besseren Verständnisse des optischen Verhaltens und der Ätzversuche von Nutzen sein. Haeckel¹ berücksichtigt bei seiner Eintheilung der drei- und vierstrahligen Nadeln in reguläre, sagittale und irreguläre vorzüglich das Verhalten der Winkel und die Länge der Schenkel der Strahlen, legt aber im Ganzen bei den Dreistrahlern wenig Gewicht auf das Verhalten der Ebenen, in welchen je zwei Strahlen liegen. Zwar hebt er hervor, dass nur bei ganz regulären Dreistrahlern mit gleichen Schenkeln und gleichen Winkeln auch alle drei Schenkel in einer Ebene liegen, während in der Regel die Schenkel, wie die Kanten einer dreiseitigen Pyramide sich verhalten. Haeckel erwähnt, dass bei dieser Flächendifferenzirung stets die Spitze der Pyramide nach der Dermalseite, die Basis aber gegen die Gastral-, respective Canal-seite gewendet sei. Da nun Haeckel Winkelangaben ohne Berücksichtigung der Flächendifferenzirung macht, so beziehen sich dieselben offenbar auf die Projectionswinkel, welche die drei Strahlen bilden, wenn ihre Spitzen auf dem Objectträger des Mikroskopes als Basis aufruhen. Es ist klar, dass diese Art Messung nicht die Winkel angibt, welche je zwei Strahlen mit einander bilden, und dass ferner die Projectionswinkel sich bei ungleicher Länge der Strahlen als verschieden ergeben müssen, selbst wenn die Winkel, welche je zwei Strahlen unter sich bilden, einander gleich wären. Um nun diese bei starker Flächendifferenzirung der Dreistrahler bedeutende Ungenauigkeit zu vermeiden, wären stets die Winkel zu messen, welche je zwei Strahlen in der ihnen allein gemeinsamen Ebene bilden, und es wären demgemäss bei sagittalen Dreistrahlern, wie ein solcher in Fig. 1 in perspectivischer Seitenansicht abgebildet ist, die Winkel adb und adc die wahren Lateralwinkel und der Winkel bdc der wahre Oralwinkel (wenn ad den Basalstrahl, db und dc aber die Lateralstrahlen darstellen). Man sieht leicht ein, dass man zur directen Bestimmung dieser Winkel den Dreistrahler nacheinander in drei verschiedene Lagen bringen muss, in welchen je zwei Strahlen in der Ebene des Object-

¹ Die Kalkschwämme. Eine Monographie. 3 Bde, Berlin (Reimer) 1872.

trägers liegen; dass dagegen die Bestimmung der oralen und lateralen Projectionswinkel, wenn der Dreistrahler mit den Spitzen $a b c$ auf dem Objectträger ruht, zu keiner Kenntniss der wahren Winkel führen kann.

Wenn im Folgenden einfach von Lateral- und Oralwinkeln die Rede ist, so sind immer die wahren Winkel gemeint. Kolossale Dreistrahler — wie z. B. jene von *Leucaltis solida*, an welchen ich die meisten Untersuchungen machte — kann man leicht unter dem Präparirmikroskope successive auf die drei Flächen ($a d b$, $b d c$, $a d c$) zur Winkelbestimmung legen. Bei den kleinen Dreistrahlern ist man dagegen, auf den Zufall, oder auf methodisch geführte Schnitte angewiesen, um die wahren Winkel, welche zwei Strahlen in deren gemeinsamer Ebene bilden, zu ermitteln. Isolirte Dreistrahler legen sich in überwiegender Zahl stets so, dass sie mit den Spitzen der Strahlen auf dem Objectträger ruhen, wenn das Präparat zur Ruhe kommt. Diese Lage soll im Folgenden mit Haeckel als Faciallage bezeichnet werden und die ihr entsprechenden Projectionswinkel — welche also von den wahren Oral- und Lateralwinkeln bei einigermaßen ausgesprochener Flächendifferenzirung verschieden sind — als faciale Winkel. Wichtig ist ferner die Unterscheidung der Dermal- und Canalseite eines Dreistrahlers und — namentlich bei den Atzversuchen — die betreffende Seite der einzelnen Strahlen. Mehrfach ist im Folgenden gleichbedeutend mit Dermalseite: convexe Seite und gleichbedeutend mit Canalseite: concave Seite des Dreistrahlers, beziehungsweise des Strahles gebraucht. Bei den Vierstrahlern kann man ähnliche Betrachtungen anstellen, indessen ist bei diesen die Flächendifferenzirung der facialen Schenkel meistens eine geringe.

Was die Stabnadeln betrifft, soll hier nur ein Punkt berührt werden, den Sollas vor Allem für diese, aber auch für die Drei- und Vierstrahler in Frage stellt: Ob nämlich der Querschnitt derselben kreisrund oder aber elliptisch oder überhaupt nicht kreisförmig ist. Sollas scheint das Vorkommen von Nadeln mit nicht kreisrundem Querschnitte als ein häufiges zu halten, was jedoch nicht der Fall ist. Der Ausspruch Haeckel's, dass die Kalknadeln in der Regel cylindrisch, spindelförmig oder konisch, selten aber abgeplattet sind, ist gewiss richtig; es wird dies auch durch die

zahlreichen Querschnitte bestätigt, welche Poléjaeff¹ abgebildet hat. Wenn Sollas sich auf geätzte Stabnadeln beruft, welche in der That eine mehr rhomboidale Querschnittsform zeigen können, so hat dies mit der normalen Form der Nadel direct nichts zu thun. Ausnahmsweise kommen allerdings stark abgeplattete, fast bandförmige Nadeln vor. Unter den von mir untersuchten Objecten zeigten insbesondere die Apicalstrahlen der gastraln Vierstrahler und die feinen Nadeln im Distalkonus der Radialtuben von *Sycandra (Dunstervillia) elegans* eine exquisite Abplattung. (Vergl. Fig. 12 und 4, Taf. I.)

Was die zur Untersuchung verwendeten Kalkschwämme anbelangt, so stammen dieselben grösstentheils aus dem adriatischen Meere. Ich zähle dieselben mit den Namen auf, welche Haeckel in seinem natürlichen System angewendet hat, obwohl die Systematik der Kalkschwämme seit dem Erscheinen von Haeckel's Monographie wesentliche und begründete Veränderungen erfahren hat. Allein da es sich hier nur um die Skeletstructur handelt und Haeckel's System der Gattungen gerade auf das Skelet gegründet ist und ausserdem seine Diagnosen und Abbildungen eine sichere Bestimmung ermöglichen, so glaube ich der Haeckel'schen Artbezeichnungen in seinem natürlichen Systeme mich bedienen zu dürfen. Die untersuchten Arten umfassen 14 Repräsentanten aus den drei Familien der Kalkschwämme.

1. Asconen. *Ascetta Clathrus*, *A. sagittaria*, *Ascaltis cerebrum*, *A. Gegenbaueri*, *Ascandra falcata*, *A. variabilis*.

2. Leuconen. *Leucaltis solida*, *Leucandra alcornis*,² *L. aspera*.

4. Syconen. *Sycortis quadrangulata*, *Sycandra raphanus*, *S. elegans*, *S. Schmidtii*, *S. Bucchichii* n. sp.³

¹ Report on the Calcareous. The Zoology of the Voyage of H. M. S. Challenger. Vol. VIII, Part. XXIV (1883).

² Diese Art fand sich in drei Exemplaren unter einer grösseren Partie von Kalkschwämmen, welche Herr Gregorio Bucchich in Lesina mir gütigst überliess. *L. alcornis* war bisher aus der Adria nicht bekannt. Prof. F. E. Schulze hatte die Gefälligkeit die Art zu bestimmen.

³ Diese neue Art wird demnächst als *Amphoriscus Bucchichii* in Spengel's zoologischen Jahrbüchern kurz beschrieben werden. Sie ist der *Sycilla chrysalis* H. nahe verwandt, unterscheidet sich aber von derselben

II. Optisches Verhalten der Nadeln. Axenkreuz, Brechungsquotienten, Untersuchung mit Einem Nicol.

Es wurde bereits in der Einleitung bemerkt, dass sich die Spiculae der Kalkschwämme optisch wie einheitliche Krystalle verhalten, gleichgiltig, ob es sich um Stabnadeln, Drei- oder Vierstrahler handelt.

Folgende Thatsachen beweisen dies. Bringt man eine beliebige Nadel unter das Mikroskop zwischen gekreuzte Nicols und dreht man dieselbe durch alle Azimuthe, so erscheint sie bei vier Stellungen schwarz, bei vier Stellungen aber im Maximum hell, je nach der Dicke in mehr weniger hohen Farben bis zum gleichmässigen Weiss, wie es bei etwas beträchtlicheren Dicken der Substanz immer auftritt. Die Nadeln sind also stark doppelbrechend und ausserdem sind die beiden Schwingungsrichtungen durch die ganze Nadel hindurch wie in einem Krystall gleichgerichtet, denn sonst könnte man nicht stets vier Stellungen finden, bei welchen die Nadeln absolut schwarz wie das Gesichtsfeld erscheinen, wobei zunächst abgesehen wird von jener Orientirung der Spiculae, bei welcher die optische Axe der Nadeln senkrecht zum Objectträger steht. Ferner muss bemerkt werden, dass es nothwendig ist, um sich von dem absoluten Lichtausfall in vier von einander um 90° verschiedenen Stellungen zu überzeugen, die Untersuchung in stark lichtbrechenden Flüssigkeiten, am besten Monobromnaphthalin oder auch Nelkenöl, Dammarlack etc. vorzunehmen, weil sonst die Reflexe an den stets gekrümmten Oberflächen zu Depolarisirungen an den Rändern und dadurch zu Täuschungen Anlass geben können. Um nun den Charakter der Doppelbrechung zu bestimmen — ob ein- oder zweiachsig, ob positiv oder negativ — bedient man sich in diesem Falle am besten der Untersuchung im convergenten Lichte, um das Axenbild aufzufinden.

Bei mehreren Asconen gibt es reguläre Drei- und Vierstrahler, deren optische Axe senkrecht steht auf der Facialebene, in welche sich die mit Hilfe von kurzer Maceration in Kali- oder Natronlauge isolirten Gebilde, wenn sie in einen Tropfen Flüssig-

sofort durch die Existenz subgastraler Dreistrahler. Sie wurde von Herrn G. Buccich im Canale von Lesina gefunden.

keit gebracht werden, meist von selbst legen. Derartige Drei- und Vierstrahler findet man z. B. bei *Ascaltis Gegenbaueri* und *Ascaltis Cerebrum*. Zur Untersuchung bediente ich mich eines Systems von Convergenzlinsen, welches Reichert in Wien für den Polarisator eines Zeiss'schen Mikroskopes angefertigt hatte. Ausser diesem, wie ein Condensor über dem Polarisator angebrachten Linsensysteme — statt dessen im Nothfalle ein gewöhnlicher Condensor verwendet werden kann — braucht man zur Untersuchung des Axenbildes nur noch ein Nicol, das für sich allein, ohne Ocular, als Analysator verwendet werden kann. Die Untersuchung wird nun folgendermassen vorgenommen.

Man sucht zunächst, nachdem man ein mittelstarkes Objectiv angeschraubt hat — etwa System *E* von Zeiss — einen isolirt liegenden Drei- oder Vierstrahler auf und stellt denselben möglichst genau in die Mitte des Gesichtsfeldes. Hierauf nimmt man das Ocular fort und bringt statt desselben das analysirende Nicol auf den Tubus und stellt dessen Polarisationssebene senkrecht zu der des Polarisators und erblickt nun ein schwarzes Kreuz, zwischen dessen Armen vier helle Quadranten zu sehen sind. Von isochromatischen Ringsystemen bemerkt man bei *Ascaltis Cerebrum* und den Dreistrahler von *Ascaltis Gegenbaueri* nichts, weil diese Gebilde zu dünn sind, dagegen kann man an den etwas dickeren Vierstrahlern von *Ascaltis Gegenbaueri* bereits das erste Ringsystem in der Farbenfolge, wie sie der Kalkspath zeigt, sehen. Dass das Kreuz das Axenkreuz eines einaxigen Krystalles ist, davon überzeugt man sich, indem man über dem feststehenden Polarisator und während man das analysirende Nicol festhält,¹ den Objecttisch des Mikroskopes um seine Axe dreht, wobei das Kreuz stets unverändert stehen bleibt zum Beweise, dass es nicht etwa einer zweiaxigen Substanz angehört. Mit Hilfe einer Viertel-Undulations-Glimmerplatte kann man ferner ohne Schwierigkeit den negativen Charakter des Axenkreuzes feststellen. Ist es auf diesem Wege verhältnissmässig leicht,

¹ Ein drehbarer Objecttisch mit feststehendem Polarisator ist zu solchen Untersuchungen nach meiner Erfahrung besser, als die gewöhnlich sehr unvollkommene Einrichtung drehbarer Ringe, auf welche die Objecte aufgelegt werden, wobei die Centrirung während des Drehens fortwährend Schwierigkeiten macht.

sich zu überzeugen, dass die genannten Objecte optisch negativ einaxig sind, wie der Kalkspath, so macht dies bei anderen Objecten, bei welchen die optische Axe nur mit grosser Mühe oder gar nicht vertical gestellt werden kann, grössere Schwierigkeiten.

Es war jedoch möglich, an Skelettheilen aller untersuchten Arten das Axenkreuz zu sehen, wenn es auch nicht immer mit seiner Mitte in das Centrum des Gesichtsfeldes gebracht werden konnte, das heisst wenn es auch nicht immer gelang, die optische Axe genau vertical zu stellen. Da jedoch der benützte Convergenzapparat mit System *E* von Zeiss noch das Axenbild deutlich, obwohl nahe dem Rande des Gesichtsfeldes zeigt, wenn die optische Axe 30° gegen die Verticale geneigt ist, so war eine völlige Verticalstellung der Axe durchaus nicht nothwendig.

An dickeren Objecten, so an den kolossalen Dreistrahlern von *Leucaltis solida*, an den kolossalen Stabnadeln von *Leucandra aspera* und *alcicornis* kann man bei entsprechender Stellung nebst dem Axenkreuze auch die ganze Reihe isochromatischer Ringe, genau wie am Kalkspathe sehen. Wenn nun demgemäss feststeht, dass jede Kalkschwammnadel, wie ein einheitlicher negativ einaxiger Krystall sich verhält, so muss doch noch auf einige Unvollkommenheiten der Kreuze hingewiesen werden, welche sie in Folge der Krümmungen und Unebenheiten der Oberflächen der Skelettheile erleiden. Verzerrungen entstehen z. B., wenn man bei Vierstrahlern von *Ascaltis Gegenbaueri* gerade auf den vertical stehenden Apicalstrahl einstellt, ferner bei den Dreistrahlern von *Leucaltis solida*, bei welchen man den Basalstrahl abbrechen muss, um die beiden Lateralstrahlen zur Beobachtung des Axenkreuzes horizontal stellen zu können. Stellt man nun mit einem schwachen System, z. B. *B* Zeiss auf die Bruchfläche des Basalstrahles ein, so kann man mitunter starke Verzerrungen des Axenkreuzes sehen, die jedoch viel weniger merklich werden, oder auch ganz verschwinden, wenn man ein stärkeres Objectivsystem benützt.

Ganz analoge Verzerrungen erhält man aber auch von Kalkspathstückchen mit unebenen Bruchflächen, die mit der optischen Axe vertical gestellt werden. Abgesehen von diesen Verzerrungen bei Vierstrahlern und an Bruchflächen ist es aber im Ganzen

überraschend, wie wenig die natürlichen Krümmungen der Nadeloberflächen, wo diese allein in Betracht kommen, das Axenbild beeinträchtigen. Verschiebt man eine Nadel, während man das Axenbild beobachtet, so behält das Centrum desselben, wenn die Verschiebung rein seitlich ohne Drehung erfolgt, stets dieselbe Lage, nur die Distanzen der isochromatischen Ringe verändern sich fortwährend, je nachdem die dickeren oder dünneren Partien der meist konischen oder spindelförmigen Strahlen ins Gesichtsfeld kommen. Wenn nun dies Alles zweifellos beweist, dass die Kalkschwammspiculae sich genau so verhalten, als wären sie je ein einziges Krystallindividuum, so könnte man, bei der Untersuchung im parallelen Lichte allein, leicht zu der irrthümlichen Vorstellung gelangen, dass die Spiculae unter Umständen depolarisirend wirken.

Nach der Theorie steht es fest, dass ein mit der optischen Axe senkrecht zum Objectträger orientirter, einaxig doppelbrechender Körper, unter dem Mikroskope zwischen gekreuzten Nicols im parallelen Lichte untersucht, in allen Azimuthen dunkel, wie das Gesichtsfeld erscheinen muss, vorausgesetzt, dass es sich nicht um Erscheinungen der Circularpolarisation handelt, die hier nicht in Frage kommen. Beobachtet man nun einen Dreistrahler von *Ascultis Gegenbaueri* oder *A. Cerebrum*, der im convergenten Lichte ein centrales Kalkspathkreuz zeigt, so erscheint derselbe im parallelen Lichte allerdings nicht sehr hell, aber doch nicht vollständig dunkel. Man sieht vielmehr über das ganze Object einen silbergrauen Schimmer ausgebreitet. An den grossen Vierstrahlern von *Ascultis Gegenbaueri* sieht man die facialem Strahlen viel heller wie an den kleinen Dreistrahler, der apicale Strahl aber, der senkrecht nach oben gerichtet ist, leuchtet in jeder Stellung in sehr hellem Weiss.

Nimmt man nun dickere Objecte, z. B. die kolossalen Dreistrahler von *Leucaltis solida* oder die dicken Stabnadeln von *Leucandra aspera*, und bringt sie in eine Stellung, in welcher die optische Axe senkrecht oder nahezu senkrecht steht, so sieht man dieselben stets sehr hell leuchten im dunklen Gesichtsfelde in jedem Azimuthe. Dieser Umstand verwirrte mich sehr, ehe ich die Untersuchungen im convergenten Lichte in ausgedehnter Masse anstellte, und schien mir ein Beweis zu sein, dass die Kalk-

schwammspiculae, trotzdem sie sich in den Stellungen, in welchen die optische Axe horizontal oder stark geneigt war, bei der Untersuchung im parallelen Lichte wie ein einziger Krystall verhielten, dennoch aus vielen kleinen Individuen mit etwas divergenter Axenstellung zusammengesetzt seien.

Diese Erscheinung würde mir nicht so viel Schwierigkeit gemacht haben, wenn ich — was mir sonderbarerweise erst sehr spät einfiel — eine senkrecht zur optischen Axe geschliffene Kalkspathplatte oder kleine, mit der Axe vertical gestellte Kalkspathkrystalle¹ früher, als ich es thatsächlich gethan, zwischen gekreuzten Nicols im parallelen Lichte untersucht hätte. Solche Kalkspathpräparate zeigen nämlich genau dieselbe Erscheinung; sie erscheinen hell zwischen gekreuzten Nicols bei jeder Stellung. Es ist damit der Beweis geliefert, dass eine Substanz, welche bei jeder Stellung zwischen gekreuzten Nicols hell erscheint, dessenungeachtet ein einheitlicher Krystall sein kann, wie ja das Experiment am Kalkspathe beweist. Es wird sich also nur darum handeln, diese anscheinend der Theorie widersprechende Erscheinung zu erklären.

Die Theorie fordert zur völligen Dunkelheit, dass die durch das betreffende Präparat hindurchgehenden Strahlen wirklich parallel untereinander und zur optischen Axe aus dem Polarisator herauskommen. Diese Bedingung ist aber bei der gewöhnlichen Art der Beobachtung mit sogenanntem parallelem Lichte keineswegs erfüllt; es fällt auf jeden Punkt des Präparates ein Lichtkegel, dessen Basis im Allgemeinen durch den Beleuchtungsspiegel gegeben ist und dessen Spitze in die Nähe des Objectes fällt, ein Kegel der eine noch grössere Öffnung erhält, wenn — wie dies bei den Polarisatoren der Mikroskope gewöhnlich der Fall ist — ein Condensor unter der Tischöffnung angebracht ist. Allein auch ohne Condensor sind es immer Lichtkegel, nicht parallele Lichtstrahlen, welche das Object beleuchten, wenn ohne besondere Vorrichtungen mit sogenanntem parallelem Lichte untersucht wird. Da nun jeder Punkt des Objectes nicht nur von Strahlen parallel der Axe, sondern von schiefen, wenn auch wenig

¹ Ich benützte kleine wasserhelle Rhomboëder — $\frac{1}{2}$ R von einer Stufe von Pribram.

geneigten Strahlen in allen Azimuthen durchsetzt wird, so kommt es annähernd auf dasselbe hinaus, als wenn in jedem Punkte des Objectes die optischen Axen nach allen Seiten hin etwas geneigt wären. Dies muss aber zur Folge haben, dass jeder Punkt des Objectes insbesondere am meisten von denjenigen Strahlen erleuchtet wird, welche in Ebenen, die unter $\pm 45^\circ$ zu den Polarisations Ebenen des Nicols orientirt sind, dahingehen. Dass man unter diesen Umständen trotzdem kein schwarzes Kreuz — entsprechend den Polarisations Ebenen der Nicols, in welchen ja kein Licht durch das Object geht — sehen kann, wird man begreifen, wenn man bedenkt, dass ja nicht das Bild der Blendungsöffnung zur Beobachtung kommt, sondern das Object selbst, das Punkt für Punkt in gleicher Weise Licht aussendet. Nimmt man aber das Ocular fort und beobachtet man mit einem einfachen Nicol das Polarisationsbild in der hinteren Focalebene des Objectives, so kann man mit starken Objectiven in der That das Axenkreuz sehen. Dasselbe ist aber meistens sehr matt und undeutlich, wenn man ohne Condensor untersucht. Dass die genannte Erscheinung bei den Kalkschwammnadeln und am Kalkspathe zur Beobachtung kommt, liegt an der ausserordentlich starken Doppelbrechung dieser Objecte; es ist begreiflich, dass bei einer geringen Differenz der Brechungsquotienten eine schwache Neigung der das Object durchleuchtenden Strahlen keinen merklichen Effect erzielen kann; ebenso ist es begreiflich, dass die Erscheinung umso mehr zurücktritt, je dünner das Object, je kleiner mithin der Gangunterschied der im Object polarisirten Strahlen wird.

Nachdem nun durch Beobachtung der Axenkreuze im convergenten Lichte feststeht, dass die Skelettheile der Kalkschwämme negativ einaxig doppelbrechend sind, handelt es sich zunächst um die Bestimmung der beiden Brechungsquotienten. Da die Spiculae negativ sind, wie der Kalkspath, ist ihr ordentlicher, im Hauptschnitte polarisirter Strahl der stärker brechbare, der ausserordentliche senkrecht zum Hauptschnitte polarisirte aber der weniger brechbare.

Sollas bediente sich zur Bestimmung der Brechungsquotienten der Spiculae der Vergleichung mit Flüssigkeiten von bekanntem Brechungsindex. Zu diesem Zwecke wurde zwischen die gekreuzten Nicols des Mikroskopes eine Quarzplatte, welche

helles Gesichtsfeld gab, eingeschoben und nun eine Flüssigkeit gesucht, welche die Nadeln unsichtbar macht, wenn ihr Hauptschnitt parallel der Polarisationssebene des oberen Nicols steht (ω , ordentlicher Strahl), und dann eine zweite Flüssigkeit, welche die Nadeln auslöscht, wenn ihr Hauptschnitt senkrecht zur Polarisationssebene des oberen Nicols gerichtet ist, wobei ausserdem die optische Axe horizontal, parallel der Ebene des Objectträgers liegen muss. (ϵ , ausserordentlicher Strahl.) Sollas kommt vorzüglich durch Untersuchung von Stabnadeln von *Grantia (Sycondra) ciliata* und *compressa* auf diesem Wege zu dem Resultate, dass der Brechungsindex des ordentlichen Strahles nahezu gleich jenem eines schwefelhaltigen Schwefelkohlenstoffes ($n = 1.650$) und derjenige des ausserordentlichen Strahles gleich jenem des Leinöles ($n = 1.485$) ist. Diese Brechungsquotienten stehen also denjenigen des Kalkspathes für die Linie *D* ($\omega = 1.658$ $\epsilon = 1.486$) sehr nahe.

Die von Sollas angewendete Methode ist einer bedeutenden Verbesserung fähig durch Benützung des Mikrorefractometers von Exner.¹ Mit Hilfe dieser Methode zeigte sich, dass die Brechungsquotienten der Kalkschwammnadeln mit jenen des Kalkspathes für die Linie *D* in den drei ersten Decimalstellen übereinstimmen. Als Vergleichungsflüssigkeiten wurden für den ordentlichen Strahl Monobromnaphthalin, dessen Brechungsquotient mit einem grossen Abbe'schen Refractometer mit 1.6591² bestimmt wurde, und für den ausserordentlichen Strahl ein Gemisch von etwa 8 Theilen Ricinusöl und einem Theile Nelkenöl mit einem Brechungsquotienten von 1.485 angewendet. Die von Sollas angegebenen Flüssigkeiten haben noch erheblich kleinere Brechungsquotienten als die Nadeln.³

Die Versuchsanordnung, deren ich mich bediente, war folgende. An einem grossen Zeiss'schen Stative mit drehbarem Objecttisch wurde ein polarisirendes Nicol unter die Tischöffnung in die Fassung für die Cylinderblendungen, welche beim Drehen des

¹ Arch. f. mikroskop. Anatomie Bd. XXV, S. 97.

² Dippel gibt den Brechungsquotienten mit 1.658 (Botanisches Centralbl. 1880, II. Semester. S. 1149), Exner (l. c.) mit 1.6608 an. Die oben angegebene Bestimmung wurde bei circa 17° Celsius gemacht.

³ Der Brechungsquotient des von mir benützten Leinöles betrug nur 1.483.

Objectisches fest stehen bleibt, eingeschoben. Das Mikrorefractometer wurde anfänglich dadurch improvisirt, dass aus der Fassung eines Nacet'schen Zeichenprismas die Axe mit dem Prisma entfernt und statt derselben eine gleiche Axe mit einem daran befestigten Stück schwarzen Cartons, welches den Schirm, den wesentlichen Theil des Refractometers bildete, eingefügt wurde.

Da die Fassung des Apparates auf den Tubus des Mikroskopes aufgesteckt werden kann, ferner eine verticale und eine horizontale Verschiebung des Schirmchens zur Einstellung auf halbe Verdunklung der Spitze des aus dem Oculare ausfahrenden Lichtkegels gestattet, so erfüllte sie alle wesentlichen Bedingungen. Später benützte ich dann allerdings das bequemere und vollkommeneren, nach den Angaben Exner's von Reichert angefertigte Mikrorefractometer.

Zur Abhaltung des seitlichen Lichtes von den oberen Theilen des Mikroskopes und den Augen des Beobachters, wurde ein grosser, gegen das Fenster gewendeter, schwarzer Papierschirm vor das Mikroskop gestellt.

Zur Untersuchung wurden meistens isolirte, etwas gekrümmte Stabnadeln verschiedener Schwämme verwendet, weil bei diesen die optische Axe stets in der Ebene der Krümmung und daher im Präparate fast immer horizontal liegt, da ja die Nadeln meistens von selbst sich in die Ebene der Krümmung legen.

Die Nadel wird nun annähernd parallel dem Rande des Refractometerschirmes gestellt und nun der Objectisch, oder auch das Nicol durch alle Azimuthe gedreht. So kommt die Nadel successive in alle möglichen Stellungen zur Polarisations-ebene und in zwei aufeinander senkrechten Richtungen wird das eine Mal der ordentliche, das andere Mal der ausserordentliche Strahl ganz unwirksam. Man erkennt leicht, dass bei der Untersuchung in Leinöl die Nadel stets einen hellen Rand nach der Seite des Schirmes beziehungsweise gegen die blaue Seite des Gesichtsfeldes behält, welcher am hellsten leuchtet und am breitesten wird, sobald der ordentliche Strahl im Maximum wirksam ist, dagegen schmal, aber noch deutlich erkennbar ist, wenn dies beim ausserordentlichen Strahl der Fall ist. Es ist also der ausserordentliche Strahl noch etwas stärker brechend als Leinöl. Macht man den Versuch mit Schwefelkohlenstoff, so sieht man,

wenn der Hauptschnitt der Nadel der Polarisationssebene parallel ist, einen deutlichen, ziemlich hellen Streifen an der blauen Seite des Gesichtsfeldes; es bricht also der Schwefelkohlenstoff noch merklich schwächer als der ordentliche Strahl. Steht der Hauptschnitt der Nadel senkrecht zur Polarisationssebene, so sieht man einen hell leuchtenden breiten Streifen auf der braunen Seite des Gesichtsfeldes zum Zeichen, dass der ausserordentliche Strahl viel schwächer bricht, als Schwefelkohlenstoff. Bei dem Wechsel der Beleuchtung der Ränder gibt es eine Zwischenstellung, in welcher beide Ränder hell sind. Es ist dies auch bei anderen Flüssigkeiten der Fall, deren Brechungsquotient zwischen jenen des ordentlichen und des ausserordentlichen Strahles liegt, wie Nelkenöl und Dammarlack. Man kann bei einer gewissen Winkelstellung des Hauptschnittes gegen die Polarisationssebene an beiden Rändern eine gleich helle Linie sehen, eine Erscheinung, welche insoferne interessant ist, als sie an einem doppelbrechenden Körper ganz unmittelbar die Charaktere einer Substanz erkennen lässt, welche gleichzeitig das Licht stärker und schwächer bricht, als die umgebende Flüssigkeit.

Bei der Untersuchung mit Monobromnaphthalin im Tageslichte, macht sich der Unterschied der Dispersion der Flüssigkeit und der Nadeln sehr bemerklich.

Die Dispersion zwischen den Linien *F* und *C* von ω des Kalkspathes beträgt 0.0135, beim Monobromnaphthalin dagegen 0.0325, also nahezu $2\frac{1}{2}$ mal mehr. Es müssen daher im stärker brechbaren Theile des Spectrums die Brechungsquotienten von ω des Kalkspathes viel kleiner, im schwächer brechbaren aber voraussichtlich grösser sein als diejenigen des Monobromnaphthalins. Untersucht man nun eine Kalknadel oder ein kleines Kalkspathprisma bei empfindlichster Stellung des Mikrorefractometers, so erscheint der dem gelben Theile des Gesichtsfeldes zugewendete Rand des Objectes blau bis hellgrünlich (am äussersten Rande), dagegen der dem blauen Theile des Gesichtsfeldes zugewendete Rand roth bis rothgelb, woraus zu erschliessen, dass eben Roth stärker vom Kalkspath, Grün bis Violett stärker vom Monobromnaphthalin gebrochen wird. Die Erscheinung ist deutlicher an den Nadeln, wegen ihrer gleichmässigen Rundung, als an einem kleinen Kalkspathprisma zu sehen.

Ob die Linie *D* vom Monobromnaphthalin oder von den Nadeln, respective dem Kalkspathe, stärker gebrochen wird, lässt sich erst bei der Untersuchung im Natriumlichte feststellen. Man sieht dann bei möglichst sorgfältiger Einstellung von Nicol und Mikrorefractometer einen schwachen lichten Saum an der dem Schirme abgewendeten Seite des Objectes, welcher bei einer Nadel deutlicher ist, als beim Kalkspathprisma. Monobromnaphthalin bricht also im Natriumlichte noch eben merklich stärker als ω des Kalkspathes und der Nadeln, obwohl die Differenz für Kalkspath nur 5 Einheiten der vierten Decimalstelle beträgt. Um die Versuche mit kleinen natürlichen Kalkspathprismen, die von einer Stufe von Andreasberg abgebrochen wurden, möglichst vergleichbar mit jenen an Nadeln zu machen, benützte ich Basalstrahlen kolossaler Dreistrahler von *Leucaltis solida*, welchen durch Wälzen mittelst Verschiebung des Deckglases eine solche Stellung gegeben wurde, dass der optische Hauptschnitt mit der morphologischen Axenrichtung zusammenfiel.

Viel schwieriger sind die Versuche bezüglich des ausserordentlichen Strahles zu machen, da es nicht möglich ist, mit absoluter Sicherheit die Nadeln in eine solche Stellung zu bringen, dass die optische Axe genau horizontal in der Ebene des Objectträgers liegt, was für das Minimum von ε Bedingung ist, während ω bekanntlich von der Neigung der optischen Axe unabhängig ist.

Doch legen sich, wie bereits erwähnt wurde, gekrümmte Stabnadeln nach einiger Zeit — in dicken Ölen freilich oft sehr langsam — meist in die Ebene der Krümmung, welche zugleich ein optischer Hauptschnitt ist. Es wurden zur Bestimmung von ε vorzüglich stärker gekrümmte Stabnadeln von *Leucandra aspera* verwendet. Leinöl ($n = 1.483$) bricht deutlich schwächer als ε , Xylol dagegen ($n = 1.496$) deutlich stärker. Ein Gemisch von circa 8 Theilen Ricinusöl und einem Theile Nelkenöl ($n = 1.485$) gab bezüglich des ausserordentlichen Strahles analoge Erscheinungen im weissen Lichte, wie Monobromnaphthalin bezüglich des ordentlichen; nämlich blaugrüne Färbung gegen die gelbe, röthlichgelbe Färbung gegen die blaue Seite des Gesichtsfeldes. Die Dispersion der Vergleichungsflüssigkeit ist wiederum eine stärkere als diejenige des ausserordentlichen Strahles im Kalk-

spathe. Die Differenz der Brechungsquotienten für die Frauenhofer'schen Linien *C* und *F* beträgt für ϵ des Kalkspathes 0.0062, für das verwendete Ölgemisch aber 0.010 und die Erscheinungen im weissen Lichte sprechen wiederum dafür, dass die schwächer brechbaren Farben im Kalkspathe, die stärker brechbaren aber in dem Ölgemische stärker gebrochen werden. Die Untersuchung im Natriumlichte ergiebt bei sorgfältiger Einstellung von Nicol und Mikrorefractometer eine deutliche helle Lichtlinie an dem dem Schirmrande zugewendeten Theil der Nadel, woraus folgt, dass das Licht der Linie *D* in der Nadel noch stärker gebrochen wird, als von der Vergleichungsflüssigkeit. Das Resultat dieser Untersuchungen lässt sich nun dahin zusammenfassen, dass die Brechungsquotienten der Nadeln höchstens in der vierten Decimalstelle von jenen des Kalkspathes verschieden sein können, wahrscheinlich aber genau mit denselben zusammenfallen.

Untersucht man Präparate mit mannigfaltigen Skelettheilen in einer Flüssigkeit, deren Brechungsquotient zwischen jenem des ordentlichen und des ausserordentlichen Strahles der Nadeln liegt, so ergeben sich je nach der Stellung der Nadeln wechselnde Erscheinungen, und man wird unter den Drei- und Vierstrahlern auch auf solche treffen, bei welchen der ausserordentliche Strahl z. B. durch Dammarlack gerade ausgelöscht wird, ein Zeichen, dass die optische Axe eine Neigung hat, bei welcher der Brechungsquotient für den ausserordentlichen Strahl der Nadel dem des Dammarlaks gleichgeworden ist. So liesse sich dann mit Hilfe dieser Methode die Neigung der optischen Axe annähernd berechnen.

Dieser umständliche Weg wurde jedoch nicht eingeschlagen; es schien vielmehr genügend in Fällen, wo die Beobachtung des Axenkreuzes nicht möglich war, aus dem Ansehen von Dammarlackpräparaten bei Untersuchung mit einem Nicol einen annähernden Schluss auf die Lage der optischen Axen zu ziehen, ohne Exner's Refractometer zu verwenden.

Die Untersuchung mit einem Nicol wurde von mir bereits früher zur Untersuchung des Knochengewebes in Anwendung gebracht.¹ Sie scheint mir vortheilhafter zu sein, als die von

¹ Diese Ber. Bd. LXXV (1877), III. Abth., S. 155.

Sollas zu ähnlichem Zwecke angewendete Erhellung des Gesichtsfeldes zwischen gekreuzten Nicols durch eine Quarzplatte. Das eine Nicol und die Quarzplatte sind überflüssig und insoferne schädlich, als dadurch sehr viel Licht verloren geht, was namentlich bei der Untersuchung mit starken Vergrößerungen nicht unwesentlich ist. Am besten bringt man das Nicol feststehend unter einem drehbaren Objecttische an; weniger zweckmässig, wenn auch häufig ganz genügend, ist es, das Nicol in Verbindung mit dem Oculare anzuwenden, weil namentlich bei blauem Himmel das vom Spiegel reflectirte Licht oft so stark polarisirt ist, dass beim Drehen des Nicols das Gesichtsfeld sehr wechselnde Helligkeit zeigt, was eine genaue Beurtheilung der Brechungsverhältnisse der untersuchten Nadeln sehr erschwert.

Die Untersuchung mit einem Nicol ist, wie ich glaube, auch für denjenigen Mikroskopiker, der sich mit den Polarisationserscheinungen nicht eingehender beschäftigt hat, eine leicht anzuwendende Methode, während die Untersuchung zwischen gekreuzten Nicols im dunklen Gesichtsfelde und mit eingelegten Gypsplatten, welche freilich viel empfindlicher ist, bei so stark doppelbrechenden Körpern, wie es die Spiculae der Kalkschwämme sind, eine genaue Bekanntschaft mit der Farbenfolge der Newton'schen Ringsysteme und den damit zusammenhängenden Erscheinungen zur Voraussetzung hat. Da mit steigender Dicke die verschiedenen Farbenordnungen auftreten, so hat man dieselben an jeder Nadel in Form von Curven, deren Scheitelpunkte gegen die Spitzen der Nadeln gerichtet sind und sich an den Rändern der Nadeln diesen parallel zusammendrängen. Die Scheitelpunkte der Curven folgen sich gegen die Mitte der Nadel durch alle Farbenordnungen, bei dickeren Nadeln, um dort in ein gleichmässiges Weiss überzugehen, während bei dünnen Nadeln die Mitte von einer mehr gleichmässigen Farbe irgend einer Ordnung bedeckt erscheint. Dies alles bedingt ein zwar prächtiges, aber wirres Bild, auf dessen Einzelheiten, obwohl sie im Ganzen dem Verständnisse keine Schwierigkeiten bereiten, ich nicht eingehen will.

Die Untersuchung mit einem Nicol gestattet mit ziemlicher Annäherung die Lage der Nadeln zu bestimmen, in welcher die optische Axe senkrecht zum Objectträger steht. Dies hat für das

praktische Arbeiten grosse Vortheile, da die Aufsuchung des Axenkreuzes bei Schnitten gewöhnlich desswegen nicht anwendbar ist, weil die Skelettheile dicht aneinander liegen und daher auf einander so störend wirken, dass ein Axenkreuz nicht zu Stande kommen kann. Allein auch abgesehen davon, ist diese Untersuchungsweise desswegen die empfehlenswertheste, weil man, wie bei der Beobachtung im gemeinen Lichte, alle Details genau sehen kann. Zur Erläuterung des Gesagten möchte ich zunächst auf Fig. 14 (Taf. I) verweisen, welche die Änderung des mikroskopischen Bildes eines in Dammarlack liegenden sagittalen Dreistrahlers von *Sycandra elegans* darstellt, dessen optische Axe mit der Ebene des Objectträgers keinen sehr grossen Winkel bildet. In der Stellung, in welcher der Basalstrahl des Dreistrahlers der Polarisationsebene des Nicols PP' parallel ist, erscheint derselbe mit dunklen Contouren und mit einer hellen Lichtlinie über der Mitte der Strahlen bei hoher Einstellung, die deutlichen Zeichen, dass das Object viel stärker das Licht bricht, als die Umgebung. Stellt man nun den Dreistrahler so, dass der Basalstrahl zur Polarisationsebene PP' senkrecht steht, so wird das Object matt, bekommt einen röthlichen Schimmer und helle Ränder, zeigt eine helle Lichtlinie unter den Strahlen bei tiefer Einstellung, kurz verhält sich wie eine Vacuole oder überhaupt wie ein Körper, der das Licht viel schwächer bricht, als die Umgebung. In den Zwischenstellungen ist weder das eine noch das andere Bild scharf ausgeprägt.

Man sieht aus einer derartigen Beobachtung sofort, dass der Hauptschnitt, der die optische Axe enthält, in dieser Facialstellung des Dreistrahlers dem Basalstrahl parallel ist, denn der stärker brechende ordentliche Strahl, der ja im Hauptschnitt polarisirt ist, zeigt seine eclatante Wirksamkeit, wenn der Basalstrahl der Polarisationsebene des Nicols parallel ist; er wird aber unwirksam und an seine Stelle tritt der schwach brechende ausserordentliche Strahl, wenn der Basalstrahl senkrecht zur Polarisationsebene steht. Um nun die Kenntniss der optischen Axenrichtung zu gewinnen, hat man diejenige Stellung des Dreistrahlers auszusuchen, in welcher derselbe stets in gleicher Weise stark lichtbrechend erscheint, wenn man das Präparat, beziehungsweise das Nicol, durch alle Azimuthe hindurch dreht, denn alsdann steht die

optische Axe senkrecht zum Objectträger, indem nur dann stets Licht von der Brechbarkeit des ordentlichen Strahles durch das Präparat geht, mag das Nicol wie immer orientirt sein. Ziemlich rasch kommt man in der Hauptsache zum Ziele — wenigstens bei den regelmässig gebauten Syconen — wenn man Schwämme in drei aufeinander senkrechten Schnittrichtungen untersucht; meist rascher, als wenn man sich darauf einlässt, isolirte Skelettheile aufzusuchen, welche zufällig gewünschte Lagen eingenommen haben. Zur Erläuterung einer derartigen Untersuchung mögen Fig. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 12 (Taf. I) dienen, welche das optische Verhalten der Skelettheile von *Sycandra elegans*, zum Theil allerdings nach Isolationspräparaten, darstellen. Fig. 5 stellt einen radialen Querschnitt durch einen Theil der Körperwandung zur Übersicht der Anordnung der Theile dar. *a, a* sind die dermalen Endschöpfe der Radialtuben mit den kleinen platten Stabnadeln (Fig. 4), darauf folgen plumpe Dreistrahler, dann die grau gehaltenen Radialtuben mit den tubaren Dreistrahlern; dazwischen die bei *b, b* mit eigenthümlich, wie zu einer Glocke zusammenneigenden Dreistrahlern beginnenden Intercanäle. Zu unterst kommt die Lage der gastraln Vierstrahler, deren Apicalstrahlen frei in die Magenöhle ragen. Letztere sind in Fig. 12 in verschiedenen Stellungen dargestellt, die tubaren Dreistrahler dagegen in Fig. 2 und 3 (Fig. 2, *b* und 3, *c* auf dem Oralwinkel liegend). Fig. 6 und 7 stellen Stücke tangentialer Längsschnitte, und zwar Fig. 6 etwa durch die Mitte der Radialtuben, Fig. 7 durch die Enden der Radialtuben in der Gegend der plumpen Dreistrahler dar. In diesen beiden Figuren sind wie in Fig. 5 *a, a* die Radialtuben, *b, b* die Intercanäle. Die Analyse mit einem Nicol ergibt nun an radialen Quer- und Längsschnitten, dass die optischen Hauptschnitte der tubaren Dreistrahler stets parallel der Canalaxe gerichtet sind, und ebenso jene der Dreistrahler am Ende der Intercanäle. Dies lässt schon schliessen, dass die optische Axe dieser Dreistrahler in der Hauptsache radiär verläuft, was durch die Untersuchung des tangentialen Längsschnittes sich bestätigt. An diesem erscheinen viele Dreistrahler bei jeder Stellung gleich stark lichtbrechend, wie immer auch das Nicol stehen mag. Anders die Schicht der gastraln Vierstrahler. Bei diesen ergibt die Analyse mit einem Nicol am radialen Querschnitt, dass sie in

jeder Stellung stark lichtbrechend erscheinen, dass dagegen am radialen Längsschnitt der Hauptschnitt in den Durchschnitt der Gastralfläche fällt, woraus folgt, dass die optischen Axen annähernd der Längsaxe der Gastralhöhle parallel sind. Für die Stabnadeln der Endschöpfe ergibt sich, dass die optische Axe in jeder einzelnen Nadel etwa 71° — 84° gegen die Längsaxe derselben geneigt und zugleich in der Ebene der Abplattung gelegen ist, dass aber im Ganzen die optischen Axen in einem Nadelstropfen von allen Seiten her radiär und senkrecht auf die Längsaxe der Radialtuben gerichtet sind. In den plumpen Dreistrahlern endlich sind die optischen Axen so gerichtet, dass sie mit der Axe des Radialcanales etwa Winkel von 45° bilden.

Alle diese Ergebnisse sind in der halbschematischen Fig. 8 ersichtlich, in welcher durch Pfeile die Richtung der optischen Axen angezeigt ist. Starke Neigung der Axen gegen die Ebene des Schnittes ist durch starke Verkürzung der Pfeile, beziehungsweise Ersetzung derselben durch einen Punkt angedeutet. Der Vierstrahler bei *A* entspricht einem radialen Längsschnitte, der Vierstrahler bei *B* einem radialen Querschnitte.

Zur Controle wurden die Schnitte, namentlich zur genaueren Feststellung der Hauptschwingungsrichtungen der Nadeln, auch zwischen gekreuzten Nicols im dunklen Gesichtsfelde untersucht und ausserdem auch mit Hilfe von Alkalilaugen isolirte Nadeln in verschiedenen Stellungen beobachtet.

III. Optische Untersuchung der einzelnen Skelettheile.

Nachdem nun an einem Beispiele die optische Untersuchung etwas eingehender dargestellt ist, können die Ergebnisse an den einzelnen Skelettheilen in zusammenfassender Weise wiedergegeben werden.

i. Dreistrahler.

Die Dreistrahler zerfallen bei der optischen Untersuchung in zwei Hauptgruppen. Erstens in solche, bei welchen die optische Axe senkrecht steht auf der Facialebene der drei Strahlen, zweitens in solche, bei welchen die optische Axe schief zur Facialebene gerichtet ist. Die erste Art Dreistrahler zeigt bei der Untersuchung in Dammarlack mit einem Nicol in der reinen Faciallage stets dasselbe stark lichtbrechende Ansehen bei jeder

Stellung des Nicols, die zweite Art Dreistrahler lässt aber bei derselben Untersuchung stets eine ausgezeichnete Stellung erkennen, in welcher der Dreistrahler im Maximum stark lichtbrechend ist und eine zweite, zur früheren senkrechte, in welcher derselbe im Minimum schwach lichtbrechend erscheint (vergl. Fig. 14). Entsprechend diesen beiden optischen Unterscheidungszeichen verhalten sich die beiderlei Dreistrahler bei der Untersuchung in der Faciallage auch verschieden zwischen zwei gekreuzten Nicols und im convergenten Lichte, was, nach den früheren Bemerkungen über das optische Verhalten der Kalkschwammnadeln überhaupt, keiner besonderen Auseinandersetzung bedarf. Diese zweierlei typisch verschiedenen Dreistrahler hat bereits Sollas erkannt. Mit der Eintheilung Haeckel's in reguläre, sagittale und irreguläre, deckt sich diese optische Hauptverschiedenheit nicht vollkommen. Die Dreistrahler, deren optische Axe senkrecht steht auf der Facialebene der Strahlen, sind zwar — soweit das untersuchte Material einen Schluss gestattet — alle perregulär im Sinne Haeckel's, mit lauter gleichen Winkeln und Strahlen. Unter den Dreistrahlern mit schief zur Facialebene gerichteter optischer Axe finden sich aber, neben sagittalen und irregulären im Sinne Haeckel's, auch geometrisch reguläre, mit lauter gleichen Winkeln und Schenkeln. Daraus folgt, dass die Grösse der Winkel und Strahlen kein sicheres Kennzeichen für die Regularität sein kann, da offenbar nur in dem Falle, wo die optische Axe senkrecht steht auf der Facialebene, alle drei Schenkel vollständig gleichwerthig sein können, während ein Schiefstehen der optischen Axe bereits ein deutliches Zeichen einer Seitlichkeit ist, das eine Gleichwerthigkeit von allen drei Strahlen ausschliesst. Nach diesen Vorbemerkungen sollen nun die beiden Hauptgruppen der Dreistrahler näher ins Auge gefasst werden.

A. Reguläre Dreistrahler.

Dieselben sind gleichwinkelig und gleichschenkelig und die optische Axe steht senkrecht auf ihrer Facialebene. Solche wirklich reguläre Dreistrahler fanden sich bisher ausschliesslich unter den Asconen, und zwar bei *Ascetta Clathrus*, *Ascaltis cerebrum*, *A. Gegenbaueri* und *Ascandra falcata*. Dabei muss aber betont

werden, dass gerade eine Reihe von Leuconen und Syconen, bei welchen sich nach der Angabe Haeckel's nur reguläre Dreistrahler finden, zur Untersuchung nicht zugänglich waren. Facialansichten regulärer Dreistrahler sind in Fig. 9, *a* und 10 dargestellt. Eine Projectionsansicht nach den Principien der Darstellung der Krystallformen gibt Fig. 18, *A* von *Ascetta Clathrus*, während Fig. 18, *B* einen pseudoregulären Dreistrahler aus der Gastralfläche von *Sycortis quadrangulata* wiedergibt. Da die optische Axe für beide Dreistrahler gemeinsam gezeichnet ist, springt der principielle Unterschied sehr deutlich in die Augen. Ausser bei *Sycortis quadrangulata* habe ich pseudoreguläre Dreistrahler mit einer so schwachen Flächendifferenzirung und mit wirklich gleichen Winkeln zwischen je zwei Strahlen unter den untersuchten Schwämmen sonst nirgends gefunden. Die regulären Dreistrahler, welche bei *Leucandra aspera* und *Leucaltis solida* anscheinend vorkommen, sind nur in der Projection regulär; da aber bei denselben stets eine starke Flächendifferenzirung vorhanden ist, stellt sich bei der Messung der wirklichen Winkel, wenn je zwei Strahlen in einer Ebene sind, heraus, dass die Winkel paarweise gleich, der dritte aber davon verschieden ist, dass sie also in Wahrheit auch geometrisch sagittale Dreistrahler sind. Dieselben verhalten sich in der Regel wie der in Fig. 19 dargestellte Dreistrahler von *Leucaltis solida*. Einer besonderen Erwähnung sind noch die aberranten Formen von Dreistrahlerwerth, welchen man, wenn auch selten, zwischen den normalen Formen bei *Ascetta Clathrus* und *Ascandra falcata* begegnet. Dieselben zeigen eine winkelige Brechung eines oder mehrerer Strahlen unter einem Winkel von 120° (Fig. 9, *b*) oder nur zwei Strahlen, welche unter einem Winkel von 60° zusammenstossen, wobei der eine Strahl auch jenseits der Verbindungsstelle sich gerade fortsetzen kann (*d* und *c*), endlich vierstrahlige Nadeln, welche, wie eine Zwillingungsverwachsung zweier Dreistrahler, mittelst eines stark verkürzten gemeinsamen Strahles sich darstellen (*e*). Alle diese aberranten, monströsen Formen, welche keinerlei Beziehungen zu anderen normalen Nadelformen der Kalkschwämme erkennen lassen, haben die optische Axe senkrecht auf der Ebene der Strahlen.

B. Sagittale Dreistrahler.

Haeckel unterscheidet die sagittalen Dreistrahler als 1. gleichwinkelige und paarschenkelige, 2. gleichschenkelige und paarwinkelige, 3. paarwinkelige und paarschenkelige. Für diese Unterscheidungen gibt die optische Untersuchung keine Anhaltspunkte. Alle sagittalen Dreistrahler sind dadurch charakterisirt, dass erstens die optische Axe niemals senkrecht steht auf der Facialebene der Strahlen, und zweitens dadurch, dass die Axe des Basalstrahles stets in einen optischen Hauptschnitt fällt, welcher zugleich den wahren Oralwinkel halbirt. Ein Blick auf die Projectionszeichnungen von sagittalen Dreistrahler, wie sie in Fig. 19, 20, 21, 22 und 23 dargestellt sind, lässt diesen gemeinsamen Charakter sofort erkennen, man sieht aber auch, dass der pseudoreguläre Dreistrahler in Fig. 18, *B* ebenfalls unter die gegebene Definition fällt und als Form eines sagittalen Dreistrahlers aufgefasst werden muss. Da die Haeckel'sche Einteilung sich auf das Ansehen der Dreistrahler in der Facialebene bezieht, in dieser aber wegen der meist starken Flächendifferenzirung die Winkel durch die relativen Längen der Strahlen sehr beeinflusst werden, so hätte die Unterscheidung Haeckel's einen strengen Sinn nur für den im Ganzen seltenen Fall einer gänzlich fehlenden oder kaum merklichen Flächendifferenzirung. Wenn wir aber diese berücksichtigen, so finden wir als einen sehr häufigen Fall sagittale Dreistrahler, deren wahrer Oralwinkel circa 120° beträgt und gleichzeitig nahezu in einer Ebene liegt, welche senkrecht zur optischen Axe steht (Fig. 19, 20, 21). Solche Dreistrahler finden sich bei Syconen mit gegliedertem Tubarskelet (*Sycortis quadrangulata*, *Sycandra raphanus* zum Theil, *S. elegans* etc.) und bei den Leuconen (*Leucaltis solida*).

Der Basalstrahl verhält sich insoferne verschieden, als seine Neigung bei verschiedenen Arten sehr wechselt und er Winkel mit der optischen Axe bilden kann, welche zwischen $10-50^\circ$ schwanken. Sind solche sagittale Dreistrahler in ihrer Faciallage, so ergibt sich eine grosse Verschiedenheit des oralen Projectionswinkels, der, je nach der relativen Länge und Neigung des Basalstrahles, zwischen nahezu $120^\circ-170^\circ$ schwanken kann, obwohl der wahre Oralwinkel nur wenig von 120° verschieden ist. Ist zufällig ein Lateralstrahl einmal etwas kürzer,

so resultirt dann ein anscheinend ganz irregulärer Dreistrahler mit lauter ungleichen Schenkeln und Winkeln in der Faciallage, obwohl thatsächlich, abgesehen von der Verkürzung eines Strahles, derselbe alle Charaktere eines sagittalen Dreistrahlers besitzt. Umgekehrt kann bei entsprechender Länge und Neigung des Basalstrahles eine Projectionsansicht zu Stande kommen, welche einen Dreistrahler fast regulär mit lauter gleichen Winkeln und Schenkeln erscheinen lässt, obwohl wiederum der oben gekennzeichnete Charakter der sagittalen Dreistrahler nicht geändert ist. Die Reihe dieser sagittalen Dreistrahler kann man sich aus einem optisch regulären Dreistrahler (geometrisch) so entstanden denken, dass ein Strahl allmählig in seinem Hauptschnitt emporgehoben wird, bis er nahezu parallel der optischen Axe wird, während die beiden anderen Strahlen in ihrer ursprünglichen Lage bleiben. Man denke sich z. B. an dem regulären Dreistrahler, Fig. 18, den Strahl bei *A* allmählig emporgehoben, während die beiden anderen Strahlen ruhig liegen bleiben, so würden successive Dreistrahler entstehen, wie sie in Fig. 19, 20 und 21 (abgesehen von den Krümmungen) dargestellt sind. Die sagittalen Dreistrahler dieser Art können auch gekrümmte Strahlen besitzen (Fig. 20 und 21). Doch scheint die Ebene der Krümmung gewöhnlich — sowie es in Fig. 20 für die Lateralstrahlen, in Fig. 21 für den Basalstrahl dargestellt ist — mit einem optischen Hauptschnitte zusammen zu fallen.

Eine weitere Variation dieser Dreistrahler besteht darin, dass die Ebene des Oralwinkels nicht nahezu senkrecht auf der optischen Axe steht, sondern mehr oder weniger gegen dieselbe geneigt ist.

Wie man die bisher besprochenen sagittalen Dreistrahler sich geometrisch aus regulären Dreistrahler ohne Flächendifferenzierung hervorgegangen denken kann, durch Aufbiegen eines Strahles, so kann man die jetzt zu besprechenden Dreistrahler ähnlich hervorgegangen betrachten aus regulären Dreistrahler mit mehr weniger starker Flächendifferenzierung. Während beim regulären Dreistrahler die Ebene des Winkels zweier Strahlen mit der Facialebene und daher der wahre (Oral-) Winkel mit dem Projectionswinkel zusammenfällt und genau 120° beträgt, wenn keine Flächendifferenzierung vorhanden ist, müssen die wahren

Oralwinkel umso mehr von dem stets 120° betragenden Projectionswinkel verschieden werden, je mehr die Spitze der Pyramide sich erhebt, beziehungsweise, je kleiner die Winkel werden, welche die Ebenen der wahren Oralwinkel mit der optischen Axe bilden. Bezeichnet man mit o den wahren Oralwinkel, mit p den Winkel, welchen die durch die Axen zweier Strahlen gelegte Ebene (Ebene des wahren Oralwinkels) mit der optischen Axe bildet, so besteht folgende Beziehung: $\cot \frac{o}{2} = \frac{\cot 60^\circ}{\sin p}$, das

heisst, je kleiner der Winkel wird, den die Ebene zweier Strahlen mit der optischen Axe bildet, um so kleiner und umso mehr der Null sich nähernd wird der wahre Oralwinkel. Dabei bleibt aber der Projectionswinkel stets 120° . Stark in der Fläche differenzirte, wirklich reguläre Dreistrahler kommen, wie es scheint, nicht vor. Doch ist z. B. bei *Ascetta Clathrus* immerhin eine geringe Flächen-differenzirung, wobei die Strahlen mit der optischen Axe Winkel von circa 88° bilden, zu bemerken. Denkt man sich nun von einer Reihe in der Fläche differenzirter regulärer Dreistrahler durch Aufbiegen eines Strahles Reihen von sagittalen Dreistrahler abgeleitet, so haben dieselben das Gemeinsame, dass die Projection ihrer Oralwinkel auf eine zur optischen Axe senkrechte Ebene 120° beträgt, während der wahre Oralwinkel im Allgemeinen kleiner als 120° ist. Ein ausgezeichnetes Beispiel dieser Art fand sich in den kolossalen Dreistrahler eines Exemplares von *Leucaltis solida*, bei welchen der wahre Oralwinkel im Mittel 118° betrug, während die Neigung der Oralebene zur optischen Axe (durch Beobachtung des Axenkreuzes gemessen) circa 74° im Mittel beträgt. Berechnet man daraus den Projectionswinkel nach obiger Formel, so ergibt sich derselbe mit 120° . Bei den kolossalen Dreistrahler eines anderen Exemplares von *Leucaltis solida*, von welchen einer in Fig. 19 abgebildet ist, war die Neigung der Oralebene zur optischen Axe meist grösser und näherte sich mehr 90° .

Während sich die bisher besprochenen sagittalen Dreistrahler geometrisch (ob auch phylogenetisch ist eine ganz andere Frage) durch eine verhältnissmässig einfache Operation — Aufbiegen eines Strahles in seinem Hauptschnitt durch die Axe — aus regulären ableiten lassen, ist dies bei einer Reihe anderer sagittaler Dreistrahler nicht möglich. Diese zweite Hauptform

sagittaler Dreistrahler lässt sich dahin charakterisiren, dass die Projection des Oralwinkels auf die Ebene senkrecht zur optischen Axe bedeutend mehr als 120° meist $150\text{--}180^\circ$ beträgt. Dabei kann der wahre Oralwinkel die verschiedensten Werthe zeigen, und entweder mit der Ebene senkrecht zur optischen Axe zusammenfallen (vergl. Fig. 23) oder nicht (Fig. 22).

Solche Dreistrahler finden sich sehr verbreitet, namentlich bei den Leuconen (*Leucandra aspera*, Gastralfläche von *Leucaltis*), aber auch bei Asconen und Syconen.

Hierher mnss auch die schon früher erwähnte pseudoreguläre Dreistrahlerform aus der Gastralfläche von *Sycortis quadrangulata* (Fig. 18, *b*) gerechnet werden, deren wahrer Oralwinkel 120° beträgt, während der Projectionswinkel auf die Ebene senkrecht zur optischen Axe nahezu 180° beträgt.

Die sagittalen Dreistrahler, deren Projection des wahren Oralwinkels auf die Basisebene (Ebene senkrecht zur optischen Axe) mehr als 120° beträgt, kann man sich aus regulären Dreistrahler geometrisch so abgeleitet denken, dass zunächst der Basalstrahl emporgehoben wird — wie im ersten Falle — dann aber ausserdem noch die beiden Lateralstrahlen um die optische Axe um gleiche Winkel successive bis 180° gedreht werden. Nur für den pseudoregulären Dreistrahler ohne Flächendifferenzirung wäre die einfache Ableitung denkbar, dass ein regulärer Dreistrahler ohne Flächendifferenzirung an einem Strahl emporgehoben wird, bis er vertical steht.

C. Irreguläre Dreistrahler.

Als optisch irreguläre Dreistrahler müsste man diejenigen bezeichnen, bei welchen kein optischer Hauptschnitt aufgefunden werden kann, der durch die morphologische Axe eines Strahles geht und zugleich den Winkel, welchen die beiden anderen Strahlen miteinander bilden, halbirt. Höchst wahrscheinlich gibt es solche Dreistrahler, wie aus vielen Abbildungen Haeckel's zu vermuthen ist. Unter den Objecten jedoch, welche hier zur Untersuchung kamen, wurde kein sicheres Beispiel dieser Art aufgefunden. Man darf sich nicht durch den Umstand täuschen lassen, dass gar nicht selten Dreistrahler beobachtet werden können, bei welchen die Polarisationsebene des ordentlichen Lichtstrahles mit

keinem Schenkel des Dreistrahlers genau zusammenfällt. Da der Basalstrahl der sagittalen Dreistrahler im Allgemeinen ziemlich bedeutende Winkel mit der optischen Axe bildet, so kann, falls der Dreistrahler in der Ebene eines Lateralwinkels liegt, die Polarisationssebene des ordentlichen Lichtes nicht mehr in die morphologische Axe des Basalstrahles fallen; ebenso müssen sich schon in der Facialansicht Abweichungen ergeben, falls die Lateralstrahlen ungleich lang sind. Nur die Untersuchung in einer Stellung, in welcher eine durch den Basalstrahl gelegte, auf der Projectionsfläche (Objectträger) senkrechte Ebene den wahren Oralwinkel halbirt, könnte zu einer sicheren Entscheidung führen, ob ein Dreistrahler wirklich optisch sagittal oder irregulär ist. Da es namentlich bei kleinen Dreistrahlern kein Kriterium gibt, ob diese Bedingung genau erfüllt ist oder nicht, und es auch bei sehr kleinen Objecten nicht leicht denkbar ist, die gewünschte Stellung künstlich herzustellen, so ist es selbstverständlich nicht möglich, den strengen Beweis zu liefern, ob ein durch die Axe des Basalstrahles gelegter Hauptschnitt den Oralwinkel halbirt oder nicht. Es dürfen daher die gemachten Angaben über sagittale Dreistrahler keineswegs darauf Anspruch machen, als exact erwiesen zu gelten; sie scheinen mir aber ohne Zwang den Beobachtungen zu entsprechen. Dieselben Schwierigkeiten ergeben sich natürlich auch bezüglich der sagittalen Vierstrahler und ist das über diese zu Bemerkende unter denselben Vorbehalten zu betrachten.

Kurz zusammengefasst, würde sich auf Grund der optischen Untersuchung eines allerdings beschränkten Materiales folgende Eintheilung der Dreistrahler ergeben:

A. Reguläre Dreistrahler. Optische Axe senkrecht auf der Facialebene der drei Strahlen. Alle drei Strahlen optisch gleichwerthig, gleich lang, gleiche Winkeln bildend.

B. Sagittale Dreistrahler. Durch die morphologische Axe eines (Basal-) Strahles kann ein optischer Hauptschnitt gelegt werden, der zugleich den Winkel, welchen die beiden anderen Strahlen miteinander bilden (Oralwinkel), halbirt.

a) Sagittale Dreistrahler, bei welchen die Projection des Oralwinkels auf die Ebene senkrecht zur optischen Axe (Basissebene) 120° beträgt. Primäre sagittale Dreistrahler.

b) Sagittale Dreistrahler, bei welchen die Projection des Oralwinkels auf die Basisebene mehr als 120° , meist $150-180^\circ$ beträgt. Secundäre sagittale Dreistrahler.

C. Irreguläre Dreistrahler. Es lässt sich durch die morphologische Axe keines der drei Strahlen ein optischer Hauptschnitt legen, der zugleich den Winkel der beiden anderen Strahlen halbiren würde.

Wenn in dieser Eintheilung der Dreistrahler nach ihrem optischen Verhalten keine Rücksicht genommen wurde auf die Länge und Krümmung der Schenkel, so soll damit nicht gemeint sein, dass dieselbe nicht von grossem systematischen Werthe sein kann. Aber für die Symmetrieverhältnisse der Dreistrahler, soweit sie sich aus den optischen Verhältnissen ergeben, ist die Länge der Strahlen von keiner entscheidenden Bedeutung, wovon man sich insbesondere durch die Untersuchung der kolossalen Dreistrahler von *Leucaltis solida* leicht überzeugen kann. Bei aller Verschiedenheit, welche diese Dreistrahler in der Facialansicht in Folge der Variabilität der Länge der Strahlen zeigen, so dass sie bald völlig regulär, bald deutlich paarwinkelig und paarschenkelig, bald völlig irregulär erscheinen können, zeigen die Oral- und Lateralwinkel und damit im Zusammenhange die Neigung der optischen Axe zur Oralebene nur geringe Schwankungen, und stets ist der optisch sagittale Charakter deutlich ausgesprochen. Dass auf die Grösse des Oralwinkels und auf die Neigung desselben zur optischen Axe bei der Eintheilung Gewicht gelegt wurde, wird seine weitere Rechtfertigung in den später folgenden Erörterungen finden.

II. Vierstrahler.

Wie unter den Dreistrahler, kann man auch unter den Vierstrahlern, als die beiden Hauptformen, reguläre und sagittale nach dem optischen Verhalten unterscheiden.

A. Reguläre Vierstrahler.

Dieselben besitzen drei gleiche Schenkel und Winkel in der Facialebene und einen auf dieser senkrecht stehenden Apicalstrahl, dessen Axe mit der optischen Axe zusammenfällt. Sie verhalten sich also ganz analog wie die regulären Dreistrahler. Eine Facialansicht gibt Fig. 11, a von *Ascaltis Gegenbaueri*, Profil-

ansichten sind in Fig. 11, *b* und Fig. 15 dargestellt. Optisch reguläre Vierstrahler wurden bisher wiederum nur bei Asconen, und zwar bei *Ascaltis cerebrum*, *A. Gegenbaueri* und *Ascandra falcata* gefunden; es ist aber wahrscheinlich, dass nur der Mangel an geeignetem Material den Nachweis bei Leuconen und Syconen bisher vermissen lässt.

B. Sagittale Vierstrahler.

Dieselben sind dadurch charakterisirt, dass die optische Axe schief gegen die Facialebene gerichtet ist, und dass durch den Basal- und Apicalstrahl sich eine optische Hauptschnittsebene legen lässt, welche den Oralwinkel der Lateralstrahlen halbirt.

Unter den sagittalen Vierstrahlern lassen sich principiell dieselben Unterscheidungen machen, wie unter den Dreistrahlern, doch scheinen solche Vierstrahler, bei welchen die Projection des Oralwinkels auf die Basisebene 120° beträgt, und welche sich durch Aufbiegen des Basalstrahles und Neigen des Apicalstrahles in derselben Ebene geometrisch aus regulären Vierstrahlern einfach ableiten lassen, selten zu sein. Ich glaube hieher die gastraln Vierstrahler von *Sycandra elegans*, welche in drei verschiedenen Ansichten in Fig. 12 und in Projection in Fig. 16 dargestellt sind, rechnen zu dürfen. Bei weitem die Mehrzahl der sagittalen Vierstrahler zeigt jedoch einen oralen Projectionswinkel auf die Ebene senkrecht zur optischen Axe, welcher viel grösser als 120° , meist über 150° ist und sich nicht eigentlich messen lässt, weil die Lateralstrahlen in dieser Stellung fast immer eine Krümmung zeigen. Dabei ist die Ebene des Oralwinkels meist beträchtlich zur optischen Basisebene geneigt. Nur ausnahmsweise liegen die gekrümmten Strahlen annähernd in der Basisebene selbst (Fig. 17). Die gewöhnliche Ansicht, welche ein sagittaler Vierstrahler in der Stellung darbietet, in welcher die optische Axe senkrecht steht auf der Fläche, auf welche er projicirt erscheint, ist die eines Kreuzes mit zwei gekrümmten Schenkeln, welche den Lateralstrahlen entsprechen und zwei gerade erscheinenden Schenkeln, welche dem Basal- und Apicalstrahl entsprechen, wie dies in Fig. 13, *c* dargestellt ist. Dies ist ein typisches Bild. Ein Projectionsbild dieser häufigsten Form sagittaler Vierstrahler wurde aus dem Grunde nicht gegeben, weil sich die gekrümmten Lateralstrahlen in einer sehr ungünstigen Verkürzung darstellen

würden. Man kann sich aber diese Projection wohl vorstellen, wenn man sich die Lateralstrahlen des in Fig. 16 dargestellten Vierstrahlers in die Lage gerückt denkt, welche die Lateralstrahlen des in Fig. 22 dargestellten Dreistrahlers einnehmen.

Solche Vierstrahler finden sich insbesondere in der Gastralfläche von Leuconen und Syconen, so z. B. bei *Leucandra aspera* und bei *Sycandra Bucchichii*, aber auch die grossen dermalen Vierstrahler der letztern Art zeigen dieses Verhalten. Obwohl der Apicalstrahl häufig stark gekrümmt ist, so erscheint er doch in der Aufsicht auf die optische Axe stets gerade; seine Krümmung fällt daher in einen optischen Hauptschnitt, während dies bei den Lateralstrahlen auffallender Weise nicht der Fall ist. Diese — in der Facialansicht oft ganz gerade — erscheinen vielmehr in der Aufsicht auf die optische Axe in einem meist flachen Bogen gekrümmt. Die Neigung der optischen Axe zum Basal- und Apicalstrahl ist wechselnd, doch ist erstere constanter als letztere. An den kleinen gastraln Vierstrahlern von *Sycandra Bucchichii* (an einem radialen Längsschnitt gemessen) schwankte die Neigung des Basalstrahles zur optischen Axe zwischen 24° — 29° , dagegen die des Apicalstrahles zwischen 64° — 88° (bei 5 Messungen).

Ähnliche Differenzen ergaben die Vierstrahler von *Leucandra aspera*, bei welchen übrigens der Basalstrahl meist eine Neigung über 30° hat. Constantere Zahlen geben die grossen dermalen Vierstrahler von *Sycandra Bucchichii* für den Apicalstrahl. Es betrug bei 5 Messungen die Neigung des Basalstrahles zur optischen Axe 22 — 28° , die des Apicalstrahles 71° — 76° (bei 5 Messungen).

C. Irreguläre Vierstrahler.

Als solche müsste man diejenigen bezeichnen, bei welchen ein durch den Basalstrahl und Apicalstrahl gelegter optischer Hauptschnitt den Oralwinkel der Lateralstrahlen nicht halbirt, sondern in ungleiche Theile theilt, ferner solche, bei welchen Basal- und Apicalstrahl mit ihren morphologischen Axen nicht in einen gemeinsamen optischen Hauptschnitt fallen. Dass derartige Irregularitäten vorkommen, ist nach den Abbildungen Haeckel's höchst wahrscheinlich; unter dem hier in Betracht kommenden Materiale wurden keine sicher hierher gehörigen Beispiele beobachtet.

III. Stabnadeln.

Alle Stabnadeln haben das Gemeinsame, dass denselben eine optische Axe zukommt, welche mit der Längsaxe der Nadel einen grossen Winkel bildet, welcher wohl stets 60° übersteigt. Dies gilt für die feinen langen geraden Stricknadeln am Peristom kranzmündiger Syconen gerade so, wie für die dicken Stabnadeln bei *Leucandra*, und die feinen Nadeln der mannigfachsten Form wie sie im Dermalskelete vorkommen. Diese Thatsache ist insoferne bemerkenswerth, als sie eine Analogie im optischen Verhalten der Stabnadeln mit den Lateral- und Apicalstrahlen, nicht aber mit den Basalstrahlen von sagittalen Drei- und Vierstrahlern erkennen lässt. Bei gekrümmten Stabnadeln entspricht, wie es scheint immer, die Ebene der Krümmung einem optischen Hauptschnitte, die Nadeln erscheinen daher, wenn sie auch noch so stark gekrümmt sind, in der Aufsicht auf die optische Axe ganz gerade. Dies macht es begreiflicher Weise auch schwer die Nadeln in eine solche Stellung zu bringen, in welcher die optische Axe senkrecht steht. Das Gesagte gilt zunächst für die kolossalen Stabnadeln von *Leucandra aspera* und *alcicornis* (Fig. 51, 52, 53, Taf. IV), welche meist ziemlich stark gekrümmt sind, aber auch für die sichelartig gekrümmten einfachen Nadeln von *Ascandra falcata* (Fig. 44) und für die feinen gekrümmten Nadeln von *Ascandra variabilis*.

Da die optische Axe in die Ebene der Krümmung fällt, so ist dieselbe horizontal, wenn die Nadel sich von selbst in die Ebene der Krümmung legt, es sind daher auch die krummen Stabnadeln für die Bestimmung des ausserordentlichen Brechungsquotienten besonders gut geeignet. Aus dem Umstande, dass die optische Axe in die Ebene der Krümmung fällt, folgt aber ferner, dass sich eine Bestimmung des Winkels, welchen dieselbe mit der morphologischen Axe der Nadel bildet, nur für bestimmte Punkte ausführen lässt, indem ja die Richtung der Tangente der Krümmung von Punkt zu Punkt wechselt. Nimmt man ungefähr die Mitte einer kolossalen Stabnadel von den genannten *Leucandra*-Arten so findet man die optische Axe etwa unter 75° — 80° geneigt. Bei *Grantia ciliata* bestimmte Sollas diesen Winkel mit ungefähr 70° . Wenn man die gekrümmten Nadeln von *Leucandra* an ihren beiden Enden untersucht, so ergibt sich, dass an diesen die

Neigung der optischen Axe sehr verschieden ist. Während an dem einen Ende die Neigung der optischen Axe sich 90° nähert, sinkt am entgegengesetzten Ende, in Folge der Krümmung, der Winkel unter 80° vorausgesetzt, dass die Krümmung der Nadel eine einigermaßen bedeutende ist. Dieses ungleiche Verhalten der beiden anscheinend gleichwerthigen Nadelspitzen soll später noch exörtert werden. Zunächst wird ein Blick auf Fig. 51 genügen um einzusehen, dass, wenn man die Richtung der optischen Axe OO' parallel zu sich selbst nach unten verschiebt, der Winkel, welchen OO' mit der Mittellinie der Nadel bildet, fortwährend grösser werden muss, während umgekehrt, wenn OO' nach oben parallel zu sich selbst verschoben wird, der genannte Winkel stetig kleiner wird.

Messungen an je zehn Stabnadeln von *Leucandra aspera* und *alicornis* gaben folgendes Resultat:

Die Mittel beziehen sich auf 10 Messungen	Neigung der optischen Axe zur Mittellinie der kolossalen Stabnadeln			
	Anfang	Mitte	Ende	
Maximum	90°	87°	86°	<i>Leucandra aspera</i>
Minimum	80°	75°	73°	
Mittel	85.4°	80.2°	76.5°	
Maximum	90°	88°	79°	<i>Leucandra alicornis</i>
Minimum	76°	68°	66°	
Mittel	83°	75.1°	69°	

Ähnliche Zahlen ergaben auch die grossen Stabnadeln von *Sycandra raphanus* und die kleinen Nadeln von *Ascandra variabilis*, an welchen jedoch nur einzelne Messungen ausgeführt wurden.

Erwähnenswerth sind die von F. E. Schulze¹ genauer beschriebenen und abgebildeten, rudimentären, dreizähligen Anker von *Sycandra raphanus*. Sie verhalten sich ganz ähnlich, wie die Stabnadeln in optischer Beziehung. Nahe der Verdickung mit dem ankerförmigen Ende mass ich bei einer Nadel die

¹ Zeitsch. f. wiss. Zool. Bd. XXV, Suppl. S. 254 u. Taf. XIX, Fig. 1.

Neigung der optischen Axe mit 78° , bei einer zweiten mit 88° . Vergleicht man damit die früher angegebenen Zahlen für die Apicalstrahlen von Vierstrahlen, so sieht man, dass vom optischen Standpunkte gegen die Auffassung Haeckel's und Schulze's, dass solche Nadeln als kolossale Apicalstrahlen sonst rudimentärer Vierstrahler zu betrachten seien, nichts einzuwenden ist.

Von den kleinen Stabnadeln eigneten sich besonders gut zu Messungen die schon früher erwähnten platten, geknöpften Nadeln im Distalconus der Radialtuben von *Sycandra elegans* (Fig. 4). Da, wie aus der Untersuchung von Quer- und Längsschnitten sich ergab, die optischen Axen der in einem Kegel divergirenden Nadeln ihre optische Axe in einem zur Kegelaxe senkrechten Richtung haben, müssen die einzelnen Nadeln verschiedene Neigungen zur optischen Axe haben. Unter zehn Nadeln ergaben sich als Extreme der Neigung 84° und 71° , das Mittel aus allen zehn Messungen betrug 75° .

Sucht man auf Grund der optischen Untersuchung der verschiedenen Nadelformen nach Vergleichungspunkten zwischen den Dreistrahler, Vierstrahlern und Stabnadeln, so lassen sich die einzelnen Strahlen der morphologisch mehraxigen Nadeln zunächst unterscheiden als solche, welche mit der optischen Axe kleine Winkel bilden zwischen 0° — 50° und in solche, welche mit der optischen Axe grosse Winkel bilden zwischen 60° — 90° . Zu den ersteren gehören die Apicalstrahlen der regulären Vierstrahlen und der sagittalen zum Theile; ferner die Basalstrahlen der sagittalen Drei- und Vierstrahler (10° — 50°); zu den letzteren gehören alle Strahlen der regulären Dreistrahler, die Facialstrahlen der regulären Vierstrahler, die Lateralstrahlen der sagittalen Drei- und Vierstrahler, die Apicalstrahlen der sagittalen Vierstrahler (grössten Theils), und endlich die Stabnadeln. Unter den gekrümmten Formen ist bemerkenswerth, dass die Basalstrahlen von sagittalen Drei- und Vierstrahlern, die Apicalstrahlen der sagittalen Vierstrahler und die Stabnadeln stets in einem optischen Hauptschnitte (d. h. in einer Ebene, welche der optischen Axe parallel ist) gekrümmt sind, dass dagegen bei den Lateralstrahlen sagittaler Drei- und Vierstrahler auch Krümmungen in anderen Ebenen vorkommen. Berücksichtigt man das Verhalten der Neigung der optischen Axe und das Verhalten der Krümmungs-

ebene zusammen, so ergibt sich, dass die Stabnadeln am meisten Ähnlichkeit mit der verbreitetsten Form der Apicalstrahlen sagittaler Vierstrahler haben. Stabnadeln, bei welchen die optische Axe in die Längsrichtung fiel, oder doch mit dieser nur einen kleinen Winkel bilden würde, wie dies bei den Basalstrahlen der sagittalen Drei- und Vierstrahler der Fall ist, konnten unter dem benützten Materiale nicht aufgefunden werden.

Um jedem Missverständnisse vorzubeugen, muss ausdrücklich bemerkt werden, dass diese Vergleichung der Stabnadeln und der häufigsten Form der Apicalstrahlen der sagittalen Vierstrahler sich rein nur auf das analoge Verhalten in optischer Beziehung stützt und dass daraus noch keineswegs gefolgert werden soll, dass etwa alle Stabnadeln aus Apicalstrahlen von Vierstrahlern hervorgegangen seien, wenn dies auch in einem Falle — die rudimentären Anker von *Sycandra* — sehr wahrscheinlich ist. Ebenso muss noch speciell bemerkt werden, dass die früher entwickelten Beziehungen der Dreistrahler unter einander nur rein geometrisch gemeint sind; ja dass eine Ableitung der Formen auseinander, wie sie oben gegeben wurde phylogenetisch schon aus dem Grunde nicht wohl zulässig wäre, weil beim Aufbiegen eines Strahles bei einem nach der Fläche differenzirten regulären Dreistrahler, die ursprüngliche Canalseite des regulären Dreistrahlers zur Dermalseite des sagittalen sich umwandeln müsste.

Am Schlusse dieser Erörterungen über das optische Verhalten der Kalkschwammnadeln möge noch ein flüchtiger Blick auf die Beziehungen der optischen Orientirung der Skelettheile zum ganzen Organismus des Schwammes geworfen werden.

Eine überraschende Regelmässigkeit zeigt sich bei den Syconen mit gegliedertem Tubarskelete (*Sycandra raphanus*, *elegans*, *Schmidtii*, *Sycortis quadrangulata*). Bei allen diesen Syconen sind die optischen Axen in der Gastralfläche in der Hauptsache der Längsaxe der Person parallel; in den Radialtuben aber parallel den Längsaxen dieser letzteren. An der Dermalfäche zeigen sich allerdings wechselnde Verhältnisse, die jedoch bei einzelnen Arten wieder typische Regelmässigkeiten zeigen, wie früher bei *Sycandra elegans* (vergl. Fig. 8) genauer ausgeführt wurde. Bei *Sycandra Bucchichii* verhält sich die

Gastralfläche, wie bei den früher genannten Syconen; es sind aber auch die grossen dermalen Vierstrahler, deren lange Apicalstrahlen bis in die Magenhöhle hineinragen, mit ihren optischen Axen annähernd parallel der Längsaxe der Schwammperson orientirt. Dagegen zeigen wiederum die subgastralen Dreistrahler, deren Basalstrahlen sich an die Apicalstrahlen der grossen dermalen Vierstrahler anlegen, eine fast radiär zur Körperwand orientirte Anordnung der optischen Axen.

Was die Leuconen anlangt, so ist es wegen der complicirten Anordnung des Skeletes schwer, genauere Angaben zu machen; nur das lässt sich feststellen, dass auch bei diesen an Personen mit Mundöffnung in der Gastralfläche die optischen Axen sich wie bei den Syconen verhalten.

Bei den *Ascetta*- und *Ascaltis*-Arten mit regulären Drei- und Vierstrahlern stehen die optischen Axen durchaus fast senkrecht auf der Körperwand, bei den mit sagittalen Drei- und Vierstrahlern und mit Stabnadeln ausgestatteten Asconen ist dies aber nicht der Fall. Bei *Ascandra variabilis* sind die Drei- und Vierstrahler grösstentheils optisch ähnlich orientirt, wie die gastralen Vierstrahler der Syconen; häufig liegt aber die optische Axe auch fast quer tangential zur Längsaxe der Person und bei den Stabnadeln ist eine gesetzmässige Orientirung der optischen Axen nicht in die Auge fallend.

Wenn man nur die Ergebnisse an den Syconen im Auge hält, könnte man vermuthen, dass ein causaler Zusammenhang zwischen der optischen Orientirung der Skelettheile und der Richtung des Wasserstromes bestehe, doch scheinen einer solchen Vorstellung die Erfahrungen an den Asconen nicht günstig zu sein. Immerhin wäre ein solcher Zusammenhang für die Zeit der ersten Anlage der Skelettheile möglich; hat aber die Bildung einer Nadel einmal begonnen, so treten, wie aus den im Schlusscapitel zu erwähnenden Thatsachen über fossile Echinodermenskelete wahrscheinlich wird, wohl die richtenden Einflüsse der einmal gegebenen Krystalstructuren entscheidend ein.

IV. Ätzerscheinungen.

Die optischen Erscheinungen an den Skelettheilen der Kalkschwämme lassen sich in einfachster und nächstliegendster

Weise so deuten, dass jeder Skelettheil ein Individuum eines einzigen Kalkspathkrystalles darstelle, das man sich künstlich aus einem Stücke Doppelspath herausgeschnitten denken könnte. Allein, wenn man die Bildungsweise dieser so charakteristischen Skelettheile bedenkt, welche zweifellos ein Product lebendigen, specifischen Protoplasmas sind, so muss eine solche Vorstellung als kaum zulässig erscheinen, und wenn man sich eine Structur ausdenken will, welche mit dem, was wir sonst vom Baue organisirter Bildungen wissen, möglichst harmonirt, so scheint es wahrscheinlicher, dass jeder Skelettheil aus einer grösseren Zahl von Kalkspathindividuen besteht, die zwar alle eine parallele Stellung ihrer optischen Axen besitzen, aber deshalb noch nicht mit ihren krystallographisch gleichwerthigen Richtungen parallel orientirt zu sein brauchen.

Die optische Untersuchung allein kann nicht entscheiden, ob ein polysynthetischer Zwilling mit paralleler Stellung der optischen Axen, oder ein einheitliches Krystallindividuum vorliegt, wohl aber können Ätzversuche Anhaltspunkte dafür ergeben, ob eine durch und durch parallele Anordnung aller krystallographisch gleichwerthigen Richtungen durch die ganze Substanz vorhanden ist.

Sollas hat bereits Ätzversuche gemacht, doch ist es ihm offenbar nicht gelungen, gut entwickelte Ätzfiguren zu erhalten, und was die von ihm versuchte Deutung der Ätzstreifungen anbelangt, so geht sie von der Voraussetzung aus, denselben liege das Spaltungsrhomboëder des Kalkspathes zu Grunde; eine Voraussetzung, deren Unrichtigkeit durch meine unterdessen mitgetheilten Ätzversuche am Kalkspathe sich ergeben hat.¹

Ich darf daher wohl darauf verzichten, die Einzelheiten der von Sollas auf dieser Grundlage gewonnenen Resultate eingehender zu besprechen.

Da bei den Ätzversuchen am Kalkspathe und Aragonite die besten Resultate mit Ameisensäure erzielt wurden, schien es am zweckmässigsten zu sein, diese Säure bei Untersuchung der Kalkschwammnadeln vorzüglich anzuwenden. Es wurde daher meistens mit dieser Säure experimentirt. Nur die grossen Nadeln, nämlich die kolossalen Stabnadeln von *Leucandra aspera* und

¹ Diese Ber. I. c.

alcicornis und die kolossalen Dreistrahler von *Leucaltis solida* wurden mit Erfolg benützt. Nur an diesen gelang es, deutliche Ätzfiguren darzustellen und das Verhalten derselben auf den verschiedenen Flächen einigermaßen zu verfolgen. Bei den kleinen Nadeln erhält man nur Streifungen, deren Deutung keineswegs ganz leicht ist.

Das Verfahren beim Ätzen bestand meistens darin, dass ein Tropfen concentrirter Ameisensäure zu der Nadel, die ohne Deckglas auf dem Objectträger lag, hinzugebracht und nun mit einer schwachen Vergrößerung beobachtet wurde, bis, meist nach Minuten, deutliche Ätzeffekte auftraten. Hierauf wurde rasch unter einer Präparirlupe die Nadel aus der Ameisensäure entfernt, anhängende Säure mit Filterpapier abgesaugt. Die auf diese Weise von der Hauptmasse der Säure befreite Nadel kam nun in einen Tropfen Wasser, der wieder abgesaugt wurde, und wurde dann nach nochmaligem Wasserzusatz mit einem Deckglas bedeckt und genauer untersucht. Behandelt man auf diese Weise kolossale Dreistrahler von *Leucaltis solida*, so erhält man oft, wenn auch bei weitem nicht immer, namentlich nicht, wenn man die Ätzung gar zu lange fortsetzt, deutliche Ätzfiguren, welche, wie schon von vornherein zu erwarten war, auf dem Basalstrahl und den Lateralstrahlen verschieden sind.

Um zunächst die Ätzfiguren der Lateralstrahlen zu untersuchen, ist es nothwendig, den Basalstrahl nahe an der Basis abzubrechen, was meistens leicht gelingt, weil derselbe — im Gegensatze zu den Lateralstrahlen, welche stets eine unregelmässig muschelige Bruchfläche ergeben — in der Regel einen reinen Querbruch zeigt.

Betrachtet man nun die convexe (Dermal-) Seite der Lateralstrahlen, so findet man diese in günstigen Fällen überdeckt mit lauter Ätzfiguren von der Form eines fast gleichseitigen Dreieckes. Die Dreiecke sind alle parallel orientirt und wenden eine Ecke den Spitzen der Strahlen zu, während eine Seite der gemeinsamen Wurzel derselben entgegen sieht (Fig. 25a). Dreht man nun die beiden Lateralstrahlen auf die entgegengesetzte concave (Canal-) Seite, so findet man dreieckige Ätzfiguren wie früher, aber von entgegengesetzter Lage, indem alle Dreiecke nun eine Seite gegen die Spitze der Strahlen und eine Ecke

gegen die Wurzel derselben hinwenden (Fig. 25, *b*). Die Anordnung dieser Ätzfiguren entspricht im Allgemeinen den Ätzfiguren, wie man sie auf den beiden Flächen einer parallel zur Basis geschliffenen Kalkspathplatte erwarten müsste.

Sieht man von dem Umstande ab, dass die Dreiecke nicht überall gleich regelmässig, namentlich gegen die Seitenränder und Spitzen hin, ausgebildet sind — es handelt sich ja um eine gekrümmte stark gewölbte Fläche — so ist die frappante Ähnlichkeit mit gewissen Ätzfiguren von der Basis des Kalkspathes¹ nicht zu verkennen. Freilich ist es mir gerade mit Ameisensäure nicht gelungen, auf der Basis des Kalkspathes deutliche dreieckige Ätzfiguren darzustellen. Es entstanden dort rundliche oder unregelmässige Figuren, die meist sehr dicht standen und nicht zu regelmässigen Dreiecken sich ausbildeten. Solche Figuren erhält man auch oft an den Schwammnadeln, wenn man unter dem Deckglase ätzt, es treten dann aber auch manchmal gleich im Beginne der Ätzung deutliche Dreiecke auf, die gerade entgegengesetzt, wie die früher beschriebenen orientirt sind, indem sie auf der Dermalseite der Lateralstrahlen von *Leucaltis* Ecken gegen die Wurzel der Strahlen, auf der Canalseite aber Ecken gegen die Spitze der Strahlen wenden. Diese Dreiecke entstehen im Gegensatze zu den früher erwähnten ganz im Beginne der Ätzung und bleiben stets klein. Wir haben also auch hier wie beim Kalkspath zweierlei dreieckige Ätzfiguren, welche zu einander verwendet sind und von welchen die einen einem negativen, die anderen einem positiven Rhomboëder entsprechen. Die zuletzt geschilderte Form von Ätzfiguren tritt nach längerer Ätzung stets zurück. Sie entspricht wohl der instantanen Form² der Ätzfiguren der Basis des Kalkspathes, deren Umriss der hohlen Spitze eines positiven Rhomboëders verglichen werden kann, während die grösseren zuerst beschriebenen, bei längerer Ätzung sich einstellenden der retardirten Form der Ätzfiguren angehören dürften, deren Umriss der hohlen Spitze eines negativen Rhomboëders verglichen werden kann.

¹ Vergl. diese Ber. Bd. XCI., S. 786 u. Taf. IV, Fig. 62, 67 u. s. w.

² Vergl. l. c. S. 26 u. 29.

Die Symmetrie- und Formverhältnisse von beiderlei Ätzfiguren sind solche, wie sie der Basis eines rhomboëdrischen Krystalles entsprechen, und wir können unter der ganz plausiblen Voraussetzung — die Seiten der Dreiecke entsprächen den Combinationskanten eines Rhomboëders mit der Basis — sogar den Schluss ziehen, dass die der optischen Axe parallelen Tangirungsflächen der Lateralstrahlen annähernd die Lage von Deuteroprismenflächen haben müssen. Denn wären diese Tangirungsflächen dem Protoprisma entsprechend, so müsste eine Dreiecksseite der Axe des Lateralstrahles parallel sein, was nie der Fall ist. Zur Untersuchung der Seitenansichten eignen sich die Lateralstrahlen schlecht, weil sie im Zusammenhange nicht gut untersucht werden können, beim Versuche aber einen Strahl abzubrechen, in der Regel unregelmässige Zertrümmerung erfolgt. Immerhin konnten wiederholt solche, der Deuteroprismenfläche entsprechende Ätzfiguren, wie sie sogleich an den kolossalen Stabnadeln von *Leucandra* genauer beschrieben werden sollen, beobachtet werden.

Aus den Beobachtungen der Ätzfiguren an den Lateralstrahlen der kolossalen Dreistrahlen von *Leucaltis* geht zunächst hervor, dass dieselben gegen Ätzung, wie ein einziges Krystallindividuum sich verhalten, und dass daher wirklich ein solches vorliegt.

Dies wird noch weiter durch die Beobachtungen am Basalstrahl bestätigt. Da dessen Axe mit der optischen Axe ungefähr einen Winkel von 45° — 52° bildet und zugleich in einem Hauptschnitte liegt, welcher um 120° von den axialen Hauptschnitten der Lateralstrahlen abstekt (vergl. Fig. 19), so müssen die Tangirungsebenen der convexen (dermalen) und der concaven (canalen) Seiten die Lage von Rhomboëderflächen haben, welche durch ein Zone von Scalenoedern in die wieder einer Deuteroprismenfläche entsprechende Tangirungsebene übergehen, welche dem der Axe parallelen Hauptschnitte entspricht. In der That sieht man nun auf der dermalen und canale Seite des Basalstrahles monoklinische Ätzfiguren von deltoidischem Umrisse (Fig. 24, *a* dermale, *b* canale Seite), welche nur Rhomboëderflächen entsprechen können, während man beim Herumrollen des Strahles auch irreguläre triklinische, seltener hemirhombische

Ätzfiguren sieht, welche der Zone bis zum Deuteroprisma angehören müssen.

Sehr gut eignen sich zu Ätzversuchen die kolossalen Stabnadeln von *Leucandra*. Wenn die Nadeln, wie gewöhnlich nicht gerade, sondern in einem optischen Hauptschnitte gekrümmt sind, so gestatten sie die Beobachtung derjenigen Tangirungsebene, welche diesem Hauptschnitte parallel ist und welche gerade an den Lateralstrahlen von *Leucaltis* schwer zu beobachten ist. Auf dieser Seitenfläche entstehen ziemlich leicht triklinische Ätzfiguren, welche aber gewöhnlich so sehr dem hemirhombischen Charakter sich nähern, dass ihre Ähnlichkeit mit den Ätzfiguren, wie man sie auf der Deuteroprismenfläche des Kalkspathes erhält,¹ sofort in die Augen springt (Fig. 33). Wenn man die Neigungen der längeren Seiten, beziehungsweise der vertieften Kante, diesen Figuren zur optischen Axe misst, so erhält man, wie beim Kalkspath, das Resultat, dass sie ungefähr jener der Mittelkante des Lösungsrhomboëders — $2R (45^\circ 23')$ entsprechen, und man wird daher nicht zögern, diese Ätzfiguren als solche der Deuteroprismenfläche anzuerkennen um so mehr, als auf der Seite der Stabnadeln, welche der Basisfläche nahezu entsprechen, dreieckige Ätzfiguren, welche jenen auf den Lateralstrahlen von *Leucaltis* ganz ähnlich sind, gleichzeitig zu sehen sind und zwar so, dass wiederum keine Dreiecksseite der Nadelaxe parallel, wohl aber eine darauf senkrecht steht, woraus folgt, dass eben die Seitenfläche einer Deuteroprismenfläche annähernd entsprechen muss. Wenn man ein möglichst gerades oder ein abgebrochenes Nadelstück durch methodisches Verschieben des Deckglases wälzt, so kann man sich — wie wiederholte Versuche lehrten — überzeugen, dass die Ätzfiguren sich im Wesentlichen so verhalten, wie dies im Schema Fig. 36 dargestellt ist. Geht man von der Stellung 1 aus, in welcher Dreiecke zu sehen sind, so werden zunächst hemirhombische Ätzfiguren nach 90° Drehung, sichtbar (2); nach weiterem Wälzen in derselben Richtung um 90° , sieht man abermals Dreiecke, aber in verwendeter Stellung gegen die frühere (3) und schliesslich, nach abermaliger Drehung um 90° , wieder hemirhombische Figuren, die entgegen-

¹ l. c. Taf. V., Fig. 99—111.

gesetzt zu den erst gesehenen orientirt sind. Dies ist wiederum nur begreiflich, wenn eine parallele Anordnung der gleichwerthigen krystallographischen Richtungen durch die ganze Substanz der Stabnadel vorhanden ist. Diese Beobachtungen erlauben nun auch den Charakter der dreieckigen Ätzfiguren näher zu bestimmen.

Da auf der Basis des Kalkspathes je nach Umständen, die sich nicht genau übersehen lassen, bald positive, bald negative Dreiecke auftreten, d. h. solche, die man sich als Hohlabdruck der Spitze eines positiven oder negativen Rhomboëders vorstellen kann, so war nicht sicher zu entscheiden, wie die Dreiecke zu deuten sind.

Der Wälzversuch mit geätzten *Leucandra*-Nadeln spricht aber unzweideutig dafür, dass die Dreiecke hier bei längerer Ätzung directe, negative Dreiecke des Lösungsrhomboëders sind, weil die Ätzfiguren, welche dem Deuteroprisma entsprechen, immer in der Richtung der Mittelkante des Lösungsrhomboëders geneigt sind. Die neben die schematisch gehaltenen Nadeln in Fig. 36 gezeichneten Rhomboëderprojectionen, geben eine Vorstellung, wie man sich die Flächen des Lösungsrhomboëders in die Nadel daneben hinein zu denken hat. In Fig. 1 und 3 sind die punktirten Rhomboëderkanten unten, die ausgezogenen oben zu denken und man sieht leicht ein, wie allemal die Stellung des darüber stehenden Rhomboëders aus der des darunter stehenden hervorgeht, wenn man letzteres um eine von links nach rechts gehende Axe, wie die Stabnadel, in der Richtung von unten nach oben wälzt. Zur Erleichterung der Auffassung dieser Rotationsbewegung ist die linke Seite des schematischen Nadelstückes durch eine Spaltungsfläche schräg abgeschnitten gedacht, so dass der am weitesten nach links vorspringende Punkt *a* in jeder von unten nach oben folgenden Stellung um 90° gegen die vorhergehende gedreht erscheint.

Auf Grund der durch die Ätzfiguren gewonnenen Anhaltspunkte ist es nun möglich, die Lage anzugeben, welche ein, einem kolossalen Dreistrahler von *Leucaltis*, oder einer kolossalen Stabnadel von *Leucandra* ähnliches Kalkspathstück, das in krystallographischer Beziehung mit den genannten Skelettheilen übereinstimmen würde, in einem Kalkspathkrystalle haben müsste.

Eine solche Construction ist in Fig. 35 (Taf. III) ausgeführt. Der gezeichnete Kalkspathkrystall stellt in der üblichen Projection die Combination des Deuteroprismas $\infty P 2$ mit dem Rhomboëder $-2R$ (dem Lösungsrhomboëder) dar. Die Lage der in Fig. 36 schematisch dargestellten Ätzfiguren, welche in beiden Nadelformen nachgewiesen sind, kann man sich vorstellen, wenn man die dreieckigen an den nach oben gewendeten, der Basis parallelen Flächen der Nadeln durch Hineindrücken der unteren Rhomboëderspitze des Krystalles entstanden denkt, die dreieckigen Ätzfiguren der unteren Flächen der Nadeln aber umgekehrt durch Hineindrücken der oberen Rhomboëderspitze, d. h. so, als ob man den Krystall in die Hand genommen hätte und mit den Rhomboëderspitzen in den angegebenen Stellungen einen Abdruck des Umrisses in die Nadeln gepresst hätte. Ähnlich kann man sich die Lage der rhomboidischen Ätzfiguren räumlich vorstellen, indem man sich die längeren Seiten dieser Figuren parallel den Combinationskanten des Rhomboëders mit den der Nadel, oder dem Strahl parallelen Deuteroprismenflächen denkt. Die nähere Begründung der gegebenen Stellung ergibt sich für den Dreistrahler aus dem früheren, insbesondere aber auch aus der Stellung der retardirten Ätzfiguren in der nach einem Präparat gezeichneten Figur 25. Für die Stellung der Stabnadel in Bezug auf ihre Krümmung ist der bisher noch nicht erwähnte Umstand entscheidend, dass die Neigung der, den Deuteroprismenflächen entsprechenden, Ätzfiguren, in demselben Sinne in Bezug auf die Axe der Nadel gerichtet ist, wie die der optischen Axe, was aus der ebenfalls nach einem Präparat gezeichneten Fig. 33 zu ersehen ist. Es bilden also die Längsrichtungen der Ätzfiguren und die optische Axe nach derselben Seite hin mit der Nadelaxe spitze, respective stumpfe Winkel, wie in dieser Figur.

Die Nadeln sind in je zwei möglichen Stellungen gezeichnet, man sieht aber leicht ein, dass diese Stellungen vermöge der rhomboëdrischen Symmetrie dreimal durch Drehungen von 120° um die Hauptaxe wiederholt werden können, indem z. B. die Nadelspitze bei *b* nach *d* und weiterhin nach *f* gedreht wird.

Es sind daher für jede Nadel im Ganzen sechs Stellungen denkbar, in welcher sie aus dem Krystall gewissermassen herausgemeisselt werden könnte.

Die Betrachtung der Figur ergibt nun noch einige weitere bemerkenswerthe Folgerungen. Man sieht leicht ein, dass sowohl die concave als convexe Seite des Basalstrahles des Dreistrahlers direct gegen die Flächen des negativen Rhomboëders sieht und daher selbst einem negativen Rhomboëder entsprechen muss, dass dagegen die concaven und convexen Seiten der Lateralstrahlen, wenn sie, wie es bei *Leucaltis* ja thatsächlich der Fall ist, etwas gegen die optische Axe geneigt sind, positiven Rhomboëderflächen entsprechen müssten.

Ebenso ist es klar, dass die den Kanten des negativen Rhomboëders entgegen sehenden convexen und concaven Krümmungen der Stabnadeln ebenfalls positiven Rhomboëderflächen entsprechen müssen. Dass die Seitenflächen, welche der optischen Axe parallel sind, durchwegs Deuteroprismenflächen entsprechen, wurde schon hervorgehoben. Auf eine Besprechung aller Flächenzonen einzugehen, welche die ganze Rundung einer Nadel ausfüllen und die man erhielte, wenn man an einen beliebigen Punkt der Nadel eine Tangirungsebene gelegt denkt, welche man dann um die Nadelaxe dreht, hat wohl kein besonderes Interesse. Nur das möchte ich betonen, dass hiebei keineswegs alle möglichen Krystallflächen heraus kommen, dass z. B. für den horizontal, cylindrisch gedachten Lateralstrahl von *Leucaltis* nur eine Reihe von Deuteropyramiden zwischen $\infty P2$ und OR die Zone darstellt, und dass für keinen Strahl das Protoprisma ∞R in irgend einer Zone vorkommt, da nur die Spitzen der Nadeln in eine solche fallen würden.

Nachdem einmal diese Ergebnisse gewonnen waren, schien es von Interesse zu sein, nachzuforschen, ob etwa allgemein die Nadeln so beschaffen sind, dass ihre den optischen Hauptschnitten parallelen Tangirungsebenen Deuteroprismenflächen, die darauf senkrechten tangirenden Ebenen aber der Basis oder Rhomboëderflächen entsprechen, wie es bei den besprochenen kolossalen Nadeln der Fall ist. Leider konnten auf kleineren Nadeln keine gut gebildeten Ätzfiguren dargestellt werden, um mit Hilfe derselben die krystallographische Orientirung der Nadeln zu bestimmen. Trotzdem geht aus den schon früher besprochenen und zum guten Theile gerade mit Rücksicht auf diese Frage angestellten optischen Untersuchungen hervor, dass eine allgemeine Geltung des bei den kolossalen Nadeln gefundenen Gesetzes nicht besteht.

Bei Drei- und Vierstrahlern wäre zur Erfüllung der bei den kolossalen Nadeln ermittelten Gesetze unbedingt erforderlich, dass die Projection des Oralwinkels auf die krystallographische Basis 120° beträgt. Dies ist aber, wie bereits gezeigt wurde, sehr häufig nicht der Fall. Es leuchtet dies sofort ein, wenn man die Projectionszeichnungen in Fig. 15—23 ansieht. Wenn die Axen aa' , bb' , cc' in Fig. 15 und in gleicher Weise für die folgenden Figuren den Deuteroprismenflächen parallel sind, so können nur in den Figuren 15, 16, 18A, 19, 20 und 21 alle Strahlen so gestellt werden, dass ihre morphologischen Axen in um 60° von einander abstehenden Hauptschnitten liegen, wie es bei den Deuteroprismenflächen der Fall ist. Für die in Fig. 17, 18B, 22 und 23 abgebildeten Drei- und Vierstrahler ist dies aber nicht möglich. Zwei Strahlen müssen nothwendig in Hauptschnitte fallen, welche nicht mehr Deuteroprismenflächen entsprechen. Es wurde nun bei diesen Projectionszeichnungen als das wahrscheinlichste angenommen, dass der Basalstrahl, respective der Basal- und Apicalstrahl in einen der Deuteroprismenfläche parallelen Hauptschnitt fallen. Diese Annahme ist wenigstens für die grossen dermalen Vierstrahler von *Sycandra Bucchichii* bestimmt richtig, wie eine zufällige Beobachtung beim Abbrechen eines Basalstrahles ergab, wobei eine unverkennbare rhomboëdrische Spaltungsfigur entstand — (ähnlich jener, die in Fig. 32, a abgebildet ist und die später noch besprochen werden soll) — deren Stellung keinen Zweifel liess, dass der noch vorhandene Apicalstrahl mit seiner morphologischen Axe — und somit auch diejenige des Basalstrahls — in einen deuteroprismatischen Hauptschnitt fallen müsse. Da nun die Wurzeln der Lateralstrahlen in diesem Falle mit diesem Hauptschnitte einen Winkel von ungefähr 90° in der Projection auf die Basis bilden, so ist klar, dass die Hauptschnitte durch die Wurzel der Lateralstrahlen den Protoprismenflächen parallel sein müssen.

Da die Lateralstrahlen ferner in ihrer Projectionsebene auf die krystallographische Basis (ähnlich, wie Fig. 13, c) gekrümmt sind und zwar so, dass die Spitzen der Strahlen annähernd einen Winkel von 60° mit der Basal-Apicalstrahlebene bilden, so folgt daraus, dass tangirende Hauptschnittebenen, welche man an diese Lateralstrahlen der Krümmung entsprechend legen würde,

die ganze Zone zwischen Proto- und Deuteroprisma, also alle möglichen dihexagonalen Prismenflächen durchlaufen würden.

Ähnliches müsste für die Lateralstrahlen in Fig. 17 gelten, während die Hauptschnitt-Tangirungsebenen für die Lateralstrahlen in Fig. 18, *B* und Fig. 22 dem Protoprisma ∞R , für Fig. 23 aber einem dihexagonalen Prisma entsprechen würden. Immerhin sind die Zonen, welche man erhält, wenn man sich Ebenen um Linien gedreht denkt, die in einen, durch eine sogenannte Zwischenaxe des rhomboëdrischen Krystallsystemes gelegten Hauptschnitt fallen, in den Oberflächen der Nadeln bevorzugt.

Hierher gehören wahrscheinlich die Facialstrahlen aller optisch regulären Drei- und Vierstrahler, ferner alle Basal- und Apicalstrahlen sagittaler Drei- und Vierstrahler, alle Lateralstrahlen, deren Basisprojection 120° beträgt, ferner jedenfalls ein grosser Theil; vielleicht alle einfachen Stabnadeln.

Dagegen gehören sicher nicht hierher: Die grosse Mehrzahl der Lateralstrahlen von sagittalen Vierstrahlern, die Lateralstrahlen jener Dreistrahler, deren Basisprojectionen andere Winkel als 120° einschliessen und die wahrhaft irregulären Drei- und Vierstrahler.

Während die Ätzfiguren von grosser Wichtigkeit sind für den Nachweis eines einheitlichen krystallinischen Aufbaues der Nadeln und dort, wo sie in deutlich erkennbaren Formen auftreten, die krystallographischen Symmetrieverhältnisse ziemlich klar zu überblicken erlauben, sind andere Ätzerscheinungen, denen nun Aufmerksamkeit geschenkt werden soll, schwieriger zu beurtheilen.

Dahin gehört zunächst das Verhalten der Lösungsgestalten, jener erhabenen krystallartigen Ecken, welche am Kalkspathe bei Ätzungen mit Ameisensäure sehr leicht und in solchen Dimensionen, dass sie der Messung zugänglich sind, sich entwickeln. Trotz oft wiederholter Versuche wollte es nicht gelingen, an den kolossalen Nadeln grössere Lösungsgestalten darzustellen. Sie bleiben selbst im günstigsten Falle mindestens vier- bis fünfmal kleiner, als die bei continuirlicher Ätzung mit concentrirter Ameisensäure am Kalkspath sichtbar werdenden Lösungsgestalten; in der Regel aber sind sie so klein und dabei so dicht

aneinander gedrängt, dass ihre Form selbst mit starken Vergrößerungen meistens nicht genauer festgestellt werden kann. Die grössten Gestalten, die überhaupt zur Beobachtung kamen, sind bei ungefähr 700facher Vergrößerung in Fig. 28 (von *Leucaltis*) abgebildet.

Dieses constante Kleinbleiben und die dicht gedrängte Stellung der Lösungsgestalten ist ein bemerkenswerther Unterschied im Vergleiche zum Kalkspathe und deutet auf eine die Nadeln vom reinen Kalkspathe unterscheidende Structur hin.

Immerhin sind die Lösungsgestalten ein weiterer Beweis für die krystallinische Structur und die grosse Ähnlichkeit der Nadeln mit Kalkspath. Obwohl an den Lösungsgestalten eine genauere Bestimmung von Flächen meistens nicht möglich ist, so lässt sich doch manchmal erkennen, dass ihre Symmetrieverhältnisse jenen der Ätzfiguren entsprechen. Am Basalstrahle von *Leucaltis solida* erscheinen die Lösungsgestalten wie kurze, erhabene, der Axe des Strahles parallel gerichtete Stäbchen, welche nach dem einen Ende in eine scharfe Ecke — wahrscheinlich eine secundär umgewandelte Polecke des Lösungsrhomboëders — $2R$ — auslaufen, am entgegengesetzten Ende sich aber allmählig in der Oberfläche der Nadel verlieren. Diese Gestalten zeigen ihre Spitze auf der Canalseite (concave Seite) der Nadel gegen die Spitze des Strahles gewendet (Fig. 26, *b*); auf der Dermalseite aber gegen die Wurzel des Strahles, was ja im Allgemeinen dem Verhalten zweier paralleler Gegenflächen eines Rhomboëders entspricht. Die Gestalten entstehen übrigens etwas leichter auf der Canalseite und werden auch etwas grösser, als auf der Dermalseite.

Diese Ungleichheit hat nichts Auffallendes, wenn man bedenkt, dass die Nadel nicht cylindrisch, sondern kegelförmig ist und dass daher die Ebenen, welche die Canal- und Dermalseite der Nadel tangiren, keineswegs genau parallel sein können und daher verschiedenen Rhomboëdern — auf der Canalseite einem relativ stumpferen, auf der Dermalseite einem relativ spitzeren negativen Rhomboëder — angehören müssen, wie die Betrachtung der Fig. 19 leicht ergibt. Die Lateralstrahlen zeigen in der Faciallage, in welcher sie in Fig. 26, *b*, dargestellt sind, Lösungsgestalten, welche eine Hauptkante zeigen, die der Axe

des Basalstrahles parallel ist und daher die Axe der Lateralstrahlen schief schneidet. Die Gestalten erscheinen ohne deutliche Symmetrie (triklinisch), wie es den Symmetrieverhältnissen in dieser Lage entspricht. Ähnlich zeigen auch die Seitenansichten von kolossalen geätzten Stabnadeln im Allgemeinen Lösungsgestalten von triklinischem Charakter (Fig. 31). Stellt man die Lateralstrahlen von *Leucaltis* so, dass die optische Axe nahezu senkrecht steht, so erkennt man günstigen Falles kleine Höcker, die sich bei starker Vergrößerung als deutliche Pyramidenspitzen darstellen, deren Ähnlichkeit mit den auf der Basis des Kalkspathes mit Ameisensäure entstehenden Spitzen¹ unverkennbar ist. Die Pyramiden erscheinen meist nach einer Seite stärker entwickelt, weil die krystallographische Hauptaxe, wenn die Lateralstrahlen horizontal auf dem Oralwinkel liegen, niemals genau senkrecht steht. Von besonderer Wichtigkeit ist, dass die Richtung der Kanten der Pyramiden — wie sich in günstigen Fällen deutlich erkennen lässt — mit der Symmetrie der der Ätzfiguren genau harmonirt, indem zwei Kanten der Längsaxe Nadel parallel, aber keine Kanten senkrecht auf die Nadelaxe projicirt erscheinen. Diese Lage der Deuteropyramiden beweist wiederum, dass die den Lateralstrahlen parallelen Hauptschnitte Deuteroprismenflächen entsprechen müssen. (Vergl. Fig. 28, *b*.)

Eine Winkelmessung, auf welche einiges Gewicht gelegt werden kann, war nur in einem Falle ausführbar. Abgesehen von der Kleinheit der Lösungsgestalten, steht einer Messung die Schwierigkeit entgegen, dass man in der Regel die Krystallfläche nicht kennt, auf welche die Gestalt projicirt erscheint. Die Basalstrahlen sind zwar meistens in einem Winkel zur optischen Axe geneigt, der etwa 45° beträgt, doch schwankt derselbe nicht unbeträchtlich. In dem einen Falle jedoch waren an der Wurzel des mit seiner Kanalseite genau nach oben liegenden Basalstrahles die in Fig. 28, *a*, abgebildeten Pyramidenecken entstanden und mit starken Vergrößerungen ergab sich, dass die der Axe des Basalstrahles parallele Kante fast genau horizontal liegen musste, wie aus ihrer ganz gleichmässigen Deutlichkeit bei einer und derselben Einstellung der Mikrometerschraube hervorging. Da die häufigste

¹ Diese Ber. Bd. LXXXIX., Taf. II, Fig. 15.

secundäre Lösungsgestalt des Kalkspathes die Pyramide $\frac{4}{3} P2$ ist, so lag die Vermuthung nahe, dass die Kante dieser Pyramide angehöre. Dann würde die Fläche, auf der die Kante projectirt erschien — da es sich um ein negatives Rhomboëder handeln muss — dem Rhomboëder — R entsprechen, was ja im Allgemeinen annähernd zutreffen muss, weil die Flächen $\pm R$ mit der krystallographischen Hauptaxe einen Winkel von $45^{\circ} 23'$ bilden. War nun dies richtig, so mussten die beiden anderen sichtbaren Kanten der vermutheten Pyramide mit der horizontal liegenden Kante einen Winkel von $39^{\circ} 33'$ bilden. Wiederholte Messungen mit dem Oculargoniometer ergaben in der That Winkel von 39° — 41° , im Mittel 40° .

Hält man dies zusammen mit der Beobachtung der Deutero-pyramidenspitzen auf der Basis, so erhält die Annahme, dass die an den Nadeln auftretenden Lösungsgestalten mit jenen des Kalkspathes in der That übereinstimmen, grosse Wahrscheinlichkeit, wenn auch nicht absolute Sicherheit.

Während die Beobachtung von gut entwickelten retardirten Ätzfiguren selten, diejenige von deutlich entwickelten Lösungsgestalten wenigstens bei Weitem nicht immer gelingt, tritt dagegen bei Ätzung mit concentrirter Ameisensäure unter dem Deckglase fast regelmässig eine andere Ätzerscheinung, nämlich die Bildung von feinen Streifungen auf, die auch jedesmal dem deutlichen Hervortreten von Lösungsgestalten vorausgeht.

Es ist dies eine sehr feine Streifung mit fast parallelen Linien, die bei ihrem ersten Auftreten etwa 1 — 1.5μ . von einander abstehen und an Nadeln, deren optische Axe horizontal liegt oder wenigstens mit der Ebene des Objectträgers keine sehr grossen Winkel bildet, nur wenig von der Richtung des optischen Hauptschnittes abweichen. Sieht man aber Lateralstrahlen der kolossalen Dreistrahler von der Canalseite in der Stellung an, in welcher die optische Axe nahezu senkrecht zum Objectträger steht, so bemerkt man statt dessen in der Mitte der Strahlen meist eine feine Punktirung und an den Rändern der Nadel wiederum eine Streifung, welche aber von beiden Seiten her gegen die Wurzel der Nadel so convergirt, dass die mit ihrem Scheitel gegen die Nadelwurzel gewendeten Winkel etwa 90° — 100° betragen.

Derartige Streifungen und Punktirungen sind in Fig. 33 über den dort befindlichen Ätzfiguren und in Fig. 29 *a* und *b* an den Lateralstrahlen von *Leucaltis* dargestellt. Diese Streifungen sind eine Erscheinung, welche am Kalkspathe keine strenge Analogie findet und die zum Theil in der eigenthümlichen Structur der Nadeln begründet sein könnte. Solche Streifungen und Punktirungen sind es wohl auch, welche v. Lendenfeld¹ mit Goldchloridkalium auftreten sah und aus welchen er den Aufbau der Nadeln aus zur Axe radiär gestellten Prismen erschloss. Indessen ist es doch keineswegs leicht, auseinander zu halten, wie weit diese Streifungen in der eigenthümlichen histologischen Structur der Nadeln und wie weit sie mit der Existenz von dem Kalkspath analogen Lösungsflächen zusammenhängen, da sie sich vielfach so mit dem Auftreten von schlecht ausgebildeten Ätzfiguren und von kleinen Lösungsgestalten combiniren, dass die wechselvollsten und schwierigst zu deutenden Bilder entstehen, auf deren detaillirte Schilderung und Deutung einzugehen nicht möglich ist.

Sicher stehen aber die Streifungen wesentlich mit der krystallinischen Structur in Beziehung, da ihre Anordnung den Symmetrien der Ätzfiguren und Lösungsgestalten analog ist, wie insbesondere aus dem Verhalten an den Lateralstrahlen von *Leucaltis* sich ergibt.

Dauert die Ätzung einige Zeit, so verschwindet in der Basalansicht die anfängliche Punktirung (Fig. 29, *a*, Wurzel der Strahlen) und macht einer reinen Streifung Platz, die, unter dem früher erwähnten Winkel convergirend, längs einer deutlich erhabenen, der Strahlenaxe parallelen Kante zusammenstößt (Fig. 29, *a* gegen die Spitzen der Strahlen). Der Scheitel der von beiden Streifensystemen gebildeten Winkels ist gegen die Wurzel der Strahlen gerichtet.

Dreht man nun die Lateralstrahlen um, so erblickt man auf deren Dermalseite eine ganz analoge Streifung, die ebenfalls längs einer Kante zusammenstößt; aber die Spitze des Winkels erscheint gegen die Strahlenspitzen gerichtet; also in analoger Weise verwendet, wie die Ätzfiguren (Fig. 29, *b*). Dies weist

¹ Proc. Linn. Soc. N. S. Wales, Vol 9. P. 4. S. 977 (1885).

entschieden darauf hin, dass auch diese so feinen Streifungen — die später häufig wahren Lösungsgestalten Platz machen — keine histologischen Structurbilder, sondern ebenfalls Lösungsbilder einer Krystallsubstanz sind.

Der Richtung nach können auf den Lateralstrahlen von *Leucaltis* die Streifen den Polkanten eines positiven Rhomboëders oder einer Pyramide angehören und sie stehen wohl in naher Beziehung zu der bemerkenswerthen Kantenbildung, wie sie in Fig. 30 an einer Stabnadel und wie sie an den Lateralstrahlen von *Leucaltis* der Fig. 29, in etwas schräger Ansicht, in weiterer Ausbildung sich zeigt.

Eine ähnliche Kante, aber bei weitem nicht so scharf, tritt an den Seitenflächen der Lateralstrahlen und der Stabnadeln in der Gegend, die der Deuteroprismenfläche entsprechen muss, auf, so dass bei den Ätzungen die genannten Nadeln immer einen mehr weniger deutlichen, freilich nicht regelmässigen rhombischen Querschnitt erhalten, wie es in Fig. 33 an dem Bruchende rechts zu sehen ist. Dieses Rhombischwerden des Querschnittes der Stabnadeln beim Ätzen hat bereits Sollas hervorgehoben.

Ich glaube, dass diese Erscheinungen durch die Beobachtungen von Lavizzari¹ über das Verhalten von Kalkspathkugeln bei Lösung in Säuren sich begreifen lassen. Aus der Kugel wird vor der völligen Auflösung eine ziemlich spitze Deuteropyramide. Denkt man sich nun statt der Kugel einen liegenden Cylinder, dessen optische Axe senkrecht zur Cylinderaxe steht und dessen der optischen Axe parallelen tangirenden Ebenen Deuteroprismenflächen entsprechen, so müssten entsprechend den Berührungslinien dieser Flächen zwei Kanten — Mittelkanten von Deuteropyramiden, — statt der Pyramidenspitzen aber ebenfalls zwei der Cylinderaxe parallele Kanten in der Berührungslinie der Basis auftreten.

Die Basis ist nach den Versuchen von Lavizzari diejenige Fläche des Kalkspathes, welche der Lösung in Salpetersäure den grössten Widerstand entgegensetzt. Dass bei einem Cylinder von der krystallographischen Orientirung, wie sie oben angenommen

¹ Nouveaux phénomènes des corps cristallisés. Lugano, 1865.

ist, für die Entstehung von einheitlichen Polkanten einer Deuteropyramide keine günstigen Bedingungen vorhanden sind, ist klar. Einem Kalkspathcylinder von der oben angenommenen Orientierung entsprechen nun in der Hauptsache die Lateralstrahlen der kolossalen Dreistrahler von *Leucaltis* und die kolossalen Stabnadeln von *Leucandra*.

Die mit den besprochenen Kantenbildungen im Zusammenhang stehenden Streifenbildungen könnten nun vielleicht als Ansätze zur Bildung von vielen einzelnen Polkanten jener Deuteropyramide gedeutet werden, die aus einer geätzten Kugel hervorgeht, für deren einheitliche Bildung an einem liegenden Cylinder aber keine günstigen Bedingungen vorhanden sind. Wie dem sei, so viel ist sicher, dass die genannten Streifungen nicht direct mit einer besonderen histologischen Structur der Nadeln in Zusammenhang gebracht werden können.

Von den Ätzungen mit anderen Säuren verdienen besonders jene mit Essigsäure Erwähnung. Mit Essigsäure treten stets sehr deutliche Ätzstreifungen auf, welche jedoch an den gekrümmten Stabnadeln in der Lage, welche dem Deuteroprisma entspricht, viel stärker zur optischen Axe geneigt sind, als dies mit den von Ameisensäure herrührenden Streifungen der Fall ist. Der Winkel mit der optischen Axe beträgt circa 55° — 65° . Kleine deutliche dreieckige Ätzfiguren auf der Basis entstehen ebenfalls ziemlich leicht. Ebenso Ätzfiguren, welche der Deuteroprismenfläche entsprechen, welche jedoch zum Unterschiede von jenen der Ameisensäure nicht circa 45° , sondern etwa 63° mit ihrer vertieften Kante zur optischen Axe geneigt sind. Es entspricht dies ganz den analogen Erfahrungen am Kalkspathe. Ausnahmsweise erhält man auch mit Essigsäure Ätzfiguren, die jenen der Ameisensäure ähnlich, unter etwa 45° mit der vertieften Kante gegen die optische Axe geneigt sind. Im Ganzen sind die Ätzungen mit Essigsäure sehr leicht unter dem Deckglase auszuführen und haben jenen mit Ameisensäure gegenüber den Vortheil, dass man nicht, durch oft massenhafte Ausscheidungen von kleinen Kryställchen (ameisensaure Kalk), gestört wird. Dagegen ist mit Essigsäure keine deutliche Bildung von Lösungsgestalten, aber oft eine schuppige Abblätterung, welche im Zusammenhange

mit der später zu besprechenden Schichtung der Nadeln steht, zu bemerken.

Der Umstand, dass die Ätzstreifungen mit Ameisensäure und Essigsäure verschieden ausfallen, beweist zur Genüge, dass diese Streifungen wohl mit dem Krystallbau, nicht aber mit einer bestimmten histologischen Structur im Zusammenhang stehen.

Besondere Erwähnung verdienen die Ätzerfolge mit Essigsäure an den Querschnitten der Basalstrahlen der kolossalen Dreistrahler von *Leucaltis solida*. Es ergibt sich schon aus dem früheren, dass diese Querschnittsebene annähernd der Fläche des Spaltungsrhomboëders des Kalkspathes entsprechen muss. Die Querschnitte wurden einfach in der Weise hergestellt, dass ein abgebrochener Basalstrahl in einem kleinen Tropfen Gummilösung auf einen Objectträger gebracht wurde und nachdem die Gummimasse durch Erwärmen halb trocken geworden, unter dem Präparirmikroskope mit dem Messer Plättchen abgespalten wurden. Ätzt man ein solches Plättchen mit Essigsäure, so erhält man ziemlich leicht zwar sehr kleine, aber oft sehr deutliche, lang rechteckige, oder nach einer Seite zugespitzte Ätzfiguren, die jenen auf der Spaltungsfläche des Kalkspathes, wie sie früher abgebildet wurden, sehr ähnlich sind.¹ Dieselben sind durchwegs parallel orientirt und zugleich mit ihrer langen Seite dem optischen Hauptschnitte parallel. (Vergl. Fig. 27.) Es ist dies ein weiterer Beleg dafür, dass die untersuchte Fläche in der That +R entspricht. Neben den Ätzfiguren tritt aber sehr bald die Schichtung ungemein deutlich hervor, indem abwechselnd helle, glänzende, concentrische Streifen und dazwischen matte Spalten sich zeigen. Es sind dann die Ätzfiguren nur mehr dort, wo sie annähernd senkrecht zur Schichtung stehen, gut zu sehen und verschwinden endlich ganz. Ausser den Spalten zwischen den Schichten, bildet sich auch im Centrum des Plättchens, dem sogenannten Centralfaden entsprechend, ein Loch, welches meist aus einer vier- oder fünfeckigen Ätzfigur, die sich dann in eine tiefe Grube umwandelt, hervorgeht. Das ganze Bild ist deshalb höchst merkwürdig, weil man in einem gewissen Momente gleichzeitig die Krystallstructur (Ätzfiguren) und eine histologische

¹ Diese Berichte Bd. XCI, Taf. II, Fig. 16.

Struktur (concentrische Schichtung) gleichsam handgreiflich vor sich hat. (Fig. 27.)

Bemerkenswerther Weise zeigen die Nadeln ausser mit Säuren auch mit Alkalien Ätzerscheinungen; und zwar ist dies deshalb bemerkenswerth, weil Kalkspath in Kali- und Natronlaugen, welche die Nadeln schon sehr merklich angreifen, keine Spur von Ätzerscheinungen zeigt und man daher vermuthen könnte, dass durch Ätzungen mit Laugen nur jene Structur zum Ausdrucke kommt, welche die Nadeln vom Kalkspathe unterscheidet.

Bringt man kleine Kalkspathrhomboëder oder zertrümmerten Doppelspath in eine 10—15procentige Kalilauge durch 24 Stunden und kocht man während dieser Zeit die Lauge ein- oder zweimal durch kurze Zeit um die Wirkung zu erhöhen, so zeigt sich bei der mikroskopischen Untersuchung keine Spur einer Ätzung. Alle Kanten der Kalkspathrhomboëder erscheinen scharf, die Flächen glatt und selbst längs der so häufigen Zwillingsstreifungen nach $-\frac{1}{2}R$ in keiner Weise verändert. Nadeln der Kalkschwämme dagegen werden durch eine gleiche Behandlung stark angegriffen. Haeckel hat der ätzenden Wirkung der Alkalien bereits gedacht und erwähnt, dass die Nadeln zerfressen, oft wie siebartig durchlöchert nach Maceration in Laugen sich darstellen.¹ Die Wirkung der Laugen ist eine ziemlich energische und deutlich bemerkbar, wenn noch die Spiculascheide vollkommen intact erhalten ist. Um sich nicht zu täuschen ist es gut, vor Anwendung der Laugen die Skelettheile des zur Untersuchung verwendeten Schwammes vorher auf ihr vollkommen glattes, intactes Aussehen zu prüfen, da hie und da unter dem in Alkohol conservirten Materiale Exemplare mit unebenen, wie arrodirt aussehenden Nadeln vorkommen.

Bei längerer Einwirkung von Laugen kann schliesslich die ganze Nadel in eine körnige Masse zerfallen und sich innerhalb der wohl erhaltenen Spiculascheide auflösen. Untersucht man nach einer Behandlung, wie sie oben angegeben wurde, so erscheint das Bild verschieden; je nachdem man die Nadel in der Aufsicht auf die krystallographische Basis, oder in einer Lage untersucht, in welcher die optische Axe der Ebene des Object-

¹ l. c. Bd. I, S. 180.

trägers ganz, oder nahezu parallel ist. Zur Untersuchung eignen sich besonders Asconen mit regulären Dreistrahlern und Vierstrahlern, die ausserdem gekrümmte Stabnadeln enthalten, bei welchen also die beiden optischen Hauptrichtungen in den verschiedenen Skelettheilen ohne Weiteres vorliegen, wenn diese in ihrer gewöhnlichen Lage sich befinden. Das beste Object dieser Art, das mir zu Gebote stand, war *Ascandra fulcata*. Untersucht man die flach liegenden regulären Dreistrahler bei starker Vergrösserung, so erkennt man an der Oberfläche der Nadel innerhalb der noch wohl erhaltenen Spiculascheide eine schwer zu deutende Zeichnung, die den Eindruck einer sehr feinen Körnung oder Punktirung macht, ähnlich wie dies in Fig. 43 (Taf. III) dargestellt ist. Bald erhält man den Eindruck, dass schwach lichtbrechende Punkte in einer um dieselbe netzartig angeordneten, stark lichtbrechenden continuirlichen Masse eingetragen sind, bald wieder umgekehrt den Eindruck, als ob isolirte glänzende Körner von matten Contouren umgeben seien. Die Ränder der Nadel erscheinen uneben wie crenelirt. Sieht man dagegen eine der stark gekrümmten Stabnadeln an, deren optische Axe in der Ebene der Krümmung liegt, so zeigt sich ein wesentlich anderes Bild (Fig. 44). Die Mitte der Nadel erscheint fast so glatt wie an einer nicht geätzten Nadel; nur bei sehr genauem Zusehen bemerkt man an derselben eine sehr feine Streifung annähernd in der Richtung der optischen Axe. Dagegen sind die Ränder der Nadel rauh und wie von lauter der optischen Axe fast parallelen feinen Stäbchen zusammengesetzt, die nach der Mitte der Nadel hin zu einer einheitlichen Masse verschmelzen. Das Bild kann aber auch so aufgefasst werden, dass dicht stehende feine Porenkanälchen von den Rändern her gegen die Mitte vordringen. An den Spitzen der Nadeln sieht man einen Zerfall in eine körnige Masse und insbesondere an den Spitzen der Dreistrahler bemerkt man häufig einen centralen Hohlraum, wie er an der Spitze in Fig. 43 dargestellt ist; eine Erscheinung, die man übrigens häufig auch beim Ätzen mit Säuren beobachtet und deren auch v. Lendenfeld als einer Wirkung des Goldchloridkaliums Erwähnung macht. Ähnliche Bilder, wie man sie durch Kalilauge bei *Ascandra fulcata* erhält, zeigen auch die Skelettheile anderer Kalkschwämme. Sehr complicirt gestalten

sich die Verhältnisse bei Nadeln mit ausgesprochenem Schichtenbaue, der, wie vorläufig bemerkt werden muss, nur bei dicken, vor Allem bei den kolossalen Nadeln sich findet. Bei solchen Nadeln wird durch die Einwirkung der Lauge die Schichtung deutlicher, aber ausserdem zeigt sich ein der bei *Ascandra* beschriebenen Ätzzeichnung analoges Bild, das sich auch auf Querbrüchen von kolossalen Nadeln an den einzelnen Schichten bemerkbar macht zum Zeichen, dass die Kalilauge bei stärkerer Einwirkung auch in die Tiefe der Nadelmasse vordringt. Ein Bruchstück eines so behandelten Lateralstrahles von *Leucaltis solida* ist in Fig. 45 dargestellt, wie es mit Immersion von Zeiss angesehen sich darstellte. Man sieht, wie auf der Querbruchfläche ausser den concentrischen Schichtungslinien auch noch eine zackige, crenelirte Beschaffenheit der einzelnen Schichten, besonders in den Radien, welche der optischen Axe annähernd parallel sind, sich bemerkbar macht.

Sucht man nun über die Bedeutung der Ätzerscheinungen mit Laugen sich klar zu werden, so ist vor Allem, wie bereits erwähnt wurde, darüber kein Zweifel, dass diese Erscheinungen ein unterscheidendes Merkmal der Kalkschwammnadeln gegenüber dem reinen Kalkspathe sind. Es geht daraus mit Sicherheit hervor, dass die Nadeln nicht reiner Kalkspath sein können, trotzdem sie optisch, krystallographisch und im Verhalten gegen Säuren demselben so ungemein ähnlich sind. Es muss dem massenhaften kohlen-sauren Kalk eine Substanz beigemischt sein, welche die Nadelmasse für Kalilauge angreifbar macht. Das ist aber auch das einzig Sichere, was aus diesen Ätzungen erschlossen werden kann.

Die einzelnen Möglichkeiten wären nun: 1. Dass die beigemischte Substanz für sich getrennt als ein histologischer Formbestandtheil in den Nadeln existirt; 2. dass die beigemischte Substanz entweder eine chemische Verbindung mit dem kohlen-sauren Kalke bildet, oder wenigstens mit demselben so innig gemengt ist, dass sie nicht in selbständiger Form neben dem kohlen-sauren Kalke existirt. Über die Natur der fraglichen Substanz gibt das Verhalten gegen Laugen keinen nähern Aufschluss; wir müssen uns daher auch hüten, dieselbe kurzweg als organische Grundlage anzusprechen.

Was nun die grössere oder geringere Wahrscheinlichkeit der ersten und der zweiten Annahme anbelangt, so könnte man zunächst geneigt sein, aus den Ätzerfolgen mit Laugen auf eine Stäbchenstructur der Nadeln zu schliessen, und die Punktirung auf der krystallographischen Basis als Aufsicht und die Streifung in der Richtung der optischen Axe als Profilsansicht der feinen Stäbchen, welche etwa einen Durchmesser von ein bis höchstens zwei μ hätten, ansehen. Man könnte dann weiter die Frage aufwerfen, ob die Stäbchen aus Kalkspath und der Kitt, der sie zusammenhält, aus einer anderen Substanz bestehe, oder ob das Umgekehrte der Fall sei. Allein alle diese Speculationen haben das grosse Bedenken gegen sich, dass die fraglichen Stäbchen krystallographisch orientirt sind. Dies lässt zunächst die Annahme nicht ausschliessen, dass es sich um eine Ätzererscheinung einer einheitlichen krystallinischen Substanz handle analog, wie bei den Streifungen in Säuren, und dies um so mehr, als schliesslich die ganze Masse der Nadeln in Körner zerfällt, die endlich ganz aufgelöst werden. Zudem liessen sich die Ätzererscheinungen mit Säuren, die zweifellos ergeben, dass jede Nadel ein einheitliches rhomboëdrisches Krystallindividuum ist, nicht leicht mit der Vorstellung vereinen, dass eine besondere histologische Faserstructur neben der krystallinischen vorhanden wäre. Was speciell die mögliche Stäbchenstructur anbelangt, so wäre dieselbe ohne alle histologische Analogie, der zu Folge man eine zur Axe der Nadel radiäre oder eine derselben parallele oder irgend wie complicirt verflochtene Faserung erwarten müsste, nicht aber eine solche, deren Richtung in einem so unverkennbaren Zusammenhange mit der bisher aufgedeckten Krystallstructur steht. Ehe nun auf diese Fundamentalfrage des Baues der Nadeln weiter eingegangen werden kann, müssen noch einige wichtige Erscheinungen besprochen werden.

V. Spaltbarkeit.

Sollas gibt an, dass an geglühten Nadeln Spaltungsflächen gesehen werden können. Dies ist richtig, jedoch muss bemerkt werden, dass die rhomboëdrische Spaltbarkeit bei Weitem nicht so ausgesprochen ist, wie am Kalkspathe, und wenn man die Spaltbarkeit des Kalkspathes im Sinne der mineralogischen

Terminologie als „sehr vollkommen“ bezeichnet, so könnte diejenige der Nadeln höchstens als „vollkommen“, also mindestens um eine Stufe tiefer rangirt werden. Ein einfacher Versuch lässt hierüber keinen Zweifel. Nimmt man ein kleines Kalkspathstückchen und zerdrückt dasselbe mehrmals mit einer flachen Messerklinge in einem Wassertropfen auf einem Objectträger, so findet man neben wenigen kantigen Stücken von rein muscheligen Bruch eine Unzahl kleiner Rhomboëder mit und ohne Streifung nach $-\frac{1}{2}R$ oder wenigstens Bruchstücke, an denen mehrere deutliche Spaltungsflächen zu sehen sind. Macht man denselben Versuch mit einer kolossalen Nadel von *Leucaltis solida* oder *Leucandra*, so erhält man eine weitaus überwiegende Mehrzahl von kleinen Trümmern mit muscheligen Bruche, und man muss oft lange suchen, ehe man eine Rhomboëderfläche zur Ansicht bekommt. Viele anscheinende Rhomboëderecken erweisen sich als Bruchstücke, welche zufällig eine täuschende Form haben, wie insbesondere die Analyse mit dem Polarisationsapparat ergibt, aber es gibt auch manchmal stumpfe Rhomboëderecken, die durch den optischen Hauptschnitt gerade halbirt werden und die bei goniometrischer Messung Winkel zeigen, welche mit jenem der Kalkspathrhomboëderfläche nahe übereinstimmen. Eine genaue Messung lässt die unsichere Orientirung an den meist sehr kleinen Stücken nicht zu. Die relativ meisten Spaltungsflächen erhielt ich bei Zertrümmerung der grossen Vierstrahler von *Ascultis Gegenbaueri*.

Da das Zertrümmern kein eigentlicher Spaltungsversuch, aber immerhin beim Vergleiche mit Kalkspath von Werth ist, wurden auch wirkliche Spaltungsflächen darzustellen versucht.

Dazu eignet sich nun vor Allem der Basalstrahl der kolossalen Dreistrahler von *Leucaltis solida*, wie bereits bei den Ätzversuchen erwähnt wurde. Da derselbe meist annähernd unter 45° zur optischen Axe geneigt ist und mit seiner canal und dermalen Seite annähernd der negativen Rhomboëderfläche $-R$ entsprechen muss, so muss der Querschnitt des Strahles nahezu der Spaltungsfläche $+R$ entsprechen. In der That bricht nun dieser Strahl, wenn man die senkrecht aufgesetzte Messerschneide aufdrückt jedesmal quer ab, während dies bei den Lateralstrahlen, deren Spaltungsflächen stark schräge gegen die Nadelaxe stehen müssen, nicht der Fall ist.

Der Querschnitt erscheint häufig ganz eben, seltener etwas uneben durch theilweise muscheligen Bruch, während die Lateralstrahlen bei gleichem Verfahren stark uneben muschelig abbrechen. Da es immerhin einige Schwierigkeit macht, das Messer rein quer zur Axe des Basalstrahles und senkrecht auf die Oberfläche aufzudrücken, so war ein anderes Verfahren, das sich durch zufällige Beobachtung darbot, willkommen. Legt man einen kolossalen Dreistrahler von *Leucaltis solida* mit den Spitzen auf einen Objectträger mit einem Tropfen Flüssigkeit und drückt man nun langsam das Deckglas auf, bis die Nadel bricht, so findet man fast immer den Basalstrahl rein quer abgebrochen, während die Lateralstrahlen in der Regel im Zusammenhange bleiben. Noch leichter gelingt der Versuch mit in Paraffin gekochten Nadeln. Bei starkem Drücken brechen natürlich auch die Lateralstrahlen, aber stets entweder muschelig oder mit schrägen Flächen, ähnlich, wie dies auch bei den Stabnadeln der Fall ist. Doch sind diese schrägen Flächen, wie solche im Profil in Fig. 32 *b*, von einer Stabnadel zu sehen sind, niemals vollständig eben. Da der Basalstrahl der Dreistrahler von *Leucaltis* bei gut ausgeführtem Verfahren stets quer abbricht — wovon ich mich oft überzeugte bei Gelegenheit der Herstellung von Präparaten, wie sie z. B. in Fig. 24, 25, 27 und 29 dargestellt sind, — anderseits aber feststeht, dass sein Neigungswinkel gegen die krystallographische Hauptaxe um mindestens 10° schwanken kann, so kann der Querschnitt nicht in allen Fällen der reinen Spaltungsfläche entsprechen. Es ist daher fraglich, ob dieser leicht erfolgende Querbruch nur ausschliesslich auf Rechnung der Existenz einer Spaltungsfläche zu setzen sei. Basalstrahlen von sagittalen Dreistrahler brechen überhaupt leicht quer ab, auch wenn ihre Neigung zur optischen Axe eine geringe, nur 10° — 20° betragende ist. Nach den noch zu besprechenden Erscheinungen beim Glühen der Nadeln zu schliessen, scheint neben der Spaltungsfläche nach *R*, auch eine basische Spaltbarkeit vorhanden zu sein, und es würde sich dann das leichte Entstehen von reinen Querbrüchen an den Basalstrahlen von Drei- und Vierstrahlern durch die gleichzeitige Existenz dieser Spaltungsrichtungen erklären, während das seltene Vorkommen solcher reiner Querbrüche an Lateralstrahlen und Stabnadeln ebenfalls seine Erklärung fände. Beim mässigen

Erhitzen werden die Nadeln sehr brüchig, so dass beim Rollen von Stabnadeln ganze Stücke ausfallen. Solche Nadeln zeigen meist das Ansehen von Feuersteinsplintern, also exquisit muscheligen Bruch. Selten sieht man eine Rhomboëderecke ausspringen, wie eine solche von einer Stabnadel von *Leucandra* in Fig. 32 a, neben muscheligen Bruchflächen zu sehen ist. Solche ausgesprungene Ecken zeigen aber dann wieder sehr deutlich die Orientirung, wie sie der Parallelismus der Nadelaxe mit einer Deuteroprismenfläche erfordert. Bei den Ätzversuchen mit Säuren entstehen manchmal zufällig ebenfalls solche ausgesprungene Rhomboëderecken, namentlich wenn ein Präparat einzutrocknen beginnt und der Druck des Deckglases allmählig die Nadel zerprengt. Eine derartige Ecke zeigte mir, wie schon früher erwähnt wurde, ein Apicalstrahl eines sagittalen Vierstrahlers, was zur richtigen Auffassung der krystallographischen Orientirung desselben von Werth war. Fassen wir Alles zusammen, so ist eine rhomboëdrische Spaltbarkeit nach R zwar vorhanden, sie ist aber bei Weitem unvollkommener als beim Kalkspathe, und daher der muschelige Bruch deutlicher hervortretend. Bemerkenswerth als Unterschied vom Kalkspathe ist noch die Thatsache, dass man beim Zerquetschen von Nadeln keine Gleitlamellen nach $-\frac{1}{2}R$ erhält, welche beim Kalkspathe so leicht und in so grosser Zahl sich einstellen, dass die kleinen Rhomboëder oft ganz dicht parallel den langen Diagonalen, gestreift sind.

Noch muss ich einer Erscheinung gedenken, die mir in den oberflächlichen Schichten an geglühten, zertrümmerten, kolossalen Nadeln von *Leucandra aspera* öfter vorkam, ohne dass ich sie jedoch eingehender verfolgte. Man sieht nämlich manchmal vielfach sich durchkreuzende und durchschlingende Furchen feiner Art, welche einen sehr gleichmässigen Querdurchmesser von circa $2\ \mu$ haben und die in ihrer Gesamttform an ein Pilzmycelium erinnern. Welche Bedeutung diesen Furchen zukommt, ist mir unklar; unmöglich wäre es aber nicht, dass es sich in der That um eine Algen- oder Pilzvegetation handelt, die petrificirte und als Einschluss in die Nadel hineingelangte, wie ein Einschluss in einen Krystall, und nun erst beim Glühen und Zertrümmern sich als etwas fremdartiges erweist. Ich stelle dies nur als eine Vermuthung hin, die nur das für sich hat, dass ich keine andere

annehmbare Erklärung für die beschriebenen Furchen zu geben weiss.

VI. Über die Natur der dem kohlsauren Kalke beigemischten Substanz.

Die bisherigen Untersuchungen haben als wesentliches Resultat ergeben, dass die Kalknadeln wie einheitliche Krystallindividuen sich verhalten, die sich vom Kalkspathe nur wenig unterscheiden, dass aber dennoch einige unterscheidende Merkmale vom Kalkspathe existiren: so das Kleinbleiben der Lösungsgestalten, das Auftreten sehr feiner Ätzstreifungen in Säuren, die weniger vollkommene Spaltbarkeit und endlich, als eclatantester Unterschied, die Angreifbarkeit der Nadelsubstanz durch Laugen. Zu diesen Unterschieden können wir noch als ein bemerkenswerthes, von Sollas gewonnenes Resultat hinzufügen, dass das specifische Gewicht der Nadeln (2·61 — 2·63) bedeutend geringer ist¹ als jenes des reinen Doppelspathes (2·72). Es wurde jedoch noch nicht die Frage im Zusammenhange erörtert, ob und welche histologische Structur in den Nadeln neben der rein krystallinischen existirt.

Ein genaueres Eingehen auf diese Frage soll auf später verspart werden, nachdem erst ein hiefür wesentlicher Punkt, nämlich das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer organischen Substanz in der Nadel erörtert sein wird.

Oscar Schmidt und insbesondere Haeckel, dem wohl alle Neueren (auch Sollas) in der Hauptsache folgen, nehmen auf Grund der Glühversuche eine organische Substanz in den Nadeln an, die von Haeckel als Spiculin bezeichnet wird, während Kölliker auf Grund der Thatsache, dass die Nadeln in Säuren — abgesehen von den Spiculascheiden — sich vollständig auflösen, die Existenz einer organischen Substanz bezweifelte. Da Haeckel sich allein eingehend mit dieser wesentlichen Frage beschäftigt, so ist es angezeigt, seine Hauptargumente kritisch zu besprechen. Haeckel unterscheidet spiculinreiche und spiculinarme Nadeln, deren extreme Formen sich auf den ersten Blick dadurch unterscheiden sollen, dass die einen matt, blass, schwach

¹ Dabei muss allerdings bemerkt werden, dass die Spiculascheiden der Nadeln nicht entfernt waren.

lichtbrechend (wegen geringem Kalkgehalte), die andern dunkel, glänzend, starklichtbrechend (wegen überwiegendem Gehalte an kohlensaurem Kalke) erscheinen sollen. Beiderlei Formen sollen durch mannigfache Übergänge verbunden sein. Die ganz richtige, aber falsch gedeutete Beobachtung, dass es stark und schwach lichtbrechende Nadeln gibt, scheint mir der Schlüssel zum Verständnisse von Haeckel's Darstellung des Spiculingehaltes der Nadeln zu sein. Da die Nadeln ebenso stark doppelbrechend sind wie der Kalkspath, müssen dieselben auch im gewöhnlichen Lichte ein merklich verschiedenes Ansehen zeigen — wenn sie z. B. in Canadabalsam untersucht werden — je nachdem die optische Axe senkrecht oder parallel zum Objectträger gerichtet ist. Im ersten Falle geht nur Licht von der starken Brechbarkeit des ordentlichen Strahles durch die Nadel; sie erscheint daher sehr stark glänzend bei hoher Einstellung und mit breiten dunklen Rändern eingesäumt. Im zweiten Falle ist nur ein Theil des Lichtes, das die Nadel passirt, von der Brechbarkeit des ordentlichen Strahles, die andere Hälfte ist von der viel geringeren Brechbarkeit des ausserordentlichen Strahles, die unter jener des Canadabalsams steht, und es muss daher die Nadel in der zweiten Stellung auch im gemeinen Lichte viel blasser, schwächer lichtbrechend erscheinen, als in der ersten Stellung. Der Unterschied ist freilich nicht so enorm, wie bei der Untersuchung mit einem Nicol, aber immerhin deutlich genug, dass er bei einiger Aufmerksamkeit nicht übersehen werden kann. Thatsächlich führt nun Haeckel unter den spiculinarman (also stark lichtbrechenden) Nadeln gerade die regulären Dreistrahler an (bei welchen die optische Axe senkrecht auf der Ebene der Strahlen steht) und unter den spiculinreichen (schwach lichtbrechenden) die sagittalen Drei- und Vierstrahler, bei welchen die optische Axe annähernd in der Ebene der facialen Strahlen liegt. Es ist eine begreifliche und der histologischen Tradition angemessene Deutung, aus dem verschiedenen Lichtbrechungsvermögen zweier Körper unter dem Mikroskope auf eine verschiedene stoffliche Natur derselben zu schliessen und man kann Haeckel daraus keinen Vorwurf machen, dass er ähnlich, wie Ranvier es bei den Knochenlamellen versuchte,¹

¹ Vergl. hierüber: Diese Ber. Bd. LXXV (1877), S. 155.

aus dem verschiedenen Lichtbrechungsvermögen auf stoffliche Verschiedenheit schloss, ohne die Möglichkeit zu bedenken, dass eine und dieselbe doppelbrechende Substanz je nach ihrer Orientierung ein deutlich verschiedenes Lichtbrechungsvermögen im gemeinen Lichte zeigen kann. Was nun Haeckel sonst für den Spiculingehalt der Nadeln vorbringt, scheint nur eine weitere Ausführung der anscheinend schlagenden Beobachtung von dem verschiedenen Lichtbrechungsvermögen der Nadeln zu sein und es lässt sich nicht verkennen, dass die einzelnen Beobachtungen manchmal der leitenden Grundidee, als wäre der Reichthum an Spiculin in Zusammenhang mit der Höhe der Organisation, vielfach in einer Weise untergeordnet werden, welche einer strengen Kritik nicht Stand halten kann.

Der entscheidende Punkt für den Nachweis des Spiculins, der organischen Substanz, liegt in den Glühversuchen. Bei diesen soll sich deutlich Kohle zeigen, was ja ein vollgiltiger Beweis für das Vorhandensein organischer Substanz wäre. Trotz aller Bemühungen ist es mir nie gelungen, durch Glühversuche Kohle nachzuweisen, wenn ich von ganz vereinzelt schwarzen Körnern absehe, die ab und zu in einer geglühten Nadel gefunden werden konnten und die als zufällige Verunreinigung betrachtet werden mussten. Das, was Haeckel bei den Glühversuchen als Spiculinkörner, als verkohlten Centrifaden etc. erklärte, ist durchwegs auf eine Gasentwicklung in den Nadeln beim Glühen zurückzuführen, welche in Form kleiner Bläschen in der Substanz der Nadeln bei schwächerem Glühen auftritt und bei stärkerem Glühen zur Zerstäubung der Nadeln unter der Erscheinung des Decrepitirens führt. Haeckel hat die Erscheinungen beim Glühen gut beschrieben, aber die Darstellung des Beobachteten mit nicht annehmbaren Deutungen vielfach so vermischt, dass es schwierig ist, Thatsachen und Schlüsse auseinander zu halten. Bei mässigem Glühen werden die Nadeln, die anfänglich glashell sind, bläulich-weiss bei auffallendem, bräunlich bei durchfallendem Lichte, bei stärkerem Glühen werden die Nadeln noch undurchsichtiger, bleiben aber stets bläulich-weiss für das freie Auge, und niemals sieht man eine Schwarzfärbung bei auffallendem Lichte. Wenn man Schwarzwerden der Nadeln in auffallendem Lichte zu bemerken glaubt, so rührt dies sicherlich nur von der verkohlten Spicula-

scheide oder überhaupt der Nadel oberflächlich anhaftendem Gewebe her.

Bei entscheidenden Versuchen kann man ja kein eingreifendes Macerationsverfahren, insbesondere nicht Laugen zu Hilfe nehmen, weil sonst eingeworfen werden könnte, das Spiculin sei durch die Laugen schon zerstört. Ohne eingreifende Maceration lässt sich aber die sehr widerstandsfähige Spiculascheide nicht zerstören, die dann allerdings beim Verkohlen den Nadeln ein wirklich schwarzes Ansehen geben und insbesondere bei kleinen Nadeln täuschen kann. Bei genauer Untersuchung lässt sich aber erkennen, dass die Kohle stets nur oberflächlich der Nadel anhaftet.

Die bläulich-weiße Farbe im auffallenden Lichte und die dazu complementäre bräunlich-gelbe Farbe im durchfallenden Lichte hat mit einer Verkohlung nichts zu thun; es ist dies eine Zersetzungserscheinung, wie man sie an Salzen, die bei stärkerem Erhitzen decrepitiren, ebenfalls beobachtet. Kalkspath decrepitirt auch bei starkem Glühen nicht und hierin liegt wieder ein wesentlicher Unterschied von den Nadeln, aber er brennt sich in starker Hitze bläulich-weiss und erscheint im durchfallenden Lichte dann ebenfalls bräunlich-gelb. Allein dies geschieht erst auf dem rotglühenden Platinbleche bei einer Temperatur bei welcher die Nadeln schon längst zu Staub zerfallen sind. Die Kalkschwammnadeln zersetzen sich bereits bei einer Temperatur die am Kalkspathe noch keine merkliche Veränderung hervorruft, schon siedendes Paraffin (Temperatur circa 370°) ruft bei den Nadeln bläulich-weiße, beziehungsweise bräunliche Färbung hervor. Der einfachste Beweis, dass diese Braunfärbung nicht von Kohle herrühren kann, ist das Verhalten schwach geglühter Nadeln bei der Untersuchung mit einem Nicol. Es zeigt sich dann deutlicher Pleochroismus, und zwar so, dass die Braunfärbung im Hauptschnitte polarisirt ist. Stellt man die Nadel mit ihrem Hauptschnitte parallel der Polarisationssebene des Nicols, so erscheint sie ziemlich dunkel gelbbraun; steht dagegen der Hauptschnitt der Nadel senkrecht zur Polarisationssebene des Nicols, so ist die Färbung kaum mehr merklich, wie dies in Fig. 46 an einem abgebrochenen Basalstrahl eines kolossalen Dreistrahlers von *Leucaltis solida*, dessen optische Axe (oo')

horizontal liegt, dargestellt ist (PP' Polarisationssebene des Nicols). Die Erscheinung des Pleochroismus zeigt sich bekanntlich bei optisch einaxigen Krystallen am reinsten, wenn die optische Axe genau horizontal liegt. Steht die optische Axe senkrecht auf dem Objectträger, so erscheint die Nadel in jedem Azimuthe bei Untersuchung mit einem Nicol gleichmässig braun gefärbt. Die Erscheinung ist nur gut an grossen Nadeln mit deutlich geschichtetem Baue zu sehen, während kleine und winzige Nadeln bei mässigem Glühen, abgesehen von dem deutlicheren Hervortreten einer axialen Linie nur eine ganz schwache Braun-, beziehungsweise Bläulichfärbung erkennen lassen.

Glüht man die Nadeln stark auf dem Platinbleche, so zerspringen sie und zerfallen in Staub. Da es unbequem ist, von dem Platinbleche die wenigen noch vorhandenen Nadelreste zu sammeln, so verfähre ich gewöhnlich so, dass ich die mit Hilfe kurzer Maceration in schwacher Lauge und nach allfälligem Aufkochen in derselben möglichst isolirten Nadeln, nach vorherigem Auswaschen, mit einem Tropfen Wasser auf einen Objectträger bringe und nun das Wasser langsam zur Trockene verdampfe. Die Nadeln adhären dann am Glase. Es wird nun stärker erhitzt und hierauf der Objectträger umgedreht, so dass die Flamme direct gegen das Präparat gerichtet ist. Dies wird mit Hilfe einer Tiegelfzange unter fortwährender Bewegung des Objectträgers über der nicht zu hoch gehaltenen Flamme ausgeführt, um das Zerspringen des Glases zu verhüten. Die kurze Einwirkung von Kali- oder Natronlauge schadet nicht und der Versuch verläuft im wesentlichen ebenso, wie wenn man die Nadeln direct aus Spiritusmaterial in Wasser präparirt; man hat nur den Vortheil etwas reinlicherer Präparate. Man bricht das Erhitzen ab, sobald man bemerkt, dass der Objectträger sich mit feinem Staub zu beschlagen beginnt und bringt dann einen Tropfen Dammarlack auf das Präparat und bedeckt mit dem Deckglase.

Untersucht man nun solche Präparate von kleinen und winzigen Nadeln, so erscheint an vielen der sogenannte Axenfaden deutlich, an andern bemerkt man in der Axe eine anscheinend dunkel, fast schwarz aussehende körnige Masse, an noch anderen ist endlich die Masse der Nadel wie von Körnern durchsetzt. Ausserdem sieht man zahllose feine Schüppchen und

Plättchen, welche von den zerstäubten Nadeln herrühren, und welche ebenfalls wie von dunklen Körnern durchsetzt erscheinen. Bei starker Vergrößerung überzeugt man sich, dass diese anscheinend dunklen Körner lauter Gasbläschen oder wenigstens kugelige Hohlräume sind, die von einer farblosen, das Licht, ähnlich wie Luft, sehr schwach brechenden Substanz eingenommen werden. Die Kügelchen erscheinen schwarz bei hoher, hell röthlich bei tiefer Einstellung. Sie verhalten sich also wie Luftbläschen. Noch sicherer wird dies bei der Untersuchung im dunklen Gesichtsfelde mit dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate erkannt, wobei die Bläschen alle glänzend weiss erscheinen. Verschiebt man mittelst des Zahntriebes die Blendungsvorrichtung etwas nach der Seite, so kann man jeden Moment helles Gesichtsfeld zum Vergleiche schaffen. Haeckel hat diese Gasbläschen auch gesehen, er glaubt aber, dass sie verbrannten Kohlenkörnern entsprechen.

Mir ist es aber in keinem Stadium des Glühens gelungen, diese Kügelchen als Kohle zu sehen. Es kommt ausnahmsweise vor, dass wirklich ein schwarzes Korn, das also bei auffallendem und durchfallendem Lichte schwarz erscheint, in einer geglühten Nadel oder in einem Bruchstücke einer solchen sich findet, aber dies ist eine solche Seltenheit, dass es wirklich nur als Bestätigung der Regel und zum Beweise dienen kann, dass das Glühen nicht so lange fortgesetzt wurde, um Kohle zu verbrennen. Solche seltene Einschlüsse von verbrennbarer Substanz müssen wie die zufälligen Verunreinigungen eines Krystalles betrachtet werden. Von dem Aussehen solcher geglühter Nadeln geben Fig. 34 (Stabnadel von *Sycandra raphanus*), Fig. 39 (Dreistrahler von *Sycandra raphanus*), Fig. 41 (Dreistrahler von *Ascallis cerebrum*) und Fig. 49 (Dreistrahler von *Leucandra aspera*) ein annäherndes Bild.

Was den Zerfall in Plättchen anbelangt, so geschieht derselbe ungefähr in der Richtung der Spaltungsfläche, doch so, dass die Basalstrahlen sagittaler Drei- und Vierstrahler in reine Querbrüche (Fig. 39, *b*) zerstäuben und somit ein genauer Parallelismus mit der Spaltfläche nicht stattfinden kann. Jedenfalls ist aber sehr beachtenswerth, dass die Lateralstrahlen sagittaler Dreistrahler und die regulären Dreistrahler niemals in Querbrüche zerfallen. Dies ist freilich für die sagittalen Dreistrahler nicht

strenge zu beweisen, da man sich keine Präparate machen kann, die nur Lateralstrahlen kleiner Dreistrahler enthalten. Schlagend ist aber der Versuch beispielsweise mit *Ascetta Clathrus*, wobei man niemals kreisrunde, einem reinen Nadelquerbruche entsprechende Plättchen durch Glühen erhält. Einen im Plättchenzerfalle befindlichen Dreistrahler von *Sycandra elegans* sucht Fig. 42 wiederzugeben. Zwei Plättchen, das eine (*a*) von einem Basalstrahl, das andere (*b*) wahrscheinlich von einem Lateralstrahl eines Dreistrahlers von *Leucandra aspera* bei starker Vergrößerung mit den eingeschlossenen Gasbläschen gibt Fig. 40.

Nachdem mit den Glühversuchen der Nachweis von Kohle in der Nadelsubstanz nicht gelungen war, war noch immer die Möglichkeit denkbar, dass die Bläschen von der Zersetzung einer organischen Substanz ohne Verkohlung herrühren, obwohl dies a priori nicht sehr wahrscheinlich ist. Ein Versuch, durch concentrirte Schwefelsäure eine Verkohlung der Nadeln zu erzielen, misslang ebenfalls; indessen hat auch dies nichts Beweisendes, da ja nicht jede organische Substanz mit Schwefelsäure schwarz wird. Um nur ein sehr nahe liegendes Beispiel anzuführen, werden Stücke des gemeinen Badeschwammes in concentrirter Schwefelsäure wohl braun, aber nicht schwarz.

Ich bemühte mich nun mit der Verfolgung der Lösung in Säuren, bei welcher man nach Haeckel bei vorsichtigem Verfahren das Spiculin als blassen Rest erkennen soll. Bei solchen Versuchen sind die Spiculascheiden sehr hinderlich. Wenn man aber nach kurzer Ätzung mit Säure auf das Deckglas stösst, gelingt es meist leicht, grössere oder kleinere Nadelstücke ganz frei zu bekommen. Allein an solchen sah ich niemals beim Lösen einen zusammenhängenden Rückstand, mochte ich Essigsäure, Ameisensäure, verdünnte Salzsäure oder auch Pikrinsäure — von welcher ich noch am meisten hoffte — anwenden.¹

Eben so wenig gaben Tinctionsversuche einen Erfolg. Am besten schien es zu sein, das Färbemittel sofort mit der Säure zu combiniren. Bei Anwendung von Bismarckbraun in Essigsäure

¹ Einzelne kleine Körnchen, die hier und da, aber keineswegs constant bei der Lösung in Säuren zurückbleiben, können wiederum nur als unwesentliche, zufällige Beimengungen betrachtet werden.

schien es nun in der That, dass während der Lösung der Nadel sich membranöse Bildungen färben, die einer organischen Substanz angehören. Allein die Beweiskraft dieses Bildes zerfiel in nichts, da Kalkspath dasselbe zeigte und die scheinbare Färbung nur darauf beruht, dass dort, wo der Farbstoff mit dem kohlen-sauren Kalk in directe Berührung trat, er theilweise — wie bei Zusatz eines Alkali — ausgefällt wurde. Auch andere Anilin-farbstoffe wurden ohne Erfolg angewendet; ausser der Spicula-scheide, deren Existenz ja óhnehin allgemein anerkannt ist, war an der Nadel nichts Färbbares zu finden.

Nachdem alle Versuche, eine organische Substanz in den Nadeln nachzuweisen, vergeblich waren, andererseits aber die Nadeln unmöglich aus reinem Kalkspathe zusammengesetzt sein können, lag die Vermuthung nahe, dass die Nadeln aus einem Gemenge oder einer Verbindung von kohlen-saurem Kalk und anderen unorganischen Salzen bestehen, wodurch sich das eigen-thümliche Verhalten derselben um so mehr begreifen liesse, als ja auch die Erscheinungen beim Ätzen mit Laugen und beim Glühen unverkennbar mit der krystallinischen Structur im Zusammenhange stehen. Eine einwurfsfreie chemische Analyse der Nadeln ist aber schwierig zu machen, da sie ohne eingreifende Macerationen sich nicht rein isoliren lassen.

Immerhin glaubte ich durch folgendes Verfahren annähernd zum Ziele zu kommen. Einige grössere Exemplare von *Leucandra aspera* wurden, nach Reinigung von Fremdkörpern, in kaltem, destillirtem Wasser unter öfterem Wasserwechsel 24 Stunden lang ausgelaugt und hierauf, wieder unter öfterem Wasserwechsel, so lange in destillirtem Wasser gekocht, bis das Wasser beim Verdampfen keinen Rückstand ergab. Hierauf wurde ein grösserer Theil des Materiales in kalter verdünnter Salzsäure, ein kleinerer, zur Untersuchung auf Chloride, mit verdünnter kalter Salpeter-säure behandelt und die von den Schwammresten abfiltrirte Flüssigkeit qualitativ untersucht. Vor allem wurde auf Phosphor-säure geprüft, aber die empfindliche Probe mit molybdänsaurem Ammoniak gab keine Spur derselben. Ebenso war kein Chlor, überhaupt keine Trübung der salpetersauren Lösung mit salpeter-saurem Silber nachzuweisen. Dagegen ergab sich ein deutlicher Niederschlag mit Chlorbaryum. Das Vorhandensein von Schwefel-

säure wurde nun auch noch dadurch nachgewiesen, dass ein Tropfen der salzsauren Lösung auf dem Objectträger zur Trockene verdampft wurde, worauf, nachdem das vorhandene Chlorcalcium durch Anziehen von Feuchtigkeit wieder flüssig geworden war, charakteristische Gypskrystalle unter dem Mikroskope gesehen wurden, deren Natur durch ihre Unlöslichkeit in Alkohol noch weiter ausser Zweifel gestellt wurde. Der Versuch gelang auch mit einzelnen isolirten Nadeln, es ist also sicher, dass neben dem kohlensauren Kalke auch Schwefelsäure in den Nadeln enthalten ist. Von Basen wurde nach Ausfüllung des Kalkes mit oxalsaurem Ammoniak ein deutlicher Niederschlag mit phosphorsaurem Natron erhalten. Es ist also neben Kalk auch eine geringe Menge Magnesia in den Nadeln. Ausserdem gibt die Lösung der Nadeln eine lebhaft gelbe Färbung der Flamme und die spectroscopische Untersuchung eine intensive Natronlinie. Sonst wurde an Basen nichts gefunden, insbesondere war keine Thonerde und kein Eisen nachweisbar, überhaupt keine durch Schwefelammonium fällbare Basis. Auf Kali wurde nicht untersucht. Die chemische Untersuchung ergibt also, dass in den Nadeln der Kalkschwämme ausser einer überwiegenden Masse von kohlensaurem Kalke auch deutlich nachweisbare Mengen von Schwefelsäure, Magnesium und Natrium enthalten sind. Diese Beimischungen können nun wohl allein die Ursache des eigenthümlichen Verhaltens der Nadeln sein, das man bisher, ohne hiefür beweisende Thatsachen zu haben, auf Rechnung einer organischen Substanz setzte.

Ein paar Worte über den Vorgang des Zerstäubens der Nadeln glaube ich noch beifügen zu sollen. Das Decrepitiren von Salzen wird bekanntlich auf mechanisch eingeschlossenes Wasser oder Mutterlauge zurückgeführt. Untersucht man abgeknistertes Kochsalz, so findet man in den kleinen Krystallen zahlreiche, oft ungemein dicht gedrängte gashaltige Räume, die theils rundlich, theils aber deutlich kubisch sind. In den zerstäubten Nadeln der Kalkschwämme sind die Räume immer rundliche, meist rein kugelig. Es ist also im Ganzen eine unverkennbare Ähnlichkeit zwischen abgeknistertem Kochsalz und den zerstäubten Kalkschwammnadeln vorhanden und daher eine analoge Ursache beider Vorgänge wahrscheinlich. Bemerkenswerth ist

dass beim Glühen nur grosse Nadeln unter hörbarem Geräusch zerspringen, während kleine und winzige Nadeln ohne ein solches zerstäuben. Beim Erhitzen in einem kleinen Glasröhrchen bildet sich eine weisse Wolke, die beim Erkalten an den Wänden sich niederschlägt und aus den früher besprochenen feinen, von Gasbläschen durchsetzten Plättchen besteht.

VII. Schichtung und Centralfaden.

Die in der Literatur über die histologische Structur der Nadeln vorliegenden Angaben sind, abgesehen von jenen Haeckel's, nicht sehr eingehend und zum Theil widersprechend. Ziemlich allgemein wird wohl jetzt für die Nadeln der Kalkschwämme ein geschichteter Bau angenommen, wofür zuletzt insbesondere Haeckel und später Vosmaer¹ eingetreten sind, während Osc. Schmidt, Kölliker und Carter denselben leugneten. Dieser Widerspruch erklärt sich dadurch, dass der grösste Theil der Kalkschwammnadeln keinerlei nachweisbare Schichtung besitzt, während ein kleinerer Theil, und zwar nur grosse, insbesondere kolossale Formen einen leicht nachweisbaren Schichtenbau erkennen lassen. Es kommt also auf das untersuchte Material sehr wesentlich an; nicht alle Nadeln haben denselben Bau.

Ein wesentlicher Differenzpunkt ist ferner die Frage nach dem Centralcanal oder Centralfaden, der von Osc. Schmidt und Kölliker geleugnet, von Haeckel aber allgemein angenommen wird und nach ihm ein aus organischer Substanz bestehender axialer Strang sein soll, der sogar durch die Nadelspitzen hindurch mit der Sarcodine des Syncytiums zusammenhängen soll.

Richtig ist gewiss, dass man fast in jeder Nadel, theils ohne weitere Präparation, theils nach mässigem Glühen in der Axe eine feine Linie sehen kann. Der Centralfaden erscheint schon an den unversehrten Nadeln manchmal als feine Linie, ist aber gewöhnlich nicht zu bemerken. An den kolossalen Dreistrahlern von *Leucaltis solida* erkennt man ihn in der Regel, und zwar am deutlichsten im Basalstrahle, weniger deutlich in den Lateralstrahlen. Durch mässiges Glühen, auch durch Kochen in Paraffin

¹ Tijdschr. d. Ned. Dierk. Vereen. Bd. V, p. 144.

und bei kleinen Nadeln auch durch Maceration in Kali wird der Faden in der Facialansicht der Nadeln fast immer deutlich. Bei Dreistrahlern stossen die Centralfäden der drei Strahlen im Mittelpunkte ihrer Vereinigungsstelle zusammen; man sieht aber namentlich an geglühten, grossen Dreistrahlern noch eine Art Fortsetzung des Centralfadens über die Vereinigungsstelle hinaus bis an den der Spitze des Strahles entgegengesetzten Winkel der beiden anderen Strahlen. (Vergl. Fig. 47 und Fig. 10.) Bei den kolossalen Dreistrahlern ist jedoch diese Fortsetzung am Basalstrahle nur undeutlich zu sehen. An sehr kleinen Nadeln vermisst man den Centralfaden oft ganz. Bei Stabnadeln ist derselbe meist nach einer Seite hin nicht bis ans Ende der Nadel zu verfolgen (Fig. 51 und 53). Dass es sich nirgends um einen Canal oder um ein scharf begrenztes Axengebilde handeln kann, beweist der Querschnitt, an welchem man niemals einen Canal oder etwas dem ähnliches sehen kann, und die beim Zerstäuben durch Glühen von kleinen sagittalen Drei- und Vierstrahlern in Unzahl entstehenden sehr dünnen Querbruchplättchen von Basalstrahlen, an welchen stets, wie in Fig. 40, *a*, wohl kleine Gasbläschen, aber nie ein centrales Loch oder ein scharf begrenztes axiales Gebilde zu sehen ist. Bei den kleinen, ungeschichteten Nadeln ist der sogenannte Centralfaden wohl in folgender Weise zu erklären. Die Axe der Nadel besteht aus einer durch Glühen, sowie durch Säuren und Laugen etwas leichter angreifbaren, also anders zusammengesetzten Substanz als die peripheren Theile, doch geht diese axiale Substanz ohne scharfe Grenze in die widerstandsfähigere der Peripherie über. Insofern diese axiale Substanz auch noch merklich von der übrigen durch ihr Lichtbrechungsvermögen sich unterscheidet, ergibt sich die Möglichkeit, einen Centralfaden an der intacten Nadel zu sehen; ist dies aber, wie gewöhnlich, nicht der Fall, so ist kein Centralfaden bemerkbar.

Beim Ätzen mit Säuren und mit Laugen bildet sich häufig von der Spitze der Nadel herein, ähnlich wie dies in Fig. 43 angedeutet ist, ein mehr weniger weit eindringender centraler Hohlraum, ein Beweis, dass eben im Centrum der Nadel ein weniger festes Material ist, als an der Peripherie. Noch schöner sieht man dies beim Ätzen eines Querschnittes vom Basalstrahl

der grossen Dreistrahler von *Leucaltis* mit Essigsäure. Jedesmal entsteht im Centrum ein Loch, ehe die Peripherie gelöst ist. Beim Glühen beginnt die Zersetzung ebenfalls zuerst in der weniger dichten Substanz in der Axe der Nadel, wesshalb bei mässigem Glühen der Centrifaden stets sehr deutlich wird. Bei stärkerem Glühen bilden sich im Centrifaden zuerst Gasbläschen (vergl. Fig. 41 und 39), aber bei fortgesetztem Glühen breitet sich der Vorgang von innen nach aussen fortschreitend über die ganze Nadelsubstanz aus; ein Beweis, dass nur ein gradueller Unterschied zwischen Mitte und Peripherie existiren kann, nicht aber ein scharfer, qualitativer Gegensatz. Dem entsprechend verschwindet auch der Centrifaden später, wenn einmal die Gasblasen in der ganzen Dicke der Nadel auftreten, gänzlich. An ganzen Nadeln ist das freilich nicht mehr zu constatiren, weil sie zu undurchsichtig werden; aber ganz scharf sieht man dies an den reinen, äusserst dünnen Querbrüchen (Fig. 39, *b*, Fig. 40, *a*).

Höchst merkwürdig ist das Verhalten des sogenannten Centrifadens bei den kolossalen geschichteten Nadeln, wo er oft schon an der unversehrten Nadel nebst der Schichtung sehr schwach sichtbar ist. Bei mässigem Glühen oder nach Kochen in Paraffin erscheint der Centrifaden bald als eine braune, bald als eine weisse Linie in durchfallendem Lichte (Fig. 46, 47, 50 *b*, 51, 53 braun, Fig. 50 *a*, Fig. 52 weiss). Den Aufschluss über dieses sonderbare Verhalten erhält man durch Untersuchung von Querschnitten, respective auch reinen Querbrüchen geglühter Nadeln. Das complicirteste Verhalten zeigten Querbruchplättchen vom Basalstrahle von *Leucaltis solida*. Man sieht an einem solchen Querbrüche ein zierliches Kreuz, bestehend aus vier braun gefärbten Abtheilungen, zwischen welchen vier helle, weiss erscheinende Abtheilungen eingeschoben sind (Fig. 48, *a*). Betrachtet man dieses Bild bei auffallendem Lichte, so erscheinen nun die früher braun gefärbten Arme bläulichweiss, die früher weiss erscheinenden Arme aber fast in der dunklen Farbe des Gesichtsfeldes (Fig. 48, *b*). Die braunen (respectively im auffallenden Lichte bläulich-weissen) Kreuzarme reichen von der Peripherie bis zum Centrum, sie entsprechen der theilweise durch das Glühen zersetzten Substanz, die hellen, im auffallenden Lichte dunklen Arme, welche offenbar durch das Glühen noch kaum veränderte Substanz sind, reichen

nicht ganz bis zum Centrum. Untersucht man den Querbruch im polarisirten Licht, so erkennt man, dass der optische Hauptschnitt einem Durchmesser der braunen Substanz parallel ist. Die Winkel, welche den braunen und hellen Abtheilungen angehören, sind sehr schwankend, doch nimmt die gebräunte Substanz stets mehr Raum ein. Sieht man nun einen Basalstrahl in der Längsansicht an, so erscheint ein brauner oder heller Centralfaden, je nachdem man in der Richtung eines braunen oder eines hellen Kreuzesarmes auf den Strahl hinblickt, und wälzt man einen Strahl unter dem Deckglase, etwa in Nelkenöl, um seine Axe, so sieht man den Centralfaden viermal hell und viermal dunkel werden. Braun erscheint der Centralfaden, wenn die Axe des Strahles in den Hauptschnitt fällt (Fig. 47 und 50, *b*), und wenn er um 90° gegen diese Stellung gedreht ist (Fig. 46), im Maximum hell dagegen, wenn die Drehung $\pm 45^\circ$ im Vergleich zu den vorhergehenden Stellungen beträgt. Dabei ändert sich auch im Übrigen die Vertheilung der Braunfärbung in einer dem Querschnittsbilde entsprechenden Weise, indem in jenen Stellungen, in welchen der Centralfaden braun erscheint, an ihn eine stark braune Zone sich anschliesst, die gegen die Peripherie ziemlich plötzlich heller wird (Fig. 50, *b*), während in den Stellungen, in welchen ein weisser Centralfaden erscheint, an denselben zunächst beiderseits lichtbraune Partien, dann tiefbraune und dann wieder lichtbraune Partien sich anschliessen (Fig. 50, *a*).¹

Ein Querschnitt eines Lateralstrahles zeigt von alledem nichts. Er erscheint ziemlich gleichmässig braun, die Mitte aber am tiefsten braun (Fig. 48, *c*). Dementsprechend zeigt auch ein geglühter Lateralstrahl beim Wälzen stets dasselbe Bild und immer einen braunen, aber weniger deutlich hervortretenden Centralfaden.

¹ Die geschilderte Structur des Basalstrahles von *Leucaltis solida* wurde andeutungsweise bereits an nicht geglühten Nadeln erkannt, indem die noch nach dem Glühen weissen (im auffallenden Lichte schwarzen) Kreuzesarme am Querschnitte als stärker glänzende Gebilde hervortreten. Beim Rollen sieht man bei vier Stellungen den sogenannten Centralfaden deutlich — wenn man eben in der Richtung der stark glänzenden Kreuzesarme des Querschnittes auf die Nadel blickt — in den Zwischenstellungen verschwindet aber der sogenannte Centralfaden fast vollständig.

Wieder ein anderes Bild gaben die Querschnitte von kolossalen Stabnadeln von *Leucandra aspera*, an welchen statt der je vier braunen und weissen Segmente nur je zwei vorhanden waren, wie Fig. 54, *a* im durchfallenden, Fig. 54, *b* im auffallenden Lichte darstellt. Die Querschnitte stammen von der darüber stehenden Stabnadel, bei welcher ein heller Centralfaden zu sehen ist. Auch hier fällt der optische Hauptschnitt des Querschnittes annähernd in die Halbirungslinie der braunen Segmente. Bei solchen Nadeln erschien beim Wälzen der Centralfaden zweimal hell und zweimal dunkel. Bei anderen Nadeln, namentlich stark gebräunten, wurde die Erscheinung vermisst, sie verhielten sich wie die Lateralstrahlen von *Leucaltis*. Die besprochenen Erscheinungen sind mit der geäusserten Auffassung des sogenannten Centralfadens sehr wohl vereinbar, sie zeigen aber ausserdem noch, dass nicht nur im Centrum der Nadel, sondern auch in der übrigen Nadelsubstanz eine besondere Vertheilung von leichter und schwerer zersetzbarer Substanz vorhanden sein kann.

Was nun die Schichtung betrifft, so wurde schon bemerkt, dass sie an kleinen Nadeln durchwegs fehlt; nur hie und da glaubte ich an mittelgrossen Nadeln eine undeutliche Spur einer oder der anderen Schichtlinie an geglühten Präparaten zu sehen. Die Abwesenheit der Schichtung glaube ich für kleine Nadeln um so bestimmter behaupten zu dürfen, als beim schwachen Glühen und beim Kochen in Paraffin die Schichtung an den kolossalen Nadeln ungemein deutlich zu Tage tritt, während an den kleinen Nadeln gar nichts davon zu entdecken war. Es bezieht sich das nun zu Besprechende ausschliesslich auf die kolossalen Dreistrahler von *Leucaltis solida* und die kolossalen Stabnadeln von *Leucandra aspera* und *alcicornis*. Zum Studium des Schichtenbaues ist das Erhitzen ein ausgezeichnetes Mittel, doch ist es schwer, den richtigen Hitzegrad beim Behandeln der trockenen Nadeln über freier Flamme genau zu treffen. Bei etwas zu starkem Erhitzen zerspringen die Nadeln und gehen dann leicht verloren. Mit Vortheil kann man sich des siedenden Paraffins bedienen, indem man die Nadeln mit Paraffin in ein kleines, als eine Art Eprouvette hergerichtes Glasröhrchen bringt und nun, indem man das Röhrchen mit einer Tiegelzange

über die offene Flamme hält, einige Minuten kocht. Man wird auf diese Weise durch das verdampfende Paraffin nicht belästigt. Die Untersuchung nimmt man am besten in stark lichtbrechenden Flüssigkeiten vor, für starke Vergrößerungen empfiehlt sich Monobromnaphthalin. Die Schichtung erscheint in Form abwechselnder, hellerer und dunklerer Linien, welche, wie bereits Vosmaer erwähnt, nicht ganz gleichmässig sind. Da und dort ist eine schärfer hervortretende, breitere, dunkle Linie zu bemerken, namentlich an Querschnitten (vergl. Fig. 37, 48 etc.). An einem Querschnitte einer Stabnadel von *Leucandra* wurde die mittlere Dicke zweier Schichten, also einer dunklen und hellen Abtheilung, zusammen mit 1.6μ bestimmt. Davon entfällt der weitaus grössere Antheil (vergl. Fig. 37 und 45) auf die hellen Schichten. Es kann nun die Frage aufgeworfen werden, ob dunkle und helle Abtheilungen als differente Schichten aufzufassen seien, oder ob die dunklen Linien nur die Folge einer periodischen Ablagerung der Substanz, nur feine Spalten darstellen zwischen den einander innig adhären den hellen Schichten. Dafür spricht die gewöhnlich ausserordentliche Feinheit der dunklen Linien und die Thatsache, dass stellenweise bei Ätzung mit Säuren und Alkalien, sowie beim Glühen eine schuppige Abblätterung der Schichten erfolgt. Beim Ätzen in Kalilauge kann man mitunter eine deutliche Abblätterung erkennen, wie sie in Fig. 45 dargestellt ist, wo die rechts dargestellte helle Fläche auf eine relativ grosse Strecke durch — einer Schichte parallele — Abblätterung entstanden ist, wie das rechts oben noch anhaftende, dunkel gezeichnete Substanzstück erkennen lässt. Dass dieses Moment für die Schichtung von Bedeutung ist, lässt sich nicht in Abrede stellen, doch reicht es für sich allein nicht zur Erklärung aller Erscheinungen aus. Mit der Krystallstructur als solcher hat die Schichtung nichts zu thun, da sie ohne jeden Zusammenhang mit bestimmten krystallographischen Richtungen oder Flächen und ausschliesslich nur concentrisch zu den morphologischen Axen der Strahlen angeordnet ist.

Die Erscheinungen beim Erhitzen und Ätzen weisen darauf hin, dass die einzelnen Schichten nicht durch und durch homogen sind, sondern dass in denselben ein ähnlicher Unterschied in Bezug auf die Zusammensetzung sich geltend macht, wie zwischen

Centralfaden und Peripherie einer ungeschichteten Nadel. Die beim Glühen und Ätzen auftretenden Linien entsprechen wahrscheinlich einer relativ leichter zersetzbaren Substanz, die ohne scharfe Grenze in dichte helle, aus relativ reinerem Kalkspathe bestehende Substanz übergeht. Da aber die Schichtung offenbar durch eine periodische Ablagerung zu Stande kommt, so muss beim Beginne der Bildung einer neuen Schicht jedesmal das relativ unreinste Material direct auf das relativ reinste der zuletzt abgelagerten Schicht zu liegen kommen, wodurch scharfe Schichtengrenzen entstehen müssen. Für die geschilderte Auffassung sprechen insbesondere auch die Ätzerfolge mit Essigsäure an den Querschnitten der Basalstrahlen von *Leucaltis* (S. 107) und die bereits erwähnte Thatsache, dass die dunklen Abtheilungen der Schichten von ungleicher Breite sein können, was nicht möglich wäre, wenn die dunklen Abtheilungen nur Grenzlinien darstellen würden. Die Structur des Centralfadens und der Schichten hätte nach dem Gesagten viel Analoges; in der That werden auch Schichtung und Centralfaden unter denselben Umständen deutlich.

Die successive Ablagerung der Schichten scheint insbesondere dadurch deutlich markirt, dass dieselben gegen die Spitzen der Nadeln hin, kappenförmig übereinander greifend gegen den Centralfaden auslaufen. Sehr auffallend sind die Schichten der kolossalen Stabnadeln, die stets nur nach der einen Seite hin gegen den Centralfaden kappenartig übereinander greifen, während sie nach der entgegengesetzten Seite frei an der Oberfläche auslaufen (Fig. 51, 52, 53). Es scheint dies keine andere Deutung zuzulassen, als dass die Nadel nur einseitig fortwächst. In dem Ende der Nadel, welches den ältesten Theil darstellt, kann man nach dem Glühen stets um den Axenfaden einen hellen, nicht gebräunten, ungeschichteten Theil erkennen, der sich wie eine kleine oder winzige Stabnadel verhält, und die Spitze dieses ältesten Theiles zeigt überhaupt keine Schichtung. Ein Stück Stabnadel mit eingeschlossenem ungeschichtetem Theile ist in Fig. 38 für sich dargestellt. Bemerkenswerth ist bei gekrümmten kolossalen Nadeln, dass die optische Axe auf dem ältesten Theile der Nadel nahezu senkrecht steht, oder wenigstens mit diesem keine Winkel bildet, welche viel unter 80° herab-

gehen; während die Neigung der optischen Axe gegen die entgegengesetzte Spitze, welche den jüngsten Theil der Nadel darstellt, immer mehr zunehmen muss. (Vergl. Fig. 51 und 53.)

Wenn die gegebene Darstellung der Schichtung richtig ist, so ist es selbstverständlich, dass an den Spitzen der Nadeln, an welchen dieselben fortwachsen (also an den Dreistrahler alle drei Nadelspitzen, an den Stabnadeln die eine Nadelspitze) die kalkärmere Substanz des Centralfadens bis zum Abschlusse des Wachsthumes frei auslaufen muss, weil sich die kappenartigen Enden der Schichten an den Centralfaden anlegen; erst bei Abschluss des Wachsthums kann vielleicht der Centralfaden selbst noch von Schichtenenden überwölbt werden.

Was nun endlich die scheinbaren Fortsetzungen der Centralfäden über den Mittelpunkt der Dreistrahler und Vierstrahler bis in die Winkel an den Strahlenwurzeln anlangt, so sind dieselben wohl ebenfalls auf eine ähnliche Beschaffenheit der Nadelsubstanz an diesen Knickungsstellen, wie in den Centralfäden zurückzuführen, ohne dass jedoch eine strangartige, sondern vielmehr eine scheidewandartige Bildung vorhanden ist. Es sind dies, wenn man sich so ausdrücken darf, eine Art Löthstellen, die insbesondere den Basalstrahl von den Lateralstrahlen ziemlich scharf absetzen (vergl. Fig. 47).

Ausser der Schichtung und den Centralfäden scheint es keine histologische Structur in den Kalknadeln zu geben; die Zusammensetzung aus kleinen Individuen, wie sie die Ätzung mit Alkalien und mit Säuren zu ergeben scheint, lässt sich mit mehr Recht, da es sich um eine krystallographisch orientirte Erscheinung handelt, in den Rahmen der reinen Krystalstructure unterbringen. Centralfaden und Schichtung zeigen aber, dass der Krystall, welchen jede einzelne Nadel darstellt, nicht absolut homogen sein kann; dass er vielmehr an bestimmten Stellen eine andere chemische Zusammensetzung haben muss als an anderen, ohne dass jedoch hiedurch die Einheitlichkeit des Krystalles gestört würde.

VIII. Zusammenfassung.

Die Untersuchungen, welche in den vorhergehenden Capiteln niedergelegt sind, haben zu ganz anderen Resultaten geführt, als

beim Beginne derselben erwartet wurden. Der anfängliche Gedanke war der, dass den, in ihrer Form ganz das Gepräge einer specifischen, organisirten Bildung tragenden Nadeln der Kalkschwämme, eine organische Grundlage zukommen müsse, welche trotz der massenhaften Beimischung von kohlen saurem Kalke das Bestimmende für den Aufbau der Nadel — nach Art einer Cuticularbildung sein würde. Es schien das Wahrscheinlichste, dass alle Nadeln geschichtet seien, und dass die Richtung senkrecht auf die Schichtung überall gleichwerthig sei, etwa in der Weise, dass der beigemischte krystallinische Kalkspath in zahllosen kleinen Prismen, welche radiär zur morphologischen Axe der Nadeln gestellt sind, abgelagert wäre. Statt dessen hat sich ergeben, dass jede Nadel wie ein einziges Krystallindividuum sich verhält, und dass eine organische Substanz in derselben nicht nachgewiesen werden kann. Es hat sich aber weiter ergeben, dass die Nadel keineswegs aus reinem kohlen sauren Kalke in Form des Kalkspathes bestehe, obwohl sie demselben in krystallographischer Beziehung sehr ähnlich ist, sondern dass der Nadelsubstanz auch beträchtliche Mengen von anderen unorganischen Bestandtheilen, unter welchen Natrium, Magnesium und Schwefelsäure nachgewiesen sind, und wahrscheinlich auch Wasser, beigemischt seien. Diese Beimischungen sind es, welche den Kalkschwammnadeln jene Eigenschaften verleihen, welche sie vom Kalkspathe unterscheiden, so: die unvollkommenere Spaltbarkeit, die Löslichkeit in Alkalien, das Decrepitiren und das Auftreten von Gasbläschen im Innern der Substanz beim Erhitzen, endlich das geringere specifische Gewicht. Dass die Beimischungen etwa als isomorphe Salze — im Mitscherlich'schen Sinne — den Kalkspath theilweise substituiren, ist schon aus dem Grunde nicht anzunehmen, weil man sich kein schwefelsaures Salz denken kann, dessen Molekül aus der gleichen Anzahl Atome bestünde, wie der kohlen saure Kalk. Viel näher liegend scheint es, die Kalkschwammnadeln als Mischkrystalle zu betrachten und sich vorzustellen, dass die beigemischten Salze, ohne irgend welche durch Isomorphie gegebene Beziehungen desshalb in den molecularen Aufbau des Kalkspathes hineingezogen werden, weil sie mit diesem gleich-

zeitig ausgeschieden werden. Wie insbesondere Brügelmann¹ betont, ist aber gerade gleichzeitige Ausscheidung zweier Salze aus einer Lösung oder Schmelze etc. Bedingung für die Entstehung eines Mischkrystalles. Es würde ferner unter dieser Annahme die Existenz des Centralfadens und der gelegentlich vorkommenden Schichtung und der damit zusammenhängenden histologischen Strukturverhältnisse darin eine Erklärung finden, dass das Mischungsverhältniss der von dem Bildungsplasma ausgeschiedenen Salze ein nach Zeit und Ort wechselndes ist, und zwar im Allgemeinen so, dass der zuerst ausgeschiedene Kalkspath am meisten Beimengungen enthält (Centralfaden), und dass beim Fortwachsen der Nadelspitzen zunächst stets eine dem Centralfaden entsprechende Substanz sich bildet. Ganz reiner Kalkspath scheint nirgends abgeschieden zu werden, doch dürften die Oberflächen der ausgebildeten, ungeschichteten Nadeln, sowie die äusseren Partien der einzelnen Schichten kolossaler Nadeln aus kohlensaurem Kalke bestehen, der nur minimale Beimengungen enthält.

Obwohl die Nadeln der Kalkschwämme in ihrem inneren Baue ganz zweifellos die Eigenschaften einer Krystallsubstanz, die dem rhomboëdrischen Systeme angehört, erkennen lassen, so würde man doch durch die einseitige Betonung dieser Thatsache das Wesen dieser Bildungen nicht richtig definiren. Man muss Gewicht darauf legen, dass neben der Krystallstruktur noch eine eigenthümliche Vertheilung verschiedener Bestandtheile, wie der Centralfaden, die eigenthümliche Kreuzstruktur an den Basalstrahlen der Dreistrahler von *Leucaltis*, die davon abweichende Structure der kolossalen Stabnadeln von *Leucandra* etc. beweisen, vorhanden sein muss, welche bei Krystallen, die sich unabhängig von lebender Substanz bilden, nicht vorkommt, ganz abgesehen von der specifischen äusseren Begrenzung der Nadeln, welche zunächst den Gedanken an einen Krystall ganz unzulässig erscheinen lassen könnte.

Diess Alles berücksichtigend wäre man vielleicht berechtigt, die Nadeln als organisirte Krystalle zu bezeichnen, wenn es nicht

¹ Berichte der deutsch. chem. Ges. in Berlin, Bd. XV, S. 1883, sowie eine Reihe späterer Mittheilungen, deren letzte (4) „Über Krystallisation und physikalische Bindung“, Leipzig 1886, erschienen ist.

üblich geworden wäre, die — denselben offenbar fehlende — Quellungsfähigkeit als ein wesentliches Kriterium einer organisierten Substanz zu betrachten. Unbedenklich kann man diesen Structuren aber den von Haeckel gebrauchten Namen Biokrystalle lassen, obwohl in denselben eine organische Substanz nicht nachweisbar ist. Eine kurze Charakterisirung dieser Biokrystalle liesse sich vielleicht mit folgenden Worten geben:

Die Nadeln der Kalkschwämme sind hauptsächlich aus Kalkspath bestehende, keine organische Substanz enthaltende Individuen von Mischkrystallen, deren äussere Form — ohne Begrenzung durch wahre Krystallflächen — von der specifischen Thätigkeit eines lebenden Organismus bedingt ist und deren innere Structur, obwohl vollständig krystallinisch, durch eine eigenthümliche Vertheilung der Gemengtheile mit der äusseren Form in Beziehung steht.

Indem diese Definition ausdrücklich besagt, dass die äussere Form mit der krystallinischen Structur als solcher nichts zu thun hat, so ist es vielleicht noch am Platze, der Beziehungen zu gedenken, welche Haeckel zwischen den unter Winkeln von 120° zusammentretenden Strahlen eines regulären Dreistrahlers und den Axen des hexagonalen Krystallsystemes geahnt hat.

Krystallaxen sind physikalisch ausgezeichnete Richtungen eines Krystalles, welche parallel zu sich selbst verschoben, durch die ganze Substanz des Krystalles hindurch denselben physikalischen Werth haben, die aber nicht als wirkliche morphologische Axen auftreten. Es können daher die morphologischen Axen eines Dreistrahlers unmöglich einer Krystallaxe verglichen werden. Wohl ist aber in der häufigen Winkelstellung 120° , insoferne eine Beziehung zur rhomboëdrischen Krystallstructur, als die Zonen zwischen $\infty P2$ und $\pm mR$ an den Oberflächen der Nadeln bevorzugt sind. Aber es ist dies eben kein durchgreifendes Gesetz, wie im III. Abschnitte bereits ausführlich erörtert wurde.

IX. Bemerkungen über Kalkskelete bei Korallinen, Foraminiferen, Anthozoën und Echinodermen.

Nach Abschluss dieser Untersuchungen hatte es ein grosses Interesse, unter den im Thier- und Pflanzenreiche so häufigen

Skelettbildungen aus kohlensaurem Kalke Umschau zu halten, ob etwa die bei den Kalkschwämmen vorkommenden Stucturverhältnisse auch anderwärts sich finden. Eine eingehende Untersuchung dieser Art war nicht geplant, es wurden nur einige, vorzüglich optische Beobachtungen, gewissermassen Stichproben vorgenommen, deren Ergebnisse hier kurz aufgeführt werden sollen.

I. Korallinen und Lithothamnien.

Aus der Gruppe der Kalkalgen wurden *Corallina officinalis* und *Lithophyllum cristatum* (beide aus der Adria) untersucht, und zwar an mit dem Messer angefertigten Schnitten. Die Zellwände dieser Algen sind sehr stark negativ doppelbrechend und zwar so, dass die optische Axe senkrecht steht auf der Oberfläche der Membran. Hier ist also eine Art der Kalkeinlagerung wirklich repräsentirt, wie ich sie bei den Kalkschwämmen anfänglich fälschlich vermuthet hatte. Der kohlensaure Kalk fügt sich einfach in das gewöhnliche Schema des Baues der Zellmembranen ein. Axenkreuze etc. konnten begreiflicher Weise ebenso wenig beobachtet werden, als dies sonst bei Gewebezellen mit radiär orientirten optischen Axen möglich ist. Von den Kalkschwammskeleten unterscheiden sich die Kalkalgen auffällig durch die massenhafte organische Substanz, welche beim Lösen des Kalkes zurückbleibt.

II. Foraminiferen.

Es wurde nur ein von Prof. F. E. Schulze mir geschenktes Präparat vom Strand bei Porto bello untersucht, welches zahlreiche Exemplare von *Polystomella striato-punctata* und *Rotalia Beccarii* enthielt. Die Kammern dieser beiden Arten verhielten sich wesentlich verschieden. Bei *Polystomella* zeigte jede Kammer bei der Untersuchung zwischen gekreuzten Nicols und mit eingelegter Gypsplatte im parallelen Lichte in der Hauptsache ein sogenanntes negatives Kreuz, woraus zu folgern ist, dass analog, wie bei den Korallinen, optisch negativ einaxige Krystallindividuen senkrecht zur Oberfläche der Schale orientirt sind. *Rotalia* dagegen zeigte eine fleckige unregelmässige Erhellung des Gesichtsfeldes bei jeder Stellung und bei Untersuchung im

convergenten Lichte keine Spur eines Axenkreuzes. Es ist daher bei dieser Art eine ganz unregelmässige Depolarisation vorhanden und daher eine nach allen möglichen Richtungen sich durchsetzende Anordnung von krystallinischen Individuen anzunehmen. Doch scheinen nicht alle *Rotalia*-Arten sich ebenso zu verhalten. Nach Valentin¹ ergab eine nicht näher bestimmte fossile *Rotalia*-Art Erscheinungen, welche mit den oben von *Polystomella* mitgetheilten übereinstimmen.

III. Coelenteraten.

Aus diesem Thierkreise wurden eine Reihe von fertigen Präparaten untersucht, welche mir Herr Dr. Arthur v. Heider freundlichst zur Verfügung stellte, und welche theils von ihm selbst, theils von Möller angefertigt sind.

A. Anthozoën.

Aus der Ordnung der *Zoantharia* wurden Schriffe untersucht von: 1. *Madrepora pocillifera* und einer zweiten unbestimmten *Madrepora*; 2. *Seriatopora hystriæ*; 3. *Pocillopora Humprichii*; 4. *Balanophyllia* spec.; 5. *Cladocora astraearia*; 6. *Galaxea* spec.; 7. *Hydrophora rigida*.

Die Skelete aller dieser Korallen zeigen eine sehr complicirte Faserstructur, deren Elemente einigermaßen an Schmelzprismen erinnern. Zur Orientirung verweise ich auf die Abbildungen, welche A. v. Heider von *Cladocora* gegeben hat.² Entsprechend der deutlich ausgeprägten histologischen Faser- oder Nadelstructur wirken die Schriffe im Ganzen unregelmässig depolarisirend, nirgends wie einheitliche Krystalle. Bei der Untersuchung mit einem Nicol lässt sich aber an günstigen Stellen beobachten, dass die einzelnen Fasern oder Nadeln sehr stark doppelbrechend sind und zwar so, dass der stärker brechbare Strahl parallel der Längsaxe der Fasern, der schwächer brechbare aber darauf senkrecht polarisirt ist. Querschriffe von Nadelgruppen sind bei jeder Stellung stark lichtbrechend.

Daraus ist zu schliesen, dass die einzelnen Nadeln oder Fasern ähnlich wie Kalkspathprismen sich verhalten, nämlich

¹ Untersuchung der etc. Gewebe in polarisirtem Lichte. Leipzig 1861, S. 207.

² Diese Ber. Bd. LXXXIV (1881), S. 634, Taf. II, Fig. 14 und 15.

stark negativ einaxig sind, und dass die optische Axe in der Längsrichtung dahin geht.

Aus der Ordnung der *Alcyonaria* wurden isolirte Kalkkörper untersucht von: 1. *Muricea fungifera*; 2. *Plexaura Antipathes*; 3. *Melithaea ochracea*. Diese Kalkkörper verhalten sich nicht durchwegs gleich. Bei allen drei Arten finden sich zackige, höckerige Sklerodermiten, welche bei *Melitheu* roth und gelb pigmentirt erscheinen, bei den beiden anderen Arten aber farblos sind. Bei *Muricea* und *Plexaura* haben diese Kalkkörner ein faserig-streifiges Ansehen. Sie erweisen sich zwischen gekreuzten Nicols nicht als einheitliche Krystallkörper, doch zeigt die Untersuchung mit einem Nicol, dass der stärker brechbare Strahl im Allgemeinen nach der Faserung polarisirt ist, welche nach der Längsrichtung der Kalkkörper der Hauptsache nach orientirt ist und gegen die Zacken seitlich abbiegt oder in complicirter Weise sich verflucht.

Bei *Melithaea ochracea* kommen aber neben den farbigen, zackigen Sklerodermiten noch kurze, einfach stabförmige Kalkkörper vor, welche wie einfache Krystalle sich verhalten und zwischen gekreuzten Nicols absolut dunkel erscheinen, wenn ihre Längsaxe einer Polarisationssebene parallel ist, während sie in den Zwischenstellungen sehr hell erscheinen.

Bei Untersuchung mit einem Nicol ergibt sich, dass der stärker brechbare Strahl parallel der Längsaxe polarisirt ist. Daher ist, wenn es — wie wahrscheinlich — um Kalkspath sich handelt, die optische Axe in der Längsrichtung. Doch konnte das Axenkreuz im convergenten Licht nicht untersucht werden, weil alle Stäbchen im Profil sich darboten. Dies ist der einzige Fall von wahrscheinlich einheitlicher Krystallstructur, der unter den Skelettheilen der untersuchten Anthozoën zur Beobachtung kam.

B. Hydromedusen.

Von Hydrokorallinen wurde nur ein Schliff von einer *Distichopora* spec. untersucht. Er verhielt sich ganz ähnlich wie die echten Korallen.

IV. Echinodermen.

Während bei den Coelenteraten Skelettheile, welche in ihrer inneren Structur mit jener der Nadeln der Kalkschwämme Äh-

lichkeit haben, zu den Seltenheiten zu gehören scheinen, kommen solche in grösster Verbreitung bei den Echinodermen vor. Dies muss um so mehr überraschen, als die äussere Form und der meist netzartige Bau der Kalkablagerungen, insbesondere bei den Crinoiden, Echinoiden und Asteroiden mit den Nadeln der Kalkschwämme gar keine Ähnlichkeit hat. Eher erinnern gewisse Kalkkörper der Holothurien, so die Anker der Synapten und mannigfaltige Stäbchenbildungen an Dreistrahler und Stabnadeln.

Zur Untersuchung dienten theils von Dr. A. Penecke und von mir selbst angefertigte Präparate, theils zwei bewundernswürthe Probelplatten von Möller in Wedel, welche dem hiesigen zoologischen Institute gehören, und von welchen die eine die Kalkkörper von 34 Arten von Holothurioiden in schön geordneten Reihen darbietet, die andere aber Querschliffe der Hautstacheln von 12 verschiedenen Echinoiden. Von der Platte mit Stachelquerschliffen stand mir noch ein zweites, im Besitze Dr. A. v. Heider's befindliches Exemplar zur Verfügung.

A. Holothurioiden. Die durchlöcherten, ellipsoidischen Plättchen aus der Haut von *Holothuria tubulosa* legen sich beim Präpariren in einem Tropfen Dammarharz meist so, dass eine abgeplattete Seite nach oben liegt. In dieser Stellung erscheinen die Plättchen im parallelen Lichte, bei gekreuzten Nicols bei jeder Stellung ziemlich gleichmässig hell und bei Untersuchung mit convergentem Lichte mit System E. Zeiss zeigen sie ein schönes deutliches Axenkreuz, welches sich ganz wie jenes bei den Kalkschwämmen verhält. Es liegt meist etwas excentrisch, zum Zeichen, dass die optische Axe nicht genau senkrecht steht. Kalkkörper von der schmalen Seite gesehen erscheinen zwischen gekreuzten Nicols im parallelen Licht viermal hell und viermal dunkel. Sie verhalten sich also wie einheitliche Krystallkörper.

Unter den Holothurien der Möller'schen Platte fanden sich zahlreiche Kalkkörper, welche schöne Axenkreuze ergeben, sowohl unter den Aspidochiroten als den Dendrochiroten; ja es war sogar eine Ausnahme, wenn nicht der eine oder der andere Kalkkörper einer Art ein Axenkreuz zeigte. Daneben fanden sich auch zahlreiche Skelettheile, bei welchen die optische Axe fast horizontal lag und die daher kein Axenbild geben konnten, dafür aber zwischen gekreuzten Nicols im parallelen Lichte je nach der

Stellung vollständig dunkel oder sehr hell erschienen. Von den Synaptiden der Platte sind besonders die Anker hervorzuheben. Alle Anker zeigen ein sehr schönes Axenkreuz und ausserdem eine Reihe isochromatischer Ringsysteme, deren Zahl bei dicken Ankern (*Synapta Bessellii*) bis zu sieben ansteigen kann. Die optische Axe steht also nahezu senkrecht auf der Ebene, welche durch die Spitzen der drei Strahlen gelegt wird, verhält sich also trotz der nur seitlichen Symmetrie der Anker, wie bei einem perregulären Dreistrahler eines Kalkschwammes.

In dem grossen Anker von *Synapta Bessellii* war ein Gebilde zu sehen, das ganz wie der Centralfaden einer Kalkschwammnadel aussah. Sehr schön kann man an den Ankern die Thatsache constatiren, dass stark doppelbrechende Körper in der Aufsicht auf die optische Axe zwischen gekreuzten Nicols im sogenannten parallelen Lichte bei jeder Stellung hell erscheinen, wenn die Dicke etwas bedeutender ist. Die Anker von *Synapta Bessellii* sind bei jeder Stellung hellglänzend, die kleinen Anker von *S. similis*, *glabra* etc. grau oder grauschwarz. Nicht alle Anker des Möller'schen Präparates liegen genau gleich, bei einigen steht die optische Axe ziemlich schief.

Wie die Anker, verhalten sich auch die Stützplatten derselben und die Räder von *Myriotrochus Rinkii* und *Chirodota panaënsis* und *variabilis*. Optische Axe senkrecht auf der Fläche. Axenkreuz im convergenten Lichte.

Weniger geeignet zur Untersuchung erwiesen sich die auf der Möller'schen Platte befindlichen sehr kleinen Kalkkörperchen der Molpadiden. Sie liegen zu nahe beisammen, als dass sie für sich isolirt ins Gesichtsfeld gebracht werden könnten. Wenn wir von diesen Gebilden absehen, so lässt sich für die übrigen Kalkkörper der Holothurien der Möller'schen Platte allgemein sagen, dass sie sich wie einseitliche Krystallindividuen, ganz wie die Kalkschwammnadeln, verhalten.

B. Echinoiden. Die zierlichen Querschliffe der Echinoidenstacheln verhalten sich, trotz der ausserordentlich mannigfaltigen Anordnung ihrer Kalkbalken und Gitter, im convergenten Lichte, durchwegs wie parallel zur Basis geschliffene Kalkspathplatten. Man kann den Querschliff der grösseren Stacheln hin und her durch das Gesichtsfeld schieben, das Axenkreuz bleibt stehen,

wie bei einer Krystallplatte. Nur ein Stachelquerschliiff (*Boletia maculata* Lam.) machte insoferne eine Ausnahme, als um eine centrale, gitterartig angeordnete Masse, welche sich wie die anderen Querschlifflie verhielt, ringsum eine Kalkmasse angelagert ist, welche, wie es scheint, so orientirt ist, dass die optischen Axen in radiär gestellten Verticalebenen schief gegen die centrale Masse verlaufen. Die Axenkreuze der Echinoidenstacheln werden beim Verschieben der Schlifflie mehr weniger deutlich, je nachdem gerade eine Lücke oder ein Balken im Centrum des Gesichtsfeldes steht, ausserdem wird das Kreuz im Allgemeinen weniger deutlich, wenn das Kalkgitter sehr fein und engmaschig ist. Selbstverständlich sind die Querschlifflie der Möller'schen Platte nicht alle genau senkrecht auf die Längsaxe, beziehungsweise optische Axe geführt. Es sind daher die Axenkreuze etwas, doch meist wenig excentrisch. Isochromatische Ringe sind ebenfalls zu sehen, ihre Zahl hängt von der Dicke des Schlifflies ab und schwankte zwischen 3—5. Nach diesen Erfahrungen versuchte ich nun auch an Schnitten und Schlifflien anderer Skeletstücke, ob auch diese eine einheitliche Krystallstructur aufweisen. In der That waren die optischen Axen an Schnitten durch eine Zahnpyramide von *Strongylocentrotus lividus* durchwegs parallel orientirt und die Richtung der optischen Axe steht ungefähr senkrecht zur äusseren Oberfläche, denn an Schnitten, parallel zu dieser äusseren Fläche geführt, konnte ein fast centrales Axenkreuz gesehen werden. Die Zähne selbst haben aber eine andere, complicirtere Structur, die jedoch nicht genau untersucht wurde.

Schnitte und Schlifflie der Interambulacralplatten von *Psammechinus microtuberculatus* Blainv. ergaben ebenfalls eine durchwegs parallele Orientirung der optischen Axen in den Kalknetzen; ein Schlifflie durch eine Ambulacralplatte zeigte dagegen eine Zusammensetzung derselben aus zwei hintereinander liegenden Theilen, deren Axenrichtungen etwas divergirten. Die optische Axe war in den Ambulacral- und Interambulacralplatten meridional in den Radien beziehungsweise Interradien orientirt.

C. Crinoiden. Aus dieser Classe lagen mir eine Reihe schöner Längs- und Querschlifflie vor, welche Herr Dr. A. Penecke aus Objecten, die von der Challenger Expedition stammen, angefertigt

hat und mir freundlichst zur Untersuchung überliess. An Querschliffen der Stielglieder von *Pentacrinus maresianus*, *Wyville-Thomsoni*, *Metacrinus angulatus* und *Wyvillii* liess sich überall das Axenkreuz im convergenten Lichte nachweisen, wie an parallel zur Basis geschliffenen Kalkspathplatten. Das Kreuz war nur häufig etwas verwaschen theils wegen der namentlich in den Sternen sehr feinen Balkengitter, theils weil da und dort noch abgelöste Schliffsplitter den Präparaten auflagen. Im Grossen und Ganzen aber waren die Erscheinungen dieselben wie an Echinoidenstacheln. Die Längsschliffe der Stielglieder der genannten Crinoiden ergaben im parallelen Lichte vollständig einheitliche Axenrichtung parallel der morphologischen Axe. Am Längsschliffe des Stielgliedes von *Metacrinus Wyvillii* war ein Seitenast mitgeschliffen; dieser zeigte die optische Axenrichtung, analog wie der Stamm, parallel der morphologischen Längsaxe.

D. Asteroiden. Die Stacheln von *Asteracanthion rubens* und *Ophiothrix fragilis* verhalten sich, wie jene der Echinoiden; wie einheitliche Krystalle, deren optische Axe der Längsaxe des Stachels parallel ist. Die Stacheln von *Ophiothrix fragilis* haben ziemlich massive Kalkbalken und sind abgeplattet. Stacheln eines kleinen Exemplares wurden desshalb zu Ätzversuchen benützt. Es wurden mit Ameisensäure sehr deutliche Ätzfiguren erhalten, welche der flachen Seite des Stachels angehörig, die Form von schief liegenden irregulären Dreiecken hatten, zum Theile auch hemirhombische Formen. An einem mit Essigsäure geätzten Querschnitt entstanden sehr zierliche, parallel orientirte, regulär dreieckige Ätzfiguren, die so gestellt waren, dass eine Dreiecksseite senkrecht stand auf dem längeren Durchmesser des Querschnittes, woraus zu folgern ist, dass die diesem Durchmesser entsprechende durch die Längsaxe des Strahles gelegte Ebene, die also der flachen Seite des Stachels entspricht, eine Deutero-prismenfläche sein muss. Damit stimmt die Form der dort beobachteten Ätzfiguren, die natürlich der äusserst unebenen Oberfläche des Stachels entsprechend, ziemlich mannigfaltig sind, recht gut überein.

Beim Ätzen trat am Querschnitt zugleich eine deutliche, zum Theil wellige Schichtung zu Tage.

Beim Ätzen mit Ameisensäure gelang es, einzelne Stachelstücke ganz frei aus dem umhüllenden Gewebe heraus zu bekommen. Diese lösten sich dann ohne Rückstand auf. Löst man Stacheln im Ganzen, oder Kalknetze anderer Skelettheile auf, so bleibt eine organische Grundlage zurück, die ganz die Form der verschwundenen Kalkbalken hat. Die obige Beobachtung ergibt aber, dass dieses Gewebe dem Kalkgerüste nur oberflächlich innig anliegt und sich zu demselben so verhält, wie die Spiculascheiden der Schwammnadeln zu diesen. Wahrscheinlich ist allgemein auch bei den Echinodermen ebenso wenig eine organische Substanz dem Kalke beigemischt, als bei den Kalkschwämmen. Doch kann ich dies, bei den nicht sehr umfangreichen Untersuchungen, nur mit Reserve aussprechen. Beim Glühen verhalten sich die Stacheln und Kalknetze von Echinodermen ganz wie Schwammnadeln; sie bräunen sich, es treten Gasbläschen im Innern auf und schliesslich zerstäuben sie in feine Plättchen.

Dass beim Lösen der Echinodermenskelette mit verdünnten Säuren keine organische Grundlage sichtbar wird, hat schon Carpenter¹ angegeben; trotzdem hält er es, auffallender Weise, für wahrscheinlich, dass die Netzbälkchen durch Verkalkung eines fibro-areolären Gewebes, ähnlich wie die Knochen, entstehen.

Besonders verdient noch hervorgehoben zu werden, dass die Kalknetze der Echinodermen ausgezeichnete Objecte für die Untersuchung mit einem Nicol sind. Bringt man einen annähernd parallel zur optischen Axe geführten Schnitt, etwa meridional durch eine Interambulacralplatte oder einen kleinen Stachel von *Asteracanthion* in Nelkenöl, so erscheinen bei einer Stellung die Kalkbalken ganz grau und dunkel, in der darauf senkrechten aber die dazwischen befindlichen Lücken. Die Erscheinung ist viel eclatanter als die analoge bei den Nadeln der Kalkschwämme, weil die zahlreichen Lücken der Kalknetze die Unterschiede des Brechungsvermögens begreiflicher Weise sehr gut hervortreten lassen. Es empfiehlt sich daher vor Allem, solche Präparate zu besichtigen.

Die optischen Untersuchungen weisen jedenfalls bei einer grossen Zahl von Skeletstücken der Echinodermen darauf hin,

¹ Todd's Cyclopaed. of anat. and phys. Vol. IV, part. I, S. 567.

dass dieselben aus einheitlichen Krystallindividuen bestehen, und für die Stacheln von *Ophiothrix fragilis* ist dies auch durch die Ätzerfolge positiv sicher gestellt, während für andere Skelettheile immerhin auch die Möglichkeit besteht, dass sie sich aus polysynthetischen Zwillingsbildungen mit paralleler Axenstellung zusammensetzen, worüber die optische Untersuchung allein nicht entscheiden kann. Es muss einigermassen befremden, dass die Krystallstructur der Echinodermenskelete bei den Histologen bisher keine Beachtung fand, namentlich muss es auffallen, dass Valentin¹ dieselbe nicht klar erkannte, obwohl er sowohl Anker von Synapten, als Kalkkörper von Holothurien, sowie Querschliffe von Echinoidenstacheln, welche ihm Carpenter zur Verfügung stellte, im polarisirten Lichte untersuchte. Dagegen ist es eine den Mineralogen und Paläontologen bekannte Thatsache dass fossile und lebende Echinodermen Skelettheile aufweisen, die sich wie Kalkspathkrystalle verhalten. Schon vor 60 Jahren wies Hessel² nach, dass viele fossile Skelettheile der Echinodermen, wie die Stacheln der Echinoiden, jedes Säulen- und Kronenglied eines Crinoiden etc. einem Kalkspathindividuum entspreche, und dass bei den Säulengliedern der Crinoiden und den Stacheln der Cidariten die krystallographische Hauptaxe der morphologischen Längsaxe parallel sei. Im Jahre 1841 wies Haidinger³ den schon von Hessel angenommenen Zusammenhang dieser merkwürdigen Krystallstructur fossiler Echinodermen mit dem Skeletbaue der lebenden Organismen nach, indem er zeigte, dass die charakteristischen Theilungsflächen des Kalkspathes auch an recenten Cidaritenstacheln sich finden. Im Jahre 1864 führte dann Stelzner⁴ den interessanten Nachweis, dass — trotz der anscheinend einheitlichen Krystallstructur — die fossilen Echinodermen noch ganz deutlich die ursprünglichen, netzartig angeordneten Kalkbälkchen mikroskopisch erkennen lassen, dass mithin beim Versteinerungsprocesse der in die Lücken

¹ l. c. S. 205 u. 206.

² Einfluss des organischen Körpers auf den unorganischen. Marburg, 1826.

³ Abhandl. d. k. böhm. Ges. der Wissenschaften, Prag 1841, S. 14.

⁴ Neues Jahrb. f. Mineralogie, Geologie und Palaeontologie. Jahrg. 1864, S. 565.

der ursprünglichen Krystalskelete eingelagerte Kalkspath in paralleler Verwachsung mit diesen krystallisirt. Diese Thatsache zeigt, wie leicht an die Krystalstructure der Biokrystalle sich noch weiter Kalkspath in derselben krystallographischen Orientirung anschliesst, auch wenn er nicht vom Organismus selbst ausgeschieden wird. Dafür spricht auch die jüngst von Sollas¹ mitgetheilte Beobachtung, dass auf die Nadeln von Kalkschwämmen — wenn sie in Wasser liegen, das kohlen sauren Kalk gelöst enthält — eine Incrustation von Kalkspath sich ablagern kann, deren optische Orientirung mit jener der Nadeln übereinstimmt. Diese und ähnliche Erfahrungen lassen vermuthen, dass bei der Bildung der Biokrystalle die krystallographische Orientirung der zuerst abgeschiedenen Substanz allein entscheidend ist, und dass alle übrige Substanz nach den Gesetzen der Krystallisation, ohne besondere Thätigkeit des lebenden Protoplasmas, sich an die erstgebildete anlagert, während von der lebenden Substanz nur ein modellirender Einfluss auf die äussere Form und auf die jeweilige Mischung des abgeschiedenen Materiales genommen wird.

Anders verhält sich aber die Sache, wenn mit dem kohlen sauren Kalke zugleich geformte organische Substanz ausgeschieden wird, wie in den verkalkten Zellhäuten der Korallinen oder in den Nadeln oder Prismen der echten Korallen etc. Dann kommt es nicht mehr zur einheitlichen Krystallbildung, es ordnen sich vielmehr die Molecüle des kohlen sauren Kalkes einer Structur unter, wie sie im Allgemeinen auch in nicht verkalkten doppelbrechenden Geweben gefunden wird. Doch scheint auch in diesem Falle der kohlen saure Kalk stets als krystallinische Abscheidung zu existiren, wofür insbesondere die viel discutirte Structur der Mollusken schalen² spricht, auf die hier einzugehen, zu weit führen würde.

¹ Note on the artificial deposition of crystals of calcite on spicules of a calci-sponge. The scientif. proc. of the Royal Dubiin soc. 1886, N. S. Vol. V. S. 73. (Diese Notiz wurde mir erst während der Correctur dieser Abhandlung bekannt.)

² Vergl. hierüber insbesondere G. Rose: Über die heteromorphen Zustände der kohlen sauren Kalkerde, II. Vorkommen des Aragonits und Kalkspaths in der organischen Natur. Abhandl. der kön. Akad. d. W. zu Berlin aus dem Jahre 1858. Berlin 1859, S. 63.

Tafelerklärung.

In allen Figuren, in welchen ein mit *HH'* bezeichneter Strich vorkommt, bezeichnet dieser die Richtung des optischen Hauptschnittes. Wo die optische Axe in die Ebene der Zeichnung fällt, ist dieselbe mit *OO'* bezeichnet.

Tafel I.

- Fig. 1. Kolossaler sagittaler Dreistrahler von *Leucaltis solida*. Perspektivische Profilansicht. *a d* Basalstrahl, *d b* und *d c* Lateralstrahlen, *a b c* Facialebene, *a d b* Lateralwinkel, *b d c* Oralwinkel.
- „ 2. Sagittale (tubare) Dreistrahler von *Sycandra elegans*. *a* Faciallage *b* auf dem Oralwinkel liegend, *c* auf einem Lateralwinkel liegend, *d* Profilansicht. Ver. 150.
- „ 3. Sagittale (subgastrale) Dreistrahler von *Sycandra elegans*. *a* Profilansicht, *b* Faciallage, *c* auf dem Oralwinkel liegend. Ver. 150.
- „ 4. Geknöpfte, platte Stabnadeln aus einem dermalen Endschopfe von *Sycandra elegans*. *a* von der Kante gesehen, *b* und *c* Flächenansicht.
- „ 5. Querschnitt durch einen Theil der Körperwand von *Sycandra elegans*. 2 Radialtuben (grau gehalten) und 2 Intercanäle (weiss gelassen). *a a* dermale Endschöpfe der Radialtuben, *b b* dermale Enden der Intercanäle. An dem entgegengesetzten Ende der Tuben die mit ihren Apicalstrahlen in die Gastralhöhle hineinragenden gastraln Vierstrahler. Ver. circa 70.
- „ 6. Tangentialer Längsschnitt von einem Theile der Körperwand von *Sycandra elegans*. *aa*. Querschnitte von Radialtuben, *bb*. Querschnitte von Intercanälen.
- „ 7. Tangentialer Längsschnitt ähnlich wie der vorige, aber weiter nach auswärts durch das dermale blinde Ende der Radialtuben in der Gegend der plumpen Dreistrahler. Bezeichnungen wie in Fig. 6. An den Intercanälen die Dermalporen bemerkbar.
- „ 8. Schema zur Erläuterung der Richtung der optischen Axen an den Nadeln der Radialtuben und Intercanäle von *Sycandra elegans*. Mit Fig. 5 zu vergleichen. Die Pfeile geben die Richtung der optischen Axe an. *a* dermalen Endschopf des Radialtubus. Da die optischen Axen radiär zur Längsaxe des Tubus verlaufen, ist in der Mitte des Schopfes statt des Pfeiles ein Punkt zum Zeichen der verticalen Stellung der optischen Axe, *b* glockenförmig zusammenneigende Dreistrahler am Dermalende eines Intercanals, *c* plumpe Dreistrahler am blinden Ende des Radialtubus, *d d'* Radialtubus und Intercanal nur zum Theile gezeichnet, *d' d'* gastrales Ende der

- Tuben; *A* gastraler Vierstrahler im Profil, wie er am radiären Längsschnitte erscheinen würde, *B* gastraler Vierstrahler am Querschnitte.
 Fig. 9. Skelettheile von *Ascetta Clathrus*. Ver. 290. *a* regulärer Dreistrahler, *b—e* monströse Nadelformen.
 „ 10. Regulärer Dreistrahler von *Ascaltis Gegenbaueri*. Ver. 150.
 „ 11. Regulärer Vierstrahler von *Ascaltis Gegenbaueri*. *a* Facialansicht, *b* Profilansicht. Ver. 150.
 „ 12. Sagittale Vierstrahler aus der Gastralfläche von *Sycandra elegans*. *a* Faciallage mit dem in der Aufsicht als schmal elliptischer Durchschnitt erscheinenden Apicalstrahl, *b* Aufsicht auf den Basalstrahl, *c* Profilansicht.
 „ 13. Gastraler Vierstrahler von *Leucandra aspera*. *a* Faciallage, *b* Aufsicht auf den Basalstrahl, *c* Stellung, bei welcher die optische Axe senkrecht auf der Zeichnungsebene steht.
 „ 14. Sagittaler (tubarer) Dreistrahler von *Sycandra elegans*, wie er sich bei der Untersuchung mit einem Nicol in zwei aufeinander senkrechten Stellungen zeigt. *PP'* Polarisationssebene des Nicols. Das Nähere im Texte S. 73.

Tafel II.

Die Figuren 15—23 sind perspectivische Ansichten nach Art der Krystallzeichnungen. Da sich aber in der gewöhnlichen Projection die Nadeln sehr ungünstig darstellen würden, so wurde eine Projection gewählt, in welcher die Figuren um eine von links nach rechts gehende Axe $11\frac{1}{4}^\circ$ nach vorne gedreht sind. Die Bezeichnung der Figur 15 gilt auch für die folgenden. Die Fläche *abc'a'b'c'* entspricht der Basis des rhomboëdrischen Krystallsystems, *oo'* der optischen Axe; *aa'*, *bb'*, *cc'* sind die Richtungen der Zwischenachsen, respective die Richtungen deuteroprismatischer Hauptschnitte. Die Axe *cc'* ist aus der von vorne nach hinten gehenden Richtung um $22\frac{1}{2}^\circ$ nach rechts gedreht.

- Fig. 15. Regulärer Vierstrahler von *Ascaltis Gegenbaueri*.
 „ 16. Sagittaler Vierstrahler aus der Gastralfläche von *Sycandra elegans*.
 „ 17. Sagittaler Vierstrahler aus der Körperwand von *Leucandra aspera*.
 „ 18. *A* regulärer Dreistrahler von *Ascetta Clathrus*, *B* pseudoregulärer Dreistrahler aus der Gastralfläche von *Sycortis quadrangulata*.
 „ 19. Sagittaler, kolossaler Dreistrahler von *Leucaltis solida*.
 „ 20. Tubarer, sagittaler Dreistrahler von *Sycandra elegans*.
 „ 21. Grosser Dreistrahler von dem glockenförmigen Dermalende eines Intercanals von *Sycandra elegans*.
 „ 22. Plumper Dreistrahler vom Ende eines Radialtubus von *Sycandra elegans*.
 „ 23. Sagittaler Dreistrahler von *Leucandra aspera* aus dem Parenchym.
 „ 24. Ätzfiguren auf dem horizontal liegenden abgebrochenen Basalstrahl eines kolossalen Dreistrahlers von *Leucaltis solida* mit Ameisensäure. *a* dermale (convexe) Seite des Strahles, *b* canale (concave)

Seite des Strahles, beide negativen Rhomboëderflächen entsprechend.

- Fig. 25. Retardirte Ätzfiguren auf den Lateralstrahlen eines Dreistrahlers von *Leucaltis*. Die Strahlen annähernd in der Projection auf die krystallographische Basis. Ameisensäure. *a* dermale, *b* canale Seite. Ver. 150.
- „ 26. Lösungsgestalten auf einem kolossalen Dreistrahler von *Leucaltis solida*. Facialansicht, nach 8 Minuten langer Ätzung mit concentrirter Ameisensäure. *a* dermale, *b* canale (concave) Seite. Ver. 150. Bei *a* ist nur der Basalstrahl gezeichnet, an welchem nahe der Wurzel auch Ätzfiguren zu sehen sind.
- „ 27. Ätzfiguren auf dem Querschnitte (Spaltungsfläche) des Basalstrahles eines kolossalen Dreistrahlers von *Leucaltis solida*. Kurze Einwirkung concentrirter Essigsäure. Schichtung sehr deutlich, im Centrum, wo sich die Substanz am leichtesten löst, eine Lücke.
- „ 28. Mit Ameisensäure dargestellte Lösungsgestalten von einem kolossalen Dreistrahler von *Leucaltis solida*. *a* canale Seite des Basalstrahles. *b* canale (concave) Seite eines Lateralstrahles in der Aufsicht auf die krystallographische Basis. *NX*-Richtung der Nadelaxe, *X* gegen die Spitze des Strahles gerichtet Ver. 700.

Tafel III.

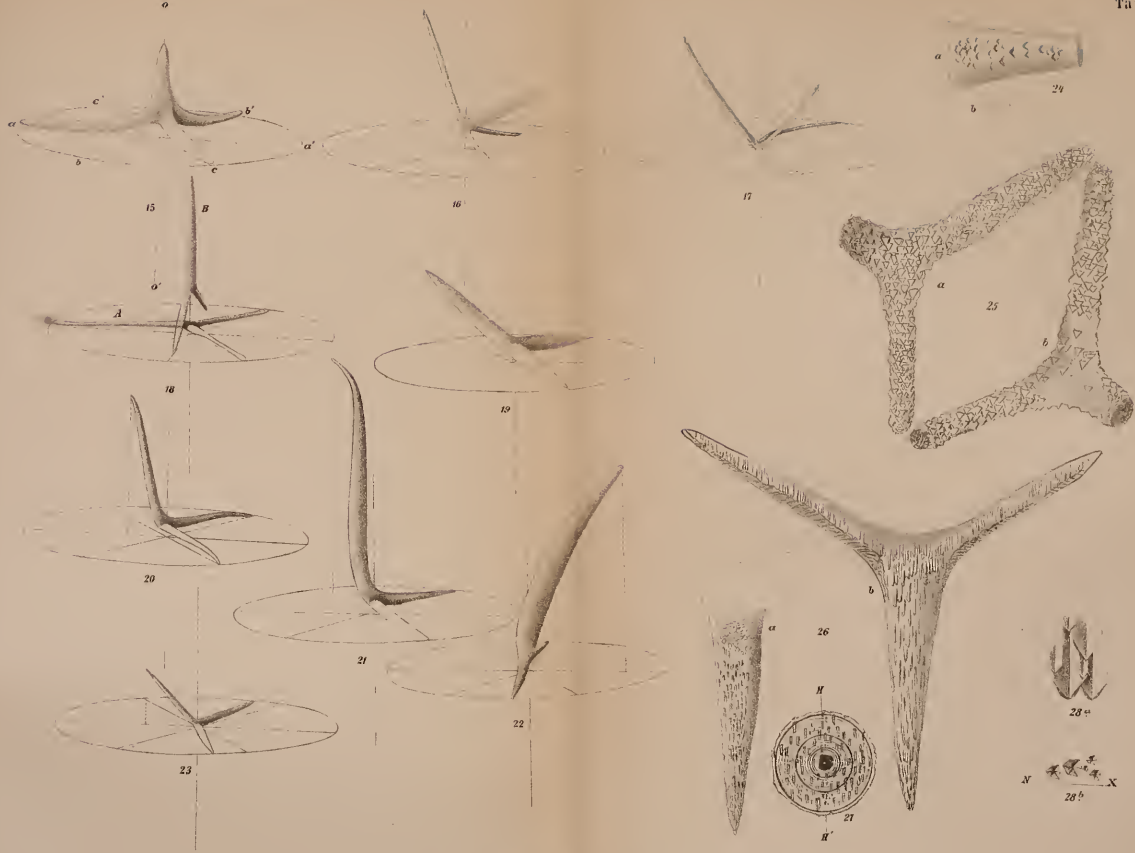
- Fig. 29. Basisprojection der Lateralstrahlen eines kolossalen Dreistrahlers von *Leucaltis solida*. Ätzung mit concentrirter Ameisensäure. *a* Canalseite, *b* Dermalseite. Ver. 60. Die Punktirung und Streifung jedoch gezeichnet, wie sie sich bei etwa 400maliger Vergrößerung darstellt.
- „ 30. Stabnadel von *Leucandra aspera*. Optische Axe nahezu senkrecht auf der Zeichnungsebene. Ameisensäureätzung.
- „ 31. Stück einer Stabnadel von *Leucandra aspera*. Lösungsgestalten mit Ameisensäure dargestellt. Profilansicht. Ver. circa 500.
- „ 32. Bruchstücke einer geglühten Stabnadel von *Leucandra alcicornis*. *a* Aufsicht mit einer ausgesprungenen Rhomboëderecke, *b* Profilansicht mit grösstentheils muscheligem Bruch. Ver. 150.
- „ 33. Stabnadel von *Leucandra aspera*. Mit concentrirter Ameisensäure geätzt. Profilansicht mit Streifung und hemirhombischen Ätzfiguren. Ver. 150.
- „ 34. Geglühte Stabnadel von *Sycandra raphanus*.
- „ 35. Dreistrahler von *Leucaltis solida* und Stabnadel von *Leucandra aspera* krystallographisch orientirt in die Combination des Deutero-Prismas mit dem Rhomboëder — $2R$ eingezeichnet. Vergl. Text Seite 43.
- „ 36. Schematische Darstellung der Erscheinungen, welche eine mit Ätzfiguren bedeckte Stabnadel von *Leucandra* beim Rollen um die

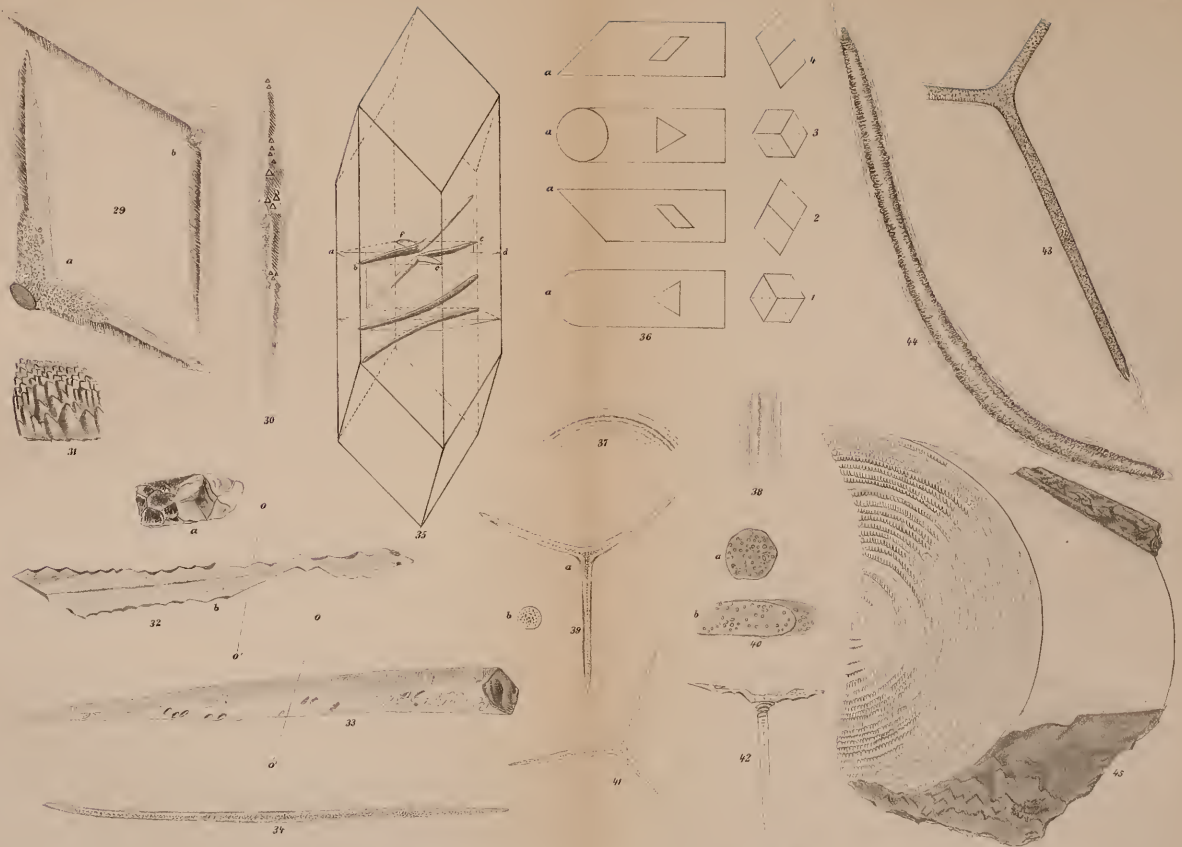
- Längsaxe zeigt. Daneben rechts die entsprechenden Stellungen des Lösungsrhomboëder's — 2 R. Vergl. Text Seite 95.
- Fig. 37. Gruppe von Schichten am Querschnitte einer schwach geglühten Stabnadel von *Leucandra aspera*. Ver. 520.
- „ 38. Schichtung einer schwach geglühten Stabnadel von *Leucandra alvicornis*. Profilsansicht. Ver. circa 200.
- „ 39 a. Geglühter Dreistrahler von *Sycandra raphanus*. Ver. 150.
- „ b. Querbruchplättchen eines Basalstrahles. Ver. 300.
- „ 40. Plättchen aus dem durch Glühen erhaltenen Staub der Dreistrahler von *Leucandra aspera*. a Querbruch eines Basalstrahles, b Schrägbruch eines Lateralstrahles mit Immersion gezeichnet.
- „ 41. Schwach geglühter Dreistrahler von *Ascaitis Cerebrum*. Ver. 300.
- „ 42. Geglühter Dreistrahler von *Sycandra elegans* im Plättchenzerfall begriffen.
- „ 43. Dreistrahler von *Ascandra falcata* nach 24stündiger Maceration und zeitweiligem Kochen in 10% Kalilauge. Spiculascheide erhalten, körnige Structur sichtbar. Ver. 510. (Von den drei Strahlen nur einer ganz dargestellt.)
- „ 44. Stabnadel von *Ascandra falcata*, wie das in Fig. 43 dargestellte Präparat behandelt. Ver. 510.
- „ 45. Bruchstück eines Lateralstrahles eines kolossalen Dreistrahlers von *Leucaltis solida* wie die in Fig. 43 und 44 dargestellten Präparate behandelt. Gezeichnet mit Zeiss. Immersion J.

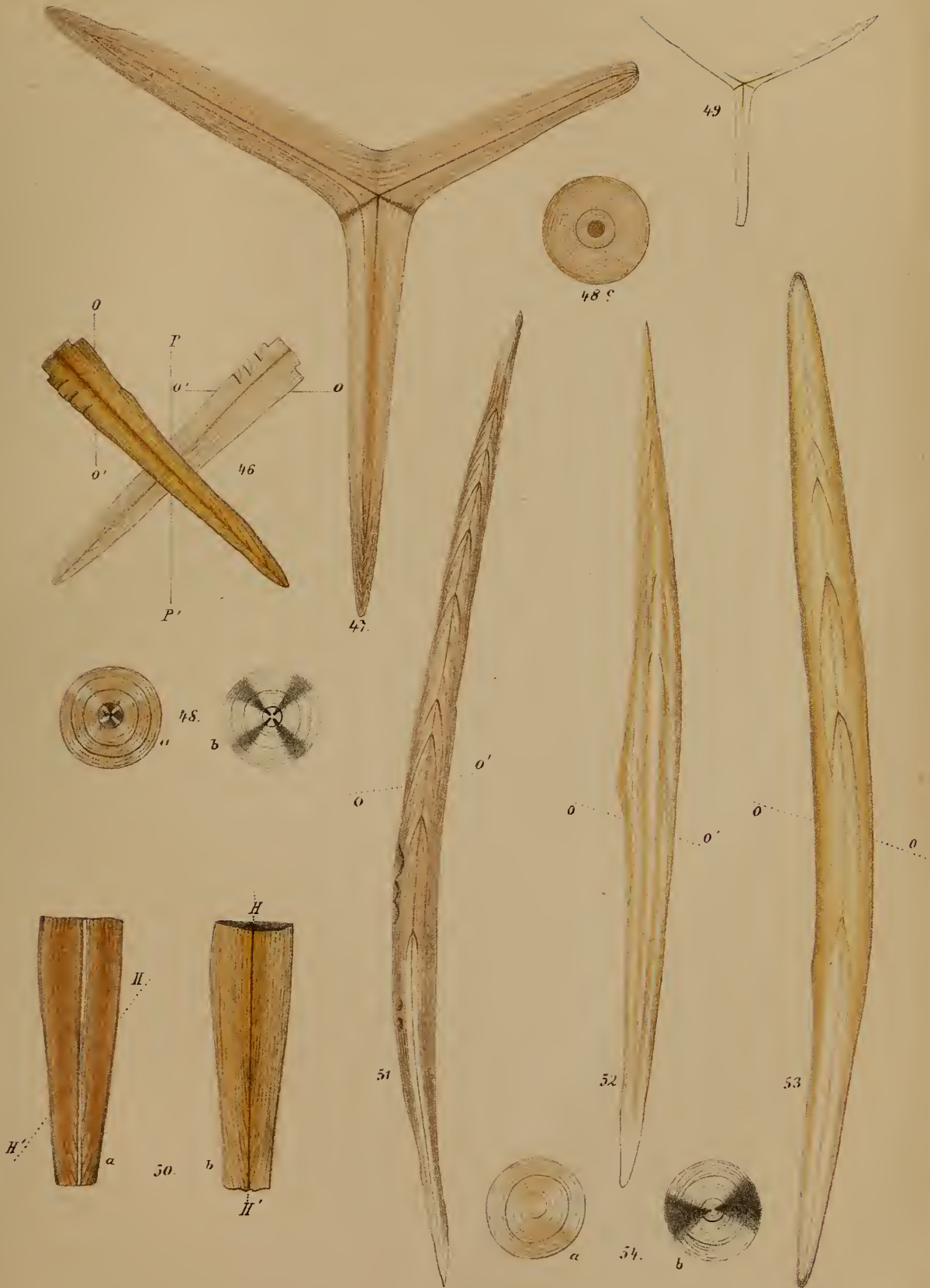
Tafel IV.

- Fig. 46. Geglühter Basalstrahl eines Dreistrahlers von *Leucaltis solida* mit einem Nicol untersucht. *Pleochroismus*. PP¹ Polarisationssebene des Nicols.
- „ 47. Geglühter kolossaler Dreistrahler von *Leucaltis solida* in durchfallendem Lichte. Facialansicht. Ver. 75.
- „ 48. Querschnitte der Strahlen eines schwach geglühten kolossalen Dreistrahlers von *Leucaltis*. a Basalstrahl im durchfallenden, b in auffallendem Lichte, c Lateralstrahl in durchfallendem Lichte.
- „ 49. Geglühter Dreistrahler von *Leucandra aspera*. Durchfallendes Licht.
- „ 50. Schwach geglühter Basalstrahl eines kolossalen Dreistrahlers von *Leucaltis* in durchfallendem Lichte bei zwei durch Rollung um circa 45° von einander verschiedenen Stellungen. Vergl. Text Seite 73.
- „ 51. Geglühte Stabnadel von *Leucandra alvicornis* in durchfallendem Lichte.
- „ 52 und 53. Geglühte Stabnadeln von *Leucandra aspera* in durchfallendem Lichte.
- „ 54. Querschnitt der darüber stehenden Stabnadel Fig. 52. a in durchfallendem, b in auffallendem Lichte.









V. v. Ebner del.

Lith. Anst. v. Th. Bannwarth, Wien.

I n h a l t.

	Seite
I. Einleitung	55
II. Optisches Verhalten der Nadeln. Axenkreuz, Brechungsquotienten, Untersuchung mit Einem Nicol	61
III. Optische Untersuchung der einzelnen Skelettheile	75
IV. Ätzerscheinungen	90
V. Spaltbarkeit	111
VI. Über die Natur der dem kohlen-sauren Kalke beigemischten Substanz	115
VII. Schichtung und Centralfaden	124
VIII. Zusammenfassung	131
IX. Bemerkungen über Kalkskelete bei Korallinen, Foraminiferen, Anthozoën und Echinodermen	134
Tafelerklärung	145