

## Die Form der Krystallkegel im Arthropodenauge.

Von

**Oscar Schmidt.**

---

Mit Tafel I.

---

In den letzten Jahren ist von zwei Seiten die Unhaltbarkeit der Ansicht nachgewiesen worden, dass das Facettenauge eine Anhäufung von Einzelaugen sei, deren jedes ein mehr oder minder vollkommenes Bildchen erzeuge. Von seinen ausgedehnten Untersuchungen über dieses Thema gab GRENACHER<sup>1)</sup> 1874 vorläufige Nachricht. Bald darauf, 1875, zeigte EXNER<sup>2)</sup>, ohne von GRENACHER's Mittheilung Kenntniss zu haben, dass, wenn auch durch Facetten und Krystallkegel Bilder entworfen würden, dieselben nie auf die vermeintliche Retina, welche die Spitze jedes Kegels umfassen sollte, träfen. Er kommt mit seinen Ansichten über die Function des Facettenauges auf die Theorie von JOH. MÜLLER zurück und zeigt, »dass die Unvollkommenheit der räumlichen Auffassung des Facettenauges ersetzt wird durch die Vollkommenheit in der Auffassung von Bewegungen«.

Kann EXNER seine Unbekanntschaft mit GRENACHER's Resultaten mit dem Versteck entschuldigen, wohin der letztere seine Mittheilung verwiesen, so wird GRENACHER nun einen ähnlichen Anspruch machen. Er hat im Mai 1877 seine Arbeit veröffentlicht<sup>3)</sup>, zwar nochmals unvollständig, aber mit ausreichenden guten und charakteristischen Abbildungen versehen. GRENACHER scheint von EXNER's, allerdings viel

1) Göttinger Nachrichten 1874. Nr. 26.

2) Ueber das Sehen von Bewegungen und die Theorie des zusammengesetzten Auges. Sitzungsberichte d. k. Akad. d. Wiss. Bd. 72.

3) Untersuchungen über das Arthropodenauge. Im Auszuge mitgetheilt. Beilageheft zu den klinischen Monatsblättern für Augenheilkunde. Rostock 1877.

einseitigerer Arbeit nichts gewusst zu haben. Er erwähnt sie nicht und ist am Ende seiner höchst wichtigen und für den Gegenstand offenbar Epoche machenden Untersuchung »völlig auf dem Boden der MÜLLER'schen Theorie angelangt«.

Merkwürdiger Weise ist von beiden Forschern ein Punct unberührt und unberichtigt geblieben, dessen Richtigstellung allein hinreicht, der Theorie den Hals zu brechen, welche durch MAX SCHULTZE<sup>1)</sup> für alle Zeiten gesichert schien. Ich meine die Form der Krystallkegel. Dieselben sind von SCHULTZE als vollendet regelmässige Körper abgebildet worden. EXNER ist, wie alle seine Vorgänger, der Meinung, dass die Achse des Krystallkegels mit der optischen Achse der Corneafacette zusammenfällt, dass also der senkrecht das Centrum der Corneaoberfläche treffende Strahl ungebrochen und ungespiegelt zur Spitze des Kegels gelange. GRENACHER hält es nicht nur bei den Insecten für »überflüssig, die allbekannten Thatsachen, soweit sie die Krystallkegel angehen, zu wiederholen«, sondern setzt ganz allgemein, auch vom Auge der Krebse, voraus, dass jedes Facetten- und Kegelsystem eine gerade Achse, wie ein regelmässiger Kegel besitze. Die diesem centralen Theile »entsprechenden Strahlen sind die einzigen, die ungebrochen, geradlinig durchgehen«. »Das einzelne Rhabdom — so nennt Gr. den Achsenstab der Retinula oder des Sehstabes — wird nur von dem aus seiner geraden Verlängerung herkommenden Licht erregt«.

Ich gestehe, dass, als ich im Februar 1877 in Neapel mich mit dem Krebsauge zu beschäftigen begann, mir die bis dahin erschienenen Veröffentlichungen GRENACHER's und EXNER's nicht gegenwärtig waren. Ich kam zu diesen Untersuchungen aus demselben Bedürfniss, welches mich schon einmal zu einer Excursion in das Gebiet der Anatomie der Gliederthiere getrieben hat (Gehörorgane der Heuschrecken), zu dem Zweck, mich über den Grad der Convergenz in einem bestimmten Falle zu unterrichten. Solche genetisch von einander unabhängige morphologische Aehnlichkeiten und Scheinhomologien liegen besonders in den Sinneswerkzeugen vor. Es ist bekannt, dass man erst in neuerer Zeit angefangen hat, die physiologischen Qualitäten der Sinneswerkzeuge der wirbellosen Thiere darauf hin genauer zu untersuchen, und dass man erkannt hat, wie schief es sei, unsre Sinnesempfindungen schlechthin bei den Thieren vorauszusetzen und sich im Suchen nach den anatomischen Thatsachen und der Erklärung des Befundes davon leiten zu lassen. Es ist kein Zweifel, dass MAX SCHULTZE's berühmte Arbeit unter dieser anthropomorphischen Anschauung gelit-

1) Die zusammengesetzten Augen der Krebse und Insecten. 1868.

ten hat. Ich machte mich an die Nachuntersuchung, weil mich die vorausgesetzte Convergenz zu geniren anfang. Ich bin völlig unabhängig von GRENACHER und EXNER von der Haltlosigkeit der GOTTSCHÉ-SCHULTZE'schen Auffassung mindestens für eine grosse Anzahl von Arthropoden überzeugt worden. Das würde indessen nur einen persönlichen Werth haben, wenn meine Untersuchung sich nicht gerade auf den speciellen Punct beschränkt hätte, der den Anderen einer Revision nicht bedürftig schien. So aber darf ich das Folgende als eine, wenn auch nur unbedeutende Ergänzung zu GRENACHER's Arbeit anbieten. Eine andere Frage ist es jedoch, ob die von mir zu bringende Ergänzung gestattet, schlechthin zur Theorie vom musivischen Sehen zurückzukehren.

Ich habe zuerst *Phronima* vorgenommen, in der ich ein besonders günstiges Object zu finden hoffte, und erhielt in der Station in Neapel etwa hundert Stück dieses schönen Thieres.

Unsre Abbildung 1 zeigt in mässiger Vergrösserung den Umriss der linken Hälfte des *Phronimakopfes* von vorn mit dem Gehirn und den Sinneswerkzeugen. Der eigentliche Gehirnknoten ist von geringem Volum; er ist nach oben in einen kegelförmigen Fortsatz ausgezogen, dessen Hülle sich durch einige Fäden mit dem Kopfskelet verbindet. Von der oberen Seite des nach dem Munde zu gerichteten kürzeren Kegels entspringt mit einer hügelartigen Wurzel der Antennennerv. Bei anderen Exemplaren habe ich die mehr entwickelte Form Fig. 2 gefunden, wo statt des einfachen Einbuds (*a*) ein völliger Sinus, und statt des Höckers (*b*) eine knopfförmige Anschwellung stand. Ich kann nicht sagen, ob das Geschlechtsdifferenzen oder Eigenthümlichkeiten der beiden von CLAUS unterschiedenen Arten sind. Den Schlundring sieht man bei dieser Lage nicht; er ist auffallend eng, und die Commissur geht natürlich noch diesseit des dicken Sehnervenstieles (*c*) ab. Dieser letztere spaltet sich während der Entwicklung der *Phronima*, und seine Faserzüge nebst eingeschobenen Ganglienzellen bilden alsdann die beiden gelb oder bräunlich gefärbten Körper, welche man mit unbewaffnetem Auge aus dem Kopfe durchscheinen sieht. Der nach innen und oben gelegene ist gestreckt, ragt mit dem spitzeren Ende nach den Mundwerkzeugen zu eine Strecke über das Gehirn heraus, mit dem anderen abgerundeten nach oben. Zu ihm gehören die merkwürdigen Krystallkegel oder Fadenkolben, deren keulenförmige Enden Stirn und Schädel einnehmen. Der andere pigmentirte Körper ist der Sammelort der Kolben, welche mit ihm das zweite, untere, seitwärts hervorgewölbte Auge bilden.

Eine genauere Analyse dieser pigmentirten Körper zeigt, wie schon angedeutet, dass die aus dem Sehganglion in sie eintretenden

Fasern, nachdem sie je eine Ganglienzelle in sich aufgenommen haben, sich mit ziemlich starren Scheiden umgeben. Sie schwellen dabei an, und den Scheiden haftet der Farbstoff fest an. Im pigmentirten Körper des Seitenauges vereinigen sich je mehrere Fasern zu einem Bündel, und diese, scheint mir, sind es, welche PAGENSTECHER »Cylinder« genannt hat. Am inneren, spindelförmigen pigmentirten Körper überzeugt man sich, wenn man ihn von unten, von der Seite und gespalten betrachtet, dass die längs seiner ganzen Erstreckung einlaufenden Fasern scharf nach oben umbiegen. Auf alle diese dem nervösen Apparat angehörigen und von GRENACHER als die Retinulae mit den Rhabdomen erkannten Fasern und Faserbündel folgen nun jene Strahlen von chitinoser Beschaffenheit, welche bis hart an oder unter die Kopfhaut reichen und den Namen der Krystallkegel tragen, obschon sie von nichts weniger als regelmässig kegelförmiger Gestalt sind. Sie sind natürlich von allen den Zoologen gesehen, auch abgebildet worden, welche sich mit Phronima beschäftigten, merkwürdiger Weise hat aber Niemand geprüft, wie die gangbare Theorie sich mit ihnen verträgt. Betrachten wir sie zuerst am Seitenaug. Es erhellt auf den ersten Anblick, dass sie hier weit kürzer sind, als am Scheitel-Stirn-Auge. Aber innerhalb des Seitenauges sind die Kegel, wie wir sie noch nennen wollen, von bedeutender Verschiedenheit, sowohl in der Grösse als in der Gestalt, ja man kann behaupten, dass keiner einem andern gleicht. Am nächsten der mathematischen Kegelform kommen die aus der Mitte des Auges (Fig. 3). Ihr Kolben ist nicht selten fast regelmässig kuglig abgerundet (3 a), vielleicht findet man auch einen und den andern mit einer vollkommen einem regelmässigen, geraden Kegel entsprechenden Achse, obgleich ich einen solchen Krystallkörper nicht gesehen. Vielmehr hatten die von mir so genau als möglich aus dem Centrum des Auges aufgesuchten die in Fig. 3 b und c wiedergegebenen Umrisse.

Jedoch auch diese mehr regelmässigen Krystallkegel bilden gegen das dünne Ende hin eine fast spindelförmige Anschwellung. Wie gesagt, ist die Zahl dieser verhältnissmässig normalen Kegel ganz verschwindend gegen die übrigen, wovon uns Fig. 4 und 5 Beispiele zeigen, und zwar von der Seite. Es fällt nicht nur die Möglichkeit weg, dass die auf das kolbige Ende solcher oder ähnlicher Körper einfallenden Lichtstrahlen am dünnen Ende derselben zu einem Bilde vereinigt werden, sondern bei der Mannigfaltigkeit der Krümmungen der Oberfläche und dem Umstande, dass die Kegel aus einer härteren, dichteren Rinden- und einer weicheren Binnensubstanz bestehen, ist kaum daran zu denken, dass auch nur ein Strahl ungebrochen und unabgelenkt die Retinula erreicht.

Gehen wir nun vom Seitenauge auf die Fadenkegel des Stirn- Auges über. Die Kegel bestehen hier aus einem oberen kegel-, richtiger kolbenförmigen, einem mittleren fadenartigen und einem unteren spindelförmigen Theile (Fig. 7) und sind 2 bis  $2\frac{1}{2}$  Mm. lang. Fig. 8 zeigt einen solchen Kolben von oben und etwas von der Seite und von aussen durch die Kopfwand gesehen. Es sind dieselben Verhältnisse wie am Seitenauge, für welches also das jetzt zu sagende auch gilt. Die Augen der *Phronima* haben zwar keine Hornhaut mit gewölbten Facetten, stehen aber unmittelbar an dieser Differenzirung. Jeder Kegel ragt mit dem Kopfe in eine Doppelzelle hinein, welche man an den beiden SEMPER'schen Kernen erkennt (3). Die peripherische Wand dieser Zellen (Fig. 4 und 8 *u*) geht in die Cuticula über (*o*); man sieht daher, wenn man das Mikroskop auf die Augenoberfläche einstellt, eine dem Facettenauge sehr ähnliche Zeichnung. Die den Facetten entsprechenden Abschnitte berühren sich nur theilweise und lassen meist dreizipfelige, d. h. seitlich von drei Flächen begrenzte Räume zwischen sich. Mit der Zwischenwand (*m*) verschmelzen die Zellenpaare, die Erzeugerinnen der Kegel, und wie die Seitenwandung sich unterhalb des Kolbens auf die Aussenfläche des Kegels anlegt, so dringt die Zwischenwand in den fast immer sehr deutlichen Spalt, nämlich die Trennungslinie der beiden Längshälften des Krystallkegels ein. Gewöhnlich zeigen sich zwischen den SEMPER'schen Kernen noch zwei elliptische dunklere Stellen (*n*), deren Ursprung und Beschaffenheit mir nicht deutlich geworden ist. Sie liegen durchaus regelmässig zu beiden Seiten der Scheidewand.

In den eben beschriebenen Doppelraum ragt der Kopf des Krystallkegels hinein, seine Ründung wird also bei der absoluten Durchsichtigkeit der daran und darüber liegenden Theile von allen Seiten von den Lichtstrahlen getroffen. Auch an den frischesten Präparaten sieht man oft solche Spaltung wie in Fig. 9, wobei auf der Oberfläche Höcker und Rauigkeiten sich entwickeln. PAGENSTECHER hat gemeint, dass diese Spaltung sich auf den ganzen Krystallkegel erstreckte, und so die Zahl der Kegel vermehrt würde. Ich habe mich jedoch nicht davon überzeugen können. Die Kegel mit solchen Spalten sind viel zu gross, als dass Einem das wirkliche Auseinandertreten verborgen bleiben könnte. Auch müssten bei diesem Vorgange die Zellen mit den SEMPER'schen Kernen doch wohl betheiligte sein, wovon ich keine Spur wahrgenommen habe.

Aus der Krümmung der Fläche, unter welcher, ohne sie zu berühren, die Kolben des Stirn-Scheitel- Auges liegen, geht hervor, dass eine Anzahl von Scheitelkolben am meisten der regelmässigen Basis

des theoretisch geforderten Kegels entsprechen müssen, diejenigen, deren fadenförmige Fortsetzung etwa in der Nähe der Achse des vom spindelförmigen pigmentirten Körpers ausgehenden Strahlenbüschels verlaufen. Allein wiederum haben die meisten Kolben und Kegel eine solche und noch schiefere Stellung zur Augenoberfläche wie der Kegel in Fig. 4 zu o. Wenn man also auf dem Mittelpunct des Facettenbezirkes eines Krystallkegels eine Senkrechte errichtet denkt, so fällt diese nie mit der Achse der schiefen, kegelartigen, aber nie streng kegelförmigen Krystallkörper zusammen, nie mit dem fadenförmigen Mitteltheile dieser Körper oder mit der Endspindel (vergl. Fig. 7). Das Ende der letzteren ist nicht abgerundet, sondern schief abgestutzt und vielleicht immer mit drei äusserst feinen Zähnen oder Spitzen versehen. Es ist die Stelle, wo sich Nervenstab (Retinula) und Krystallkegel berühren. Fast immer bricht bei Zupfpräparaten, welche allein klare Bilder gewähren, die Spitze des Krystallkegels ganz wie aus dem Pigment heraus. Nicht selten aber reisst auch ein Stück des Nervenstabes im Zusammenhange mit der Kegelspitze ab (Fig. 4. 6), und es hat alsdann den Anschein, als ob die blasse Nervenfasern nicht hier endigte, sondern direct in die Marksubstanz des Kegels überginge. Wo Nervenstab und Kegel sich genau auf ihrer Grenze getrennt haben, hat man immer den Eindruck einer feinen Oeffnung der Kegelspitze. Der Gegensatz von Rinden- und Marksubstanz erstreckt sich nicht blos auf Kolben und Endspindel, sondern auch auf den Fadentheile der Kegel, wie die beim Maceriren und Behandeln mit Reagentien zum Vorschein kommenden Gerinnungen und Zersetzungen zeigen.

Es ist klar, dass das Schema des Arthropodenauges mit der Annahme der Erzeugung zahlreicher Bildchen auf Phronima keine Anwendung findet. Trotz der glatten Cornea liegt zwar die Möglichkeit vor, wie ich gegen GRENACHER a. a. O. p. 39 behaupten möchte, dass jeder der Kegelkolben ein Bild liefert; wo dasselbe aber etwa zu suchen wäre, deuten die punctirten Linien in Fig. 4, 5 und 9 an. Jedoch auch das musivische Sehen ist für Phronima ausgeschlossen, denn die Voraussetzung für das musivische Sehen, die Geradachsichtigkeit der lichtbrechenden Körper und die Absorption der seitlich einfallenden Strahlen, trifft hier nicht ein. Die sehr schiefe auf die gemeinschaftliche Cornea fallenden Strahlen werden vielleicht eine totale Reflexion erleiden; nicht so die minder schiefe einfallenden. Bei einer bestimmten Stellung des Thieres wird dasselbe also nicht, wie bei dem angenommenen musivischen Sehen, über bestimmte Punkte der äusseren Gegenstände orientirt, wohl aber gelangt in jeden Kegel ein ganzer Lichtbüschel. GRENACHER meint, dass Niemand, der einmal den Bau der

Augen der Hyperiden gesehen und sie lebend beobachtet hat, sie für blinde oder schlecht sehende Thiere erklären könne. Mir ist nur darüber kein Zweifel, dass die Augen der Phronima ihr ein Ersatz, ein Surrogat für Bild erzeugende Organe sein und ihr mindestens zur Wahrnehmung verschiedener Lichtgrade und Farben dienlich sein werden. Und das sind sie in ausgezeichneter Weise.

Mein College KUNDT, dem ich die Sache vorlegte, zog mir feine Glasstäbchen aus, mit Köpfchen und verschieden gekrümmt, ungefähr von der Gestalt der Kegel der Phronima. Wenn man in das kolbige Ende derselben aus einer starken Lichtquelle ein Strahlenbündel eintreten lässt, während man für Verdunkelung des übrigen Theiles des Stabes, namentlich der winzigen Spitzenfläche sorgt, so erglänzt diese letztere als ein leuchtender Punct, das heisst, die Lichtstrahlen werden im Glasstabe trotz dessen unregelmässigen Krümmungen fortgeleitet und von der Oberfläche immer wieder so nach der Achse zu reflectirt, dass ein grosser Theil derselben aus dem spitzen Ende des Stabes wieder austritt. Genau so, wie diese Glasstäbe, müssen sich die Krystallkegel der Phronima verhalten. Sie führen den Nervenstäben eine Fülle von Licht zu und vermitteln Empfindungen, welche wir an uns selbst nicht erproben können, von denen man aber sicher annehmen darf, dass sie dem Thiere nach seinen Verhältnissen einen vollen Ersatz für eigentliche Gesichtswahrnehmungen bieten. Auch andere Hyperiden sind mit denselben Lichtwerkzeugen versehen, auch mit Fadenkegeln von ähnlicher Länge<sup>1)</sup>.

Als es für mich feststand, dass Phronima nicht wirklich sehen könne, brachte ich natürlich zunächst diese Unvollkommenheit mit der niederen Stellung der Amphipoden in Verbindung. Da aber, abgesehen von dem Zurückbleiben der Facettirung der Cornea, alle Elemente vorhanden sind, welche bei den Decapoden und Insecten das Sehen zu Stande bringen sollen, die Krystallkegel, die in pigmentirte Scheiden eingehüllten Nervenstäbe, ein mit Ganglien und Faserläufen ausgestatteter Centraltheil, da ferner kein früherer Beobachter Anstand genommen hatte, Augen und Augenelemente der Hyperiden mit denen der Decapoden zusammen zu stellen, so lag für mich der Anlass zu einer näheren Vergleichung vor.

Wer höhere Krebse, Krabben, Eremiten, Garneelen in ihrem Treiben belauscht, hat den Eindruck, dass sie über ihre nächste Umgebung sich ungefähr so gut, wie wir selbst, orientiren. Die Krabbe be-

1) Vgl. auch CLAUS, Polyphemiden. Denkschr. d. W. Akad. 1877. p. 8.

schleicht ihre Beute; ein Eremitenkrebs merkt, dass sein Genosse ein Stück Fleisch sich angeeignet hat, und sucht es ihm in höchst komischen Wendungen abzufragen, denen der Angegriffene eben so spasshafte Listen entgegensetzt; die Crangons, Palämons und andere Garneelen necken sich und spielen mit einander. Dabei sind Fühler und Augen in fortwährender Bewegung. Niemand zweifelt, dass sie sich sehen. Sie stehen in ihrer seelischen Entwicklung hoch über jenen Hyperiden, die offenbar aufs Gerathewohl daherrudern oder sich an einer der zahllosen, ihnen in den Weg kommenden Quallen festsetzen und von da an das Bedürfniss, zu sehen, nicht mehr fühlen. Ich war daher sehr erstaunt, als ich bei den wenigen Gattungen höherer Krebse, die ich zur Controle untersuchte, Verhältnisse fand, welche an die bei Phronima beobachteten sich anschliessen und eine Revision des für die Krystallkegel als gültig Angenommenen in grösserem Massstabe dringend gebieten.

Alle Beobachter, welche über die Augen höherer Arthropoden geschrieben, nehmen als ausgemacht an, dass die lichtbrechenden, zu einer Facette gehörigen Medien in ihrer Gesammtheit einen geradachsigen Körper bilden. Ich zweifle nicht, dass es sich in vielen Fällen wirklich so verhält, und dass es seine Richtigkeit mit GOTTSCHÉ'S Angabe hat, dass Bildchen erscheinen. In dieser Voraussetzung der Geradachsigkeit der Krystallkegel sind sämmtliche Bilder von MAX SCHULTZE gezeichnet, und zwar scheint unser unvergesslicher Freund die Bilder in seiner berühmten Abhandlung nur nach Zupfpräparaten, nicht nach Schnitten angefertigt zu haben. Ich vermuthete, dass ihm aus diesem Grunde diejenigen Unregelmässigkeiten entgangen sind, oder dass er sie auf Rechnung der mechanischen Behandlung des Präparates gebracht hat, auf deren regelmässiges Vorhandensein ich aufmerksam machen will. Wie erwähnt, ist dieser Punct von GRENACHER unberichtigt geblieben.

Zerpupft man einen Schnitt eines gehärteten Auges einer Garneele (ich habe namentlich Palämon benutzt), so bekommt man meist diejenigen Theile im Zusammenhange, welche M. SCHULTZE zum Krystallkegel rechnet, also in seinen Bildern  $k'$   $k''$   $k'''$   $k''''$ . Die Mehrzahl dieser Kegel (wir wollen dië geläufige Benennung beibehalten, obschon die Körper Pyramiden sind) ist regelmässig geradachsig, aber unter den Hunderten und Tausenden, welche man in kurzer Zeit mustern kann, wird man keinen finden, der gleichseitig vierkantig wäre. Abgesehen von dem obersten Abschnitt, welchen SCHULTZE zum Kegel bezieht (Taf. 1, 16  $k''$ ) und auf welchen wir unten näher eingehen werden, spricht er von zwei verschieden dichten Abschnitten, von welchen er

den oberen ( $k'''$ ) einer Cylinderloupe vergleicht, während der untere ( $k''''$ ) die Spitze des Kegels bildet und mit spitzen Fortsätzen das Ende des Nervenstabes ( $n$ ) umfasst. SCHULTZE's Zeichnungen, neben welchen die meinigen sich sehr ungeschickt ausnehmen, lassen die Nothwendigkeit der Bilderzeugung durch solchen Apparat plausibel erscheinen. Wenn man aber Schnitte mustert, so überzeugt man sich bald, erstens, dass die Randkegel, also die Kegel, welche am unteren Theile des Auges sich befinden, oben gegen die Facetten zu schief abgestutzt<sup>1)</sup> sind, und zweitens, dass entweder schon die mit  $k'''$  von SCHULTZE bezeichneten Abschnitte, sicher aber die Abschnitte  $k''''$  nach der Längsachse gekrümmt sind. Mustert man darauf ein Zupfpräparat, so wird man zwar, wie gesagt, den Gesamteindruck haben, dass die Kegel regelmässig vierkantig sind mit oben vorragenden vier Körperecken, der Viertheiligkeit der Kegel entsprechend, man wird aber bald auch solche Kegel, richtiger Pyramiden, entdecken, welche von der einen Seite gerade (Fig. 40 a), von der anderen, wenn man sie wendet, gekrümmt (Fig. 40 b) aussehen. Bei allen von mir untersuchten, in Spiritus gehärteten Garneelen hat sich  $k'''$  sehr leicht von  $k''''$  gelöst. Die Verbindung dieser beiden Abschnitte ist aber bei anderen Gattungen eine festere, so z. B. bei *Palinurus*. Ein Kegel aus dem Auge dieses Krebses ist in Fig. 44 gegeben.  $k''$ , nach SCHULTZE's Bezeichnung, ist der kappenartige Aufsatz, der auch noch von der gemeinschaftlichen, vom Neurilem herkommenden Hülle bedeckt ist,  $k'''$  die Cylinder-, richtiger Pyramidenloupe, deren unteres Ende jedoch nicht eine einfache Abrundung, sondern oft sehr deutlich vier Kugelabschnitte zeigt, und  $k''''$  ist also derjenige Abschnitt, den SCHULTZE noch zum Krystallkegel rechnet, während STEINLIN die Sache etwas anders ansieht. Da man versucht sein wird, die Krümmung von  $k''''$  in Fig. 44 auf Rechnung eines Zufalles, der Präparirmethode u. dgl. zu bringen, so bemerke ich ausdrücklich, dass Schnitte, die ich wiederholt sorgfältig geprüft habe, den untrüglichen Beweis der Natürlichkeit dieses Verhaltens liefern. Man sieht nicht selten die Krümmung bis zu 90° anwachsen. Auch aus den Canälen und höchst mannigfaltigen und in der Reihe der Schnitte wechselnden netzförmigen Bildern der bindegewebigen Substanz, welche ein fest zusammenhängendes Continuum bildet, ergeben sich die obigen Verhältnisse. Die Angabe STEINLIN's<sup>2)</sup>, worauf M. SCHULTZE anspielt, ist, dass das »centrale Ende des Krystall-

1) GRENACHER bildet einen schiefen Pseudoconus von der Ochsenbremse ab. A. a. O. p. 24.

2) Bericht über die Thätigkeit der St. Gallischen naturw. Gesellschaft a. d. J. 1865—1866. p. 92.

kegels in zwei bis drei Fortsätze oder Röhren« übergehe, welche er »Verbindungsstiele« nennt. Nun leuchtet aus der Abbildung STEINLIN'S (Taf. III, 4) hervor, dass ihm die scharfe Grenze zwischen  $k'''$  und  $k''''$  verborgen geblieben ist, und dass auch er höchst wahrscheinlich die Krümmung von  $k''''$  für etwas Zufälliges gehalten hat. Was aber die Zahl dieser »Verbindungsstiele« anlangt, so hat er vollkommen recht. Die Abtheilung  $k''''$  besteht aus zwei, gewöhnlich aus drei Längstheilen, wovon der eine doppelt so stark als die beiden anderen zu sein pflegt. Man sieht dies auf Querschnitten eben so klar, wie man oft die Viertheiligkeit des eigentlichen Kegelkörpers auf Flächenbildern hat. Was diese merkwürdige Dreitheiligkeit bedeutet, ist völlig unklar. Ich habe noch zu bemerken, dass auch Palinurus zu den lebendigeren, auf ihre Umgebung aufmerksameren Langschwänzen gehört.

Wir kommen zum Flusskrebs. Der Kegel, den ich abbilde, Fig. 42, nimmt sich im Vergleich zu dem Normalbilde auf SCHULTZE'S Taf. 1, 9 wie ein verunglücktes Monstrum aus. Ich kann jedoch die Versicherung geben, dass mein Kegel einem wohlpräparirten Schnitte und aus der Verbindung mit einer Reihe ganz ähnlich gestalteter und gebogener Kegel entnommen ist. Denkt man sich die Oberseite der Kappe ( $k''$ ) verlängert, so hat man die Fläche, gegen welche schon das vordere Ende der Cylinderloupen-Achse so geneigt ist, dass ein Bild gleich vorn unsymmetrisch zur Achse fällt, und noch weniger an eine Versetzung des Bildes ans Ende dieses lichtbrechenden Körpers gedacht werden kann. Der untere, in den Präparaten auch hier gewöhnlich granulirte Theil ( $k''''$ ) beginnt deutlich becherförmig. Die Granula des Inhaltes fand ich wiederholt in Längslinien geordnet (Fig. 43).

Ich führe von den Krebsen nur noch den Hummer an, dessen Kegel ganz auffallend unregelmässig gestaltet sind. Bei genauerer Musterrung von 40 bis 45 in einem Schnitte neben einander befindlicher Kegel wird man nicht zwei einander völlig gleiche sehen. Die Bilder 44 und 45 sind mit wenigen Worten erklärt. In 44 ist auch die Cornea gezeichnet. In 45 erblickt man einen und denselben Kegel von drei Seiten. Der Abschnitt  $k''''$  macht beim Hummer am wenigsten den Eindruck eines bilderzeugenden Körpers, zeigt die grösste Variabilität der Grössen- und Krümmungsverhältnisse, hängt aber immer sehr fest mit  $k'''$  zusammen. Der Hummer, um ihn auch zu characterisiren, giebt sich im Aquarium als ein duckmäuserischer, verdrossener Gesell, der sich wenig Bewegung macht und um seine Umgebung sich kaum zu bekümmern scheint. Durch Handbewegungen u. dgl. lässt er sich nicht schrecken und zu Ortsveränderungen veranlassen.

Von den Insecten darf ich kaum sprechen. Ich habe nur Dyticus

marginalis hinsichtlich der Kegel untersucht, und zwar natürlich ebenfalls in Schnitten und Zupfpräparaten, frisch im Blute des Thieres, in Froschblut und nach verschiedenen Härtungen. Die grösste Menge der Krystallkegel ist mir dabei völlig regelmässig erschienen, aber die schiefachsigen fehlen nicht und scheinen gegen die Peripherie des Auges hin mehr und mehr sich einzustellen (Fig. 46). Kegel von scheinbar normaler Contour (a) kehren beim Wälzen ihre Schiefheit vor (b). Bei manchen (c) wird die Spitze durch eine Senkrechte mit der Peripherie der Basis verbunden; bei anderen mit nicht gekrümmter Spitze (d) fällt die Senkrechte von der Spitze über die Basalfläche hinaus, und bildet die von der Spitze längs des Kegelmantels zur Basis verlaufende kürzeste Linie mit dem vom Schnittpunkte ausgehenden Basaldurchmesser einen stumpfen Winkel; bei noch anderen (e) ist das obere Ende des Kegels zipfelig gekrümmt. Weitere Untersuchungen werden zeigen, ob jene Regelmässigkeit innerhalb dieser Classe vorherrscht, welche EXNER bei *Hydrophilus piceus* fand.

Meine obschon wenig umfangreichen Erfahrungen ergeben also, dass lediglich aus der unregelmässigen Form die Unstatthaftigkeit der Theorie, nach welcher im zusammengesetzten Arthropodenauge so viel Bildchen zur Perception gebracht würden, als Krystallkegel gezählt werden, hervorgeht. Aber es scheint mir, dass EXNER und GRENACHER auch mit diesem Factor rechnen müssen. Wenn wir oben bei *Phronima* hervorhoben, dass jeder dieser sonderlich gestaltete »Kegel« ein vortrefflicher Lichtleiter sei, wenn wir ferner vermuthen dürfen, dass mit der Lichtstärke auch Farbenschattirungen zur Perception gebracht werden, wenn wir endlich auch die Vermuthung aufstellen, dass die trotz ihrer Variationen doch eine gewisse Regel befolgenden Krümmungen mit dem Raumsinne in Verbindung stehen mögen, so sind wir allerdings wieder bei einer besonderen Species von einfachem Auge angelangt. Diese Worte sind von mir niedergeschrieben, ehe GRENACHER'S Untersuchungen veröffentlicht waren, worin er abschliesst: »damit wären wir aber völlig auf dem Boden der MÜLLER'schen Theorie angelangt«. Ich glaube nicht, dass diese Formulierung statthaft ist. GRENACHER und EXNER legen das Hauptgewicht darauf, dass im zusammengesetzten Auge, wie der erstere sagt (a. a. O. p. 41), die brechenden Medien sich zum Isoliren des von einer bestimmten Stelle kommenden Lichtes umgestalten. Für *Phronima* und die anderen oben berührten Krebse trifft dies offenbar nicht zu. Aber für viele, vielleicht für die meisten Insecten, wo die geradachsigen Kegel vorzuherrschen scheinen, werden EXNER und GRENACHER im Recht sein. Ich bin also der Meinung, dass die Leistung des zusammengesetz-

ten Arthropodenauges sehr verschiedenartig abgestuft ist, und dass wir einen knappen Ausdruck für dasselbe noch nicht gefunden haben. Möge es GRENACHER bei der vollständigen Publication seiner reichen Untersuchungen gefallen, diesen meinen Zweifel zu widerlegen, oder, falls er ihn begründet findet, in den Resultaten der wahrscheinlich für lange Zeit massgebenden Arbeit zu berücksichtigen.

Strassburg, im October 1877.

---

## Erklärung der Abbildungen.

### Tafel I.

(Fig. 1 bis 9 von Phronima.)

Fig. 1. Linke Hälfte des Kopfes von Phronima.

Fig. 2. Umriss eines besonders stark ausgeprägten Gehirns dieses Thieres mittlere Partie.

Fig. 3. Krystallkegel aus dem centralen Theile des Seitenauges.

Fig. 4. 5. Eben solche Kegel von der Peripherie.

Fig. 6. Spindeltheil eines Kegels, dessen Achsensubstanz in die Nervenfasern überzugehen scheint.

Fig. 7. Fadenkegel aus dem Stirn-Scheitel-Auge.

Fig. 8. Kegelkopf in seiner Stellung zur Kopfdecke. *s* die (SEMPER'schen) Kerne der zu jedem Kegel gehörigen Doppelzelle; *u* Umfang der Zellen; *m* gemeinschaftliche Wandung, welche sich in den Kegelspalt *h* fortsetzt; *n* Zeichnungen oder Körper unsicherer Bedeutung.

Fig. 9. Ein isolirter Kegelkopf mit tiefem Spalt und theilweise granulirter Oberfläche.

Fig. 10. Ein Krystallkegel eines Palämon von zwei Flächen aus. *k* sind die von SCHULTZE gebrauchten Bezeichnungen.

Fig. 11. Krystallkegel von Palinurus.

Fig. 12. 13. Krystallkegel und hinterer Theil eines Kegels vom Flusskrebs.

Fig. 14. Corneafacette und Krystallkegel vom Hummer.

Fig. 15. Ein Krystallkegel des Hummers von drei Seiten.

Fig. 16. Krystallkegel von *Dyticus marginalis*.

---

