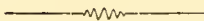


Ueber die Gesichtswahrnehmungen vermittelt des Facettenauges.

Von Dr. Julius Notthafft.

Mit drei Tafeln.



Durch die schönen Untersuchungen über das Sehorgan der Arthropoden, welche Grenacher in den letzten Jahren mit wahrhaft staunenswerther Sorgfalt und Geschicklichkeit ausgeführt und neuerdings in Begleitung einer Auswahl höchst anschaulicher und klarer Abbildungen mitgetheilt hat ¹⁾, ist das tiefe räthselhafte Dunkel fast durchaus gelichtet worden, welches so lange den feineren Bau dieses Organes und die besondere Art seiner Function unhüllte und selbst auf die schwer verständlichen, oft wunderlichen, ja sogar mit sich selbst streitenden Deutungen der Forscher seinen trüben Schatten zu werfen schien. In dem eifrigen Streben nämlich, die für den ersten Blick so seltsamen Einzelheiten jenes wunderbaren Organes zu erklären, jedem Theile seine besondere Leistung zuzuweisen, liess man vielfach der Phantasie allzu willkürlich freien Lauf, unbekümmert darum, dass man sich vielleicht mit einfachen bekannten Sätzen der Optik und der Physiologie in schroffen Widerspruch setzte, während man andererseits einzelnen physikalischen Eigenthümlichkeiten der Cornea z. B., welche in deren besonderem Bau mitbegründet, der Beobachtung mühelos sich darboten, für die Thätigkeit des Organes aber nach Allem durchaus nicht wesentlich in Betracht kommen können, eine übertrieben hohe Wichtigkeit beimaass. War es doch, als ob man sich mehr zur Aufgabe gestellt hätte, den Gegner zu bekämpfen, dessen Annahmen und Sätze in ihrer Unhaltbarkeit zu erweisen, als vorurtheilsfrei an der blossen unermüdlichen Betrachtung des Gegenstandes selbst sich den allein untrüglichen Maassstab zur Beurtheilung theoretischer Behauptungen zu bilden. Es kann nicht auffallend erscheinen, dass man dabei vielfach über das Ziel hinausschoss und

¹⁾ Göttingen, 1879.

sich durch das Streben nach möglichst ausgiebiger Negation der vom Gegner ausgesprochenen Ideen verleiten liess, seinerseits in ganz überflüssiger Weise zu positiven Angaben eben hierüber fortzuschreiten, deren Unwahrscheinlichkeit, ja Unmöglichkeit offen am Tage liegt. — Johannes Müller hatte die Krystallkegel des Facettenauges für lediglich der Sonderung des einfallenden Lichts dienende Apparate erklärt; ihr regelmässiges Vorhandensein im zusammengesetzten Auge der Insekten und Crustaceen hatte er zum Ausgangspunkt und Fundament seiner treffenden Erörterungen gemacht; auf den Umstand endlich, dass diese Theile bis auf seine Zeit zu wenig beachtet worden, ja fast gänzlich unbekannt geblieben waren, hatte er die vor ihm herrschende grosse Unsicherheit in den theoretischen Annahmen zurückzuführen gesucht. — Auf der gegnerischen Seite, welche der Theorie vom musivischen Sehen abhold, ihr Heil im Aufsuchen und Hervorheben der durchgreifendsten Analogie des Facettenauges mit dem Sehorgane der höheren Thiere suchte; welche eine Cornea und eine Sklerotika, eine Iris mit radiären Muskelfasern und eine Pupille, ferner einer Art von Accommodation dienende Muskelfäden eine Chorioidea und die verschiedenen Schichten der Retina, kurz beinahe sämmtliche das Wirbelthierauge bildende Stücke in den Theilen eines jeden einzelnen Elementes des zusammengesetzten Auges wiederzufinden glaubte, machte man aus den genannten Kegeln die Endigungen der Sehstäbe; man liess also die, hier im Ganzen convexe, feinste Ausbreitung des Sehnerven bis unmittelbar an die hintere Fläche der Cornea heranreichen. Nicht genug, dass man damit die sonst so streng durchgeführte Vergleichung mit dem Wirbelthierauge, in welchem zwischen der Retina und dem lichtbrechenden Apparate ein Glaskörper bekanntlich stets vorhanden ist, auffallender und inconsequenter Weise nun plötzlich in diesem einen Punkte verliess: folgt nicht schon aus den einfachen Brechungsgesetzen des Lichtes mit Nothwendigkeit, dass die percipirende Nervenendigung vom lichtbrechenden Apparate durch einen gewissen, wenn auch vielleicht nicht sehr beträchtlichen Abstand getrennt sein muss?

Was aber soll man gar von jener Hypothese halten, welcher zufolge die Function der besprochenen Theile eine doppelte ist, indem sie erstlich lichtempfindlich sein, zugleich aber auch durch ihre lichtbrechenden Eigenschaften wirken sollen? Ein Gedanke, der allerdings durch seine Neuheit frappirend zu wirken geeignet ist, welcher sich jedoch bei genauerer Ueberlegung als völlig inhaltsleer herausstellt. Denn soviel ist ja freilich klar, und muss unbedingt zugegeben werden, dass auch ein nervöses, insbesondere ein lichtempfindliches Gebilde, — wenn es nämlich eine hinlängliche Durchsichtigkeit und Klarheit besitzt, sowie vermöge des von demjenigen des umgebenden Mediums abweichenden Brechungscoefficienten seiner Substanz und zufolge der besonderen Gestaltung der es begrenzenden Flächen, — auf ge-

eignet einfallende Lichtstrahlen eine brechende Wirkung auszuüben vermag, ja, ebensogut wie jeder andere Körper von den gleichen optischen Eigenschaften, ausüben muss. Sicherlich aber kann ein lichtempfindliches Organ, auch wenn es die geschilderte physikalische Beschaffenheit besitzt, denjenigen Lichtstrahlen, welche percipirt werden, gegenüber seine lichtbrechende Kraft nicht zur Geltung bringen. Denn unter Lichtbrechung versteht man doch die Abänderung der bis dahin eingehaltenen Fortpflanzungsrichtung der Aetherschwingungen an der Grenzfläche zweier Medien von verschiedener optischer Dichte; Perception des Lichtes aber ist nichts anderes als die Umwandlung der Wellenbewegung des Lichtäthers in Nervenerregung einer besonderen Art. Wie ist es nun denkbar, dass ein und dasselbe, in seiner ganzen Ausdehnung in gleichartiger Beschaffenheit erscheinende Organ im Stande sein sollte, eben dieselben Lichtstrahlen zu brechen, d. h. aus ihrer seitherigen Bewegungsrichtung abzulenken, und zugleich zu percipiren, d. h. sie als das, was sie bisher waren, zu vernichten und in etwas ganz Neues, nämlich Affection der eigenartigen Nervenendigung zu übertragen? Nervenerregungen haben doch keine, für die Qualität oder den Grad der Empfindung irgendwie in Betracht kommende Richtung im Raume; und wenn die ins Innere des durchaus, und natürlich auch an seinem lichtbrechend wirkenden Vorderende, nervösen Organes eindringenden Strahlen mehr oder weniger schief zur Axe derselben verlaufen, so kann dieser Umstand die Menge des percipirten Lichtes doch um Nichts vermindern oder vermehren. Wenn also einer der Vertheidiger dieser Annahme die Frage aufwirft: »Die Hauptfunction der (Retina-) Stäbchen wird zwar Jeder gegenwärtig darin erblicken, dass sie lichtempfindliche Theile sind; aber wer kann bestimmt verneinen, dass sie nicht auch nebenbei durch ihre lichtbrechenden Eigenschaften wirken; wer vermag überhaupt genau zu sagen, wo die lichtbrechende Thätigkeit aufhört und die lichtempfindende anfängt?« so kann darauf mit gutem Recht geantwortet werden: Wenn auch nicht mehr, so lässt sich jedenfalls doch soviel mit Sicherheit sagen, dass die eine Thätigkeit eben da aufhören muss, ihre Wirkung zu äussern, wo die andere damit beginnt; und das genügt gerade zur Entscheidung des vorliegenden Falles. Mag das Lichtbrechungsvermögen des Krystallkegels so gross sein, als es immer will, für die Function des Sehorganes kann dies nicht im Geringsten in Betracht kommen, sobald man jenem daneben auch lichtempfindliche Eigenschaften zuschreibt.

Erwägt man die von den Vertheidigern der Müller'schen Theorie zu Gunsten ihrer Sache ins Feld geführten Beweisgründe etwas genauer, so stellt sich einer derselben (im Gegensatz zu den übrigen, durchaus nicht anzufechtenden, wie ich gleich bemerken muss) als ziemlich bedeutungslos und, wie es mir scheinen will, wenig zur Entscheidung geeignet heraus. Im

Interesse der Sache, deren Wahrheit ja, besonders durch die neuesten Untersuchungen Grenachers, über jeden Zweifel erhoben worden ist, deren Ansehen jedoch durch eine unkräftige Beweisführung nicht gewinnen kann, zumal, wenn ein Zuwachs an Beweisgründen völlig überflüssig und entbehrlich ist, sei es gestattet, auf jenen Punkt einen Augenblick näher einzugehen.

Im richtigen Gefühl des weitübertriebenen Werthes, welchen die Gegner dem durch die Facettenwölbung entworfenen umgekehrten Bildchen in Bezug auf die Entscheidung der theoretischen Frage beigelegt hatten (sah sich doch Max Schultze sogar zu dem Ausspruche veranlasst: »die Theorie von dem musivischen aufrechten Bilde im Auge der Insecten sei physikalisch nicht haltbar« ¹⁾), war man auf Seiten der Anhänger Johannes Müllers bestrebt, die Bedeutungslosigkeit jenes optischen Bildes für die Function des Organes recht überzeugend darzuthun und seine Unbrauchbarkeit trotz aller seiner Bestimmtheit und Schönheit möglichst strenge zu erweisen. Zu diesem Zwecke hätte wohl der Nachweis genügen können, dass eine Retina, wie sie zur Perception des Bildchens erforderlich wäre, gar nicht vorhanden ist; welchen Nachweis zu führen erst Grenacher vollkommen gelungen ist. Allein derselbe bemühte sich nun weiter zu zeigen, dass auch der Ort, an welchem das Bildchen entsteht, nicht derjenige ist, wo es zufolge der Lage der nervösen Theile allein percipirt werden kann; und die Versuche der Art, die theils von dem eben genannten Forscher selbst ausgeführt, theils von Anderen unternommen und von Jenem nur in seiner Argumentation verwerthet worden sind, und welche der Natur der Sache nach mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen haben, sind es, die wohl zu gegründeten Ausstellungen Veranlassung geben. Vor Allem ist nach meiner Ansicht zu tadeln, dass dieselben in viel zu geringem Umfange angestellt und nur auf einige wenige Arten ausgedehnt worden sind. So benutzte Dor ²⁾ ein Insect, das er *Macroglossus elatarum* nennt, Exner ³⁾ die Käfergattung *Hydrophilus*, Grenacher »verschiedene Dämmerungs- und Nachtfalter« ⁴⁾. Es ist wohl richtig, dass, wenn es gelingen könnte, auch nur in einem einzigen Falle völlig zweifellos nachzuweisen, dass der Ort der Bildentstehung und derjenige der Perception nicht identisch sind, — wobei man aber durchaus unter den gleichen Umständen zu arbeiten hätte, wie die Natur sie bietet, — dass dies genügen würde, die Sache zu entscheiden und volle Berechtigung dazu geben würde, sich die Wiederholung des

¹⁾ Untersuchungen über die zusammengesetzten Augen der Krebse und Insecten, Bonn 1868. pag. 3.

²⁾ De la vision chez les Arthropodes? Biblioth. univers. 1861.

³⁾ Sitzungsberichte der Wiener Academie LXXII, Juliheft 1875.

⁴⁾ Das Sehorgan der Arthropoden, pag. 148.

mühseligen, zur Anstellung des Experimentes erforderlichen Verfahrens zu ersparen. Denn bei der, soweit bis jetzt bekannt, in allen wesentlichen Stücken constatirten durchgreifenden Uebereinstimmung aller Formen des in den weniger wichtigen Verhältnissen seines Baues eine fast unendliche Anzahl von Modificationen aufweisenden Facettenauges müsste der Analogieschluss auf eine in den Hauptpunkten identische Function wohl gestattet sein. Da es jedoch natürlicherweise nicht möglich ist, die Bedingungen, wie sie in der Natur gegeben sind, alle auch im Versuch genau herzustellen, so blieben dem Gegner immer noch manche Einwendungen übrig, der Art, wie: man habe vielleicht eine der unumgänglich nothwendigen Bedingungen übersehen und beim Präpariren allzu störend eingegriffen, oder auch, man habe möglicherweise zufällig nicht die günstigsten Objecte ausgewählt. Durch eine möglichst grosse Anzahl von Versuchen hätte man also das zu ersetzen sich bemühen sollen, was den einzelnen an Gewicht nothwendig abgehen musste; durch annähernde Uebereinstimmung der Resultate unter einander, durch ihren gemeinsamen entschiedenen Protest gegen die dem Bildchen ungebürenderweise zugesprochene hohe Bedeutung hätte man die Beweiskraft dieses Argumentes erhöhen sollen. Wie steht es aber in Wirklichkeit mit der doch mindestens zu erwartenden annähernden Einhelligkeit der wenn auch durch eine viel zu kleine Zahl von Versuchen gewonnenen Ergebnisse? Die Verschiedenheit der Antworten könnte gar nicht grösser sein. Während nämlich Exner durch Rechnung fand, dass das unter Mitwirkung des Krystallkegels durch die Corneafacette entworfene Bild erst circa drei Millimeter hinter der Hornhaut entstehen würde, also in einem Abstände von derselben, welcher den Durchmesser des ganzen Auges um ein Beträchtliches übertrifft, fand Grenacher experimentell, dass da, wo man das Bildchen erwarten müsste, nämlich hinter oder an der Spitze der Kegel, nichts von einem solchen zu sehen ist; es erscheint erst bei der allmählichen Durchmusterung des Kegels von dessen Spitze aus in der Richtung nach der Basis, anfangs undeutlich, dann immer schärfer und klarer werdend, im Innern des Kegels. Dor dagegen wurde überrascht durch das völlige Zusammenfallen der Focaldistanz mit der Länge des Krystallkegels.

Doch man mag von diesem einzelnen Punkt auch denken, was man immer will: der lange hin und her schwankende Streit der Meinungen ist Dank den Untersuchungen Grenachers und den mit Evidenz aus denselben sich ergebenden Folgerungen nun endgiltig entschieden und die als Siegerin aus demselben hervorgegangene Theorie vom musivischen Sehen wird fortan wohl unbestritten des ihr zukommenden allgemeinen Ansehens sich erfreuen dürfen. Es ist jetzt an der Zeit, näher zu untersuchen, ob es nicht möglich sei, über die Richtung und die Menge der die einzelnen Sehstäbchen afficirenden Lichtstrahlen zu etwas bestimmteren,

schärfer umgrenzten Ansichten sich zu erheben, als sie durch die von Johannes Müller aufgestellten Sätze in allgemeinen Umrissen bereits gegeben sind. Wenn auch das durch präcisere Fassung eines der Hauptsätze der Theorie zu Erreichende vielleicht als an sich unbedeutend und von nur geringfügigem Werthe erscheinen mag; wenn auch die kleine Abänderung sich mit wenigen Worten ausdrücken lässt, die nach meiner Ansicht nothwendig in der Bezeichnung der wirksamen, bis jetzt nur ganz allgemein als radial oder senkrecht einfallende charakterisirten, Strahlen eintreten muss; wenn endlich das zu diesem Zwecke von mir Vorzuschlagende sich nur stark einleuchtend machen, aber nicht streng beweisen lässt: so bietet andererseits der einzuhaltende Gang der Untersuchung vielfach Gelegenheit, die gewöhnlichen aber nicht ganz zutreffenden Vorstellungen über die besondere Art und Weise der Thätigkeit des in Rede stehenden absonderlich gebauten Sehorgans zu berichtigen. An Stelle der häufig vorgebrachten unbestimmten Annahmen, wie: dass das Facettenauge eines der vollkommensten unter den in der ganzen Thierreihe sich findenden Organen des Gesichtssinnes sei; dass es sich mit dem neben ihm am selben Organismus häufig sich zeigenden Stemma in der Art in die Function des Sehens theile, dass dieses zum Blicken in der Nähe, jenes zur Umschau in weiterer Entfernung sich eigne, und Anderes der Art mehr, wird nachgewiesen werden: dass die Gesichtswahrnehmungen vermittelt des zusammengesetzten Auges den mit demselben ausgestatteten Einzelwesen durchaus nicht in analoger Weise zum Nutzen gereichen, wie den Wirbelthieren die Eindrücke auf der Netzhaut ihres höher ausgebildeten Auges; dass vielmehr die ohne Mitwirkung lichtbrechender Apparate verlaufende ¹⁾ Thätigkeit jenes Organes sozusagen ein ganz anderes Ziel verfolgt, als die auf dioptrischen Vorgängen beruhende Leistung des anderen; so dass also dem fremdartigen Bau und Aussehen des Organes der weit abweichende Charakter von dessen Function durchaus entspricht.

Den bequemsten Ausgangspunkt zu tieferem Eindringen in unseren Gegenstand bietet eine Untersuchung der Sehschärfe der in Rede stehenden Augen. Was in dieser Beziehung bis jetzt bekannt geworden, ist nicht allzuviel; besonders fehlen die überall so werthvollen zahlenmässigen Angaben.

Bei Johannes Müller, dem Vater unserer theoretischen Kenntnisse von der Function des Facettenauges findet sich ein Satz, der bei Erörterung des vorliegenden Gegenstandes als Grundsatz zu gelten hat und deshalb hier vorangestellt zu werden verdient. Er lautet ²⁾:

¹⁾ Insofern, als die wirksamen Strahlen eben die ungebrochen durch die allerdings sphärisch gekrümmten durchsichtigen Bedeckungen der Nervenendigungen durchfallenden sind.

²⁾ Zur vergl. Phys. d. Gesichtssinnes pag. 366. —

»Jede Facette und jeder Krystallkegel entspricht einem bestimmten Theil des Horizontes;« in der Art, könnte man erläuternd beifügen, dass der von diesem bestimmten Theil des Gesichtsfeldes ausgehende Strahlencomplex im Allgemeinen nur die einem einzigen Kegel sich nach innen anschliessende und, wie Grenacher überzeugend nachgewiesen, eine physiologische Einheit darstellende Retinula afficirt, und selbstverständlich zu einem einheitlich verschmolzenen Eindruck von mittlerer Qualität erregt, gleichgiltig, von wie vielen, unter sich vielleicht an Färbung und Intensität verschiedenen leuchtenden Punkten auch der zur Einwirkung gelangende Strahlenbüschel ausgesendet worden sein mag. — Unmittelbar einleuchtend ist auch folgender Satz ¹⁾ »Je mehr nun ferner der durchsichtigen Kegel in einem Kugelabschnitt des Auges bestimmter Grösse sind, um so bestimmter wird die Begrenzung des Bildes im Inneren des Auges werden.« Weiterhin fasst er das Ergebniss seiner Untersuchung über die relative Schärfe der Gesichtswahrnehmungen in den Sätzen zusammen: »Die Deutlichkeit steigt also mit der Grösse der Kugel, von welcher die Augen Abschnitte darstellen, mit der Menge und Kleinheit der Facetten und mit der Länge der durchsichtigen Kegel.« ²⁾ — »Das fernsichtigste Insectenauge ist auch das scharfsichtigste bei dem grössten Umfange, bei der grössten Menge sehr kleiner Facetten, bei grossen Krystallkegeln und dunklen Pigmenten.« ³⁾ Im zweiten dieser Sätze wird also zu den schon im ersten genannten drei hervorragend ins Spiel kommenden Factoren noch ein weiterer hinzugefügt (die Pigmentirung), ohne dessen hinreichende Mitwirkung diese Art des Sehens ja überhaupt undenkbar wäre, der aber eben deswegen wohl weit geringere Variationen aufweisen dürfte, als die übrigen. Wollte man es ganz genau nehmen, so liesse sich noch ein weiterer nicht unwichtiger Umstand anführen, nämlich die in sehr verschiedenen Graden auftretende Feinheit der inneren Zuspitzung des Krystallkegels. Ueber den Einfluss endlich, den der Abstand des Objectes vom Auge auf die Bestimmtheit des Eindrucks äussert, urtheilt Müller wie folgt: »Die zusammengesetzten Augen sehen um so deutlicher, je näher das Object, oder je weniger das von einzelnen Punkten ausgehende Licht die ausser dem senkrecht durchleuchteten Kegel liegenden durchsichtigen Theile, schief einfallend durchleuchten kann.« ⁴⁾ — »Je näher ein Gegenstand dem Insectenauge ist, um so grösser ist die Menge des Lichtes, welche dem senkrecht durchleuchteten Krystallkegel zukommt.« ⁵⁾ Erstlich wird also, wenn der Zwischenraum zwischen Gegenstand und Auge wächst, die Reinheit des Bildes abnehmen, dadurch, dass ein und derselbe Punkt des Gegenstandes mehrere Elemente des Auges erregt,

¹⁾ Ebenda.

²⁾ pag. 374. — ³⁾ pag. 378.

⁴⁾ pag. 374. — ⁵⁾ pag. 377.

statt eines einzigen, wie es bei grösserer Nähe des Objectes geschieht; zweitens muss die Specification des Bildes auch dadurch bei zunehmendem Abstände allmählich verschwinden, dass jeder kleinste Theil des Gegenstandes alsdann nur im Stande ist, einen immer schwächer werdenden Eindruck auf das dem gerade auf ihn zugekehrten Kegel angehörige Nervenelement zu machen. Drittens muss aber endlich das Netzhautbild dadurch an Deutlichkeit verlieren, dass es kleiner wird, da ja der in grösserer Entfernung befindliche Gegenstand unter einem kleineren Sehwinkel erscheint. Die zunehmende Kleinheit des Bildes bringt es nämlich mit sich, dass die Einzelheiten desselben sich mehr und mehr mit einander vermischen und in einander verschwimmen, bis endlich bei einem gewissen Punkte der Charakter des Ganzen bis zur völligen Unkenntlichkeit verwischt und entstellt ist. Auf diesen letzteren Umstand hat Johannes Müller seine Aufmerksamkeit gar nicht gerichtet; und doch ist eine Untersuchung darüber, in welcher Distanz das zusammengesetzte Auge einen Gegenstand von gewisser Grösse noch mit aller Bestimmtheit zu erkennen vermag, entscheidend für das Zustandekommen einer völlig richtigen und angemessenen Vorstellung von der besonderen Art des Functionirens, zu welcher das Facettenauge, im Gegensatze zu den übrigen bekannten Gesichtsorganen, geschaffen scheint.

Von späteren Autoren erinnere ich mich nur einer hierhergehörigen Aeusserung Claparède's,¹⁾ der nach einer ungenauen Methode annäherungsweise die Grösse des einer Facette der Honigbiene entsprechenden Sehfeldes für die Entfernung von 20 Fuss auf 8 — 9 Quadratzoll und für einen Abstand von 6 Fuss auf 1,3 Quadratzoll feststellte. Auf die von Claparède aus diesen Zahlen gezogenen Schlüsse werde ich später noch zurückkommen.

In der folgenden Auseinandersetzung sind von den fünf die Schärfe und Bestimmtheit der im Auge entstehenden Bilder der Aussenwelt, wie oben schon erwähnt, hauptsächlich beeinflussenden Factoren, nämlich Grösse der Facetten, Länge des Radius der Augenkugel, Querschnitt des Inneren des Krystallkegel, Abstand der Retinula von der Hornhaut, endlich Dichte der Anhäufung des Pigmentes und Undurchdringlichkeit desselben für das Licht nur die beiden ersten Grössen, als vorzugsweise wichtig und zugleich auf einfache Weise bestimmbar, in Betracht gezogen worden. Es wird also der Einfachheit halber angenommen, dass eine jede einzelne Retinula ganz ausschliesslich diejenigen Strahlen treffen, welche von dem genau in der Richtung ihrer Längserstreckung befindlichen Theile des Gesamtsehfeldes ausstrahlen; während alle übrigen irgendwie vollständig abgehalten werden. Da ein solches Verhalten jedoch der theoretisch vollkommenen Beschaffenheit des Auges entsprechen würde und wir kaum mehr erwarten dürfen, als dass vielleicht bei einer geringen Minderzahl von

¹⁾ Zeitschrift für wissensch. Zoologie, Band X (1860).

Arten eine Annäherung an diesen vollkommenen Zustand sich herausstellen wird, während die Organe aller übrigen hinter der überhaupt denkbar höchsten Stufe der Ausbildung und Leistungsfähigkeit sicherlich mehr oder weniger zurückbleiben werden, so ergibt sich schon hieraus, dass die Unterscheidbarkeit der wahrgenommenen Gegenstände jedenfalls in den meisten Fällen geringer sein muss, als es zufolge den übrigen in Berücksichtigung gezogenen Umständen allein der Fall sein würde.

Es kommt nun hier nicht so sehr darauf an, weitere gesetzmässige Beziehungen zwischen den Verhältnissen der Gruppierung und der Grösse der einzelnen Augentheile einerseits und der Stufe der Leistungsfähigkeit andererseits aufzufinden und in allgemeingiltiger Form auszusprechen, wodurch die Sammlung derartiger Sätze von fundamentaler Bedeutung und nicht zu bestreitendem Werthe, die wir dem Scharfsinn Johannes Müllers verdanken, sich vielleicht noch um ein Geringes vermehren liesse. Was uns hier interessirt, ist vielmehr einmal die Bestimmung des kleinsten Seh winkels, dann die Berechnung der Grösse des einer einzelnen Facette in gewissen Abständen vom Auge entsprechenden Sehfeldes, und zwar für eine möglichst grosse Anzahl von Fällen und mit dem höchsten erreichbaren Grade von Präcision und Zuverlässigkeit.

Es dürfte vielleicht nicht überflüssig sein, beide eben gebrauchten Begriffe, nämlich »kleinster Seh winkel« und »Sehfeld« in dem speciellen Sinne, den sie hier haben, kurz zu definiren. Einfach ist dies für den zweitgenannten Ausdruck. Unter dem Sehfelde einer einzelnen Facette, unter einem Elementarsehfelde ist die Gesamtheit derjenigen leuchtenden Punkte zu verstehen, von welchen Strahlen zu einem und demselben Retinaelement gelangen und so zum einheitlichen Eindruck eines hellen Fleckchens unter einander verschmelzen; Vermehrung der Anzahl der leuchtenden Punkte wird demzufolge ebenso wie die Steigerung der Intensität der einzelnen die Helligkeit des wahrgenommenen Lichtfleckes verstärken. Den Abstand der Mittelpunkte zweier benachbarten Elementar-Sehfelder erhält man für jeden beliebigen Abstand des Objectes, indem man die optischen Axen zweier dicht neben einander gelegener Augenelemente soweit verlängert, bis sie die dem Auge zugekehrte Fläche des Gegenstandes treffen. Es fragt sich nun weiter, wie die Sehfelder benachbarter Facetten sich zu einander verhalten, nämlich, ob sie sich theilweise, an den Rändern, decken, oder einander gerade berühren, oder aber durch Abstände von einander getrennt werden, deren Inhalt also der Wahrnehmung entzogen bliebe, wenigstens so lange das Auge seine Lage im Raum unverändert beibehält. Am einfachsten und natürlichsten möchte wohl von vornherein die zweitgenannte Annahme erscheinen. Johannes Müller indessen hielt offenbar die erste für die wahr-

scheinlichste, wenigstens unter der Voraussetzung: Die Entfernung des Gegenstandes sei eine derartige, dass die von einem und demselben Punkte des letzteren ausgehenden und auf zwei neben einander gelegene Facetten auftreffenden Strahlen nicht allzustark divergiren. Es würde alsdann die Richtung eines zwar nicht völlig senkrecht oder radial, aber doch noch sehr steil einfallenden Strahles durch die Brechung soweit abgeändert werden können, dass er das nicht pigmentirte schmale Innerende auch solcher Krystallkegel noch erreichte, in deren Axenrichtung sein Ausgangspunkt nicht gelegen ist, und so, ohne gleich den schräger gerichteten Strahlen, von den geschwärzten Seidenwänden derselben verschluckt zu werden, zu den tiefer im Inneren des Auges gelegenen, den bezeichneten Kegeln zugehörigen lichtempfindlichen Theilen vordringen könnte. Wenn sich dieser Vorgang in allen rings um dasjenige Element gruppirten Kegeln wiederholte, in dessen Radius sich der lichtausgebende Punkt befindet, so würde diesem einen Punkte des Objectes nicht wiederum ein Punkt auf der Retina, sondern ein kleiner Zerstreungskreis entsprechen; aber nicht eine Kreislinie, wie auf der Netzhaut des Wirbelthierauges, sondern eine Kreisfläche, deren Centrum das Helligkeitsmaximum der Strahlen einer und derselben Art enthält. Inwiefern nun jedes Retinaelement hauptsächlich von dem genau in seiner optischen Axe gelegenen Theile des gesehenen Gegenstandes Licht erhielte; zugleich aber auch mehr oder weniger stark durch eine je nach der Entfernung des Objectes wechselnde Menge von Punkten erleuchtet würde, deren Lage schon mehr der Richtung der optischen Axen der benachbarten unliegenden Augenelemente entspräche, als der des erstgenannten von ihnen umgebenen, und welche auch jene vorwiegend erhellen, könnte man wohl von einer theilweisen Deckung der an einander anstossenden Sehfelder reden.

Andrerseits darf bei Beurtheilung der Sache nicht ausser Acht gelassen werden, dass vielfach, besonders häufig bei im hellen Sonnenschein fliegenden Insecten eine Einrichtung anzutreffen ist, welche ganz den Eindruck macht, als ob sie die Bestimmung hätte, die den einzelnen Elementen des zusammengesetzten Auges zugehörigen Sehfelder möglichst von einander zu sondern; ich meine die von manchen Autoren mit der Iris der höheren Thiere verglichene, die seitlichen Zusammensetzungsflächen der Hornhautprismen einhüllende, auf der Flächenansicht öfter in Form eines breiten Ringes sich darstellende und nur die mittlere Partie der Facette für den ungehinderten Durchgang des Lichtes offen lassende, gelbbraunliche oder tiefschwarze Pigmentirung.

Da nun Einiges für den einen, Einiges dagegen ebenso sehr für den anderen der beiden extremen Fälle unter den drei oben aufgezählten zu sprechen scheint, diese aber natürlich doch nicht beide zugleich stattfinden können, so ist es wohl das gerathenste, vorläufig den

gleichsam in der Mitte stehenden und auch durch Einfachheit sich empfehlenden Fall für den richtigen zu halten; d. h. bis auf Weiteres anzunehmen, dass die Elementarsehfelder sich mit ihren Rändern ungefähr berühren. Wir können dies um so eher thun, da diese Annahme für die Reinheit der Netzhautbilder gewisse, wenn auch nicht sehr ins Gewicht fallende Vortheile zu bieten scheint. Denn wenn wir später aus der geringen Deutlichkeit jener Bilder Folgerungen von grösserer Tragweite herleiten, so sind wir dann sicher, diese nicht zum Theil auf eine fehlerhafte Annahme in Betreff des eben besprochenen Punktes zu basiren. — Hiernach erhält man die Grösse eines Elementarsehfeldes für jeden verlangten Abstand vom Auge, indem man um den Mittelpunkt der Kugel, von welcher dieses einen Abschnitt bildet, eine das jedesmalige Object berührende Kugel, also mit einem Radius gleich der Distanz desselben, beschreibt und die Facetten im gleichen Verhältniss vergrössert denkt, in welchem die Oberflächen beider Kugeln zu einander stehen; oder, indem man die Ebenen, welche sich durch die Seitenwände der Facetten und den Mittelpunkt der Augenkugel legen lassen, bis zum Durchschnitt, mit dem Gegenstand erweitert denkt. — In den Fällen, wo die Augenwölbung vollkommen sphärisch erscheint, werden die Elementarsehfelder, die ja nichts Anderes sind, als die vom Mittelpunkt der Augenkugel nach aussen projecirten Facetten, der polyedrischen Figur der letzteren stets ähnlich bleiben; wenn dagegen die Form des Auges von der Kugelgestalt erheblicher abweicht, werden sie mit wachsender Vergrösserung eine zunehmende Verzerrung erleiden wie weiter unten eingehender gezeigt werden soll.

Uebrigens würde die sichere Entscheidung der Frage, welche uns soeben beschäftigt hat, von einiger Wichtigkeit dafür sein, welche Vorstellungen wir uns vom kleinsten Sehwinkel der Insecten zu bilden haben; worunter wir vorläufig die kleinste Winkeldistanz verstehen wollen, welche die von zwei verschiedenen Punkten auf die kugelige Hornhaut des Auges gefällten Senkrechten mit einander wenigstens einschliessen müssen, wenn jene beiden Punkte als zwei getrennte mit Deutlichkeit sollen unterschieden werden können. Nehmen wir beispielshalber einen Augenblick für gewiss an, die einzelnen Sehfelder, aus welchen das ganze vermittelst des Gesichtsorganes zu beherrschende Gebiet sich zusammensetzt, hätten wenigstens innerhalb gewisser Abstände vom Auge eine derartige Ausdehnung, dass sie mit ihren Rändern einander gerade berühren; die Breite eines Elementarsehfeldes betrage etwa einen Centimeter. Wenn nun zwei leuchtende Punkte auf dunklem Grunde, die um einen Millimeter von einander entfernt sind, sich in solcher Lage zum Auge befinden, dass der eine ganz in die Nähe des linken Randes eines Elementarsehfeldes, der andere dagegen jenseits des rechten Randes des unmittelbar daranstossenden zu liegen kommt, so werden die von ihnen ausgehenden, das Auge

senkrecht treffenden Strahlen in das Bereich zweier verschiedenen Retinulä fallen, mithin die Punkte als zwei gesonderte getrennt empfunden werden können; während andererseits zwei helle Punkte, die vermöge ihrer augenblicklichen besonderen Lage zum Auge in das Sehfeld einer und derselben Facette gehören, noch bei einem gegenseitigen Abstände von ungefähr einem Centimeter nicht als zwei getrennte unterschieden werden können, sondern den Eindruck eines einzigen Fleckes von der doppelten Lichtstärke machen müssen; der jedoch bei der geringsten seitlichen Drehung des Auges sich sofort in zwei von entsprechend verminderter Helligkeit auflösen wird. Das gewählte Beispiel stellt allerdings einen extremen Fall vor; allein soviel leuchtet aus demselben wohl ohne Weiteres ein, dass ein dem geschilderten analoges Verhalten des Auges gestatten würde, den kleinsten Schwinkel innerhalb weiter Grenzen schwankend und möglicherweise selbst bis zu einer verschwindend kleinen Grösse herabsinkend sich vorzustellen; gleichviel, wie gross der Zwischenraum zwischen Sehorgan und Object auch gewählt werden möge. Die beträchtlichen Schwankungen in der Grösse des Schwinkel-Minimums würden einzig und allein von der wechselnden zufälligen Lage des Objectes im Verhältnisse zum Auge abhängig sein, während alle übrigen Umstände, wie die Beschaffenheit des ersteren und seine Beleuchtung als gänzlich unverändert anzunehmen wären.

Unter einer ganz bestimmten Voraussetzung lässt sich zwar denken, dass zwei Punkte, die in einem gewissen Abstände von einander sich befinden, allemal (wenn sie nämlich überhaupt beide wirklich erblickt werden) auch als zwei getrennte unterschieden werden müssen und nicht gelegentlich einmal den Eindruck eines einzigen hervorbringen können. Dies würde, wie wohl nicht weiter auszuführen, dann der Fall sein, wenn die Elementarsehfelder durch Abstände getrennt würden, deren Breite ihrer eigenen ungefähr gleichkäme. Damit nämlich zwei Punkte als von einander gesondert wahrgenommen werden können, müssen sie unter diesen Umständen offenbar mindestens um etwas weiter von einander abstehen, als die Distanz zwischen zwei benachbarten Elementarsehfeldern beträgt. Diese ist aber gleich der Breite der letzteren selbst; folglich können niemals beide Punkte zugleich sich innerhalb des nämlichen Sehfeldes befinden, was doch die Bedingung ihres scheinbaren Zusammenfallens bilden würde. Allein mit jener Annahme verwickeln wir uns in eine neue vielleicht noch grössere Schwierigkeit; denn ihr zufolge würde ein Insect immer weniger als nur die Hälfte des in das Bereich seines Gesamtsehfeldes fallenden Theiles seiner Umgebung auf einmal wahrnehmen können; es würde von derselben nicht mehr erblicken, als man etwa beim Hindurchschauen durch ein groblöcheriges Sieb von den jenseits desselben befindlichen Dingen zu sehen bekommen würde, obgleich natürlich die einzelnen empfundenen hellen Punkte unmittelbar an einander sich anreihen würden,

und durch nichts auch nur das leiseste Gefühl davon erweckt zu werden brauchte, dass weit grössere in Wirklichkeit zwischen ihnen gelegene Theile des Gegenstandes dem Sinne entzogen blieben. Eine unbedeutende Bewegung des Kopfes dagegen würde hinreichen, das eben Empfundene mehr oder minder, vielleicht gänzlich verschwinden und Neues, allerdings an Leuchtkraft und Farbe von jenem vielleicht nur unwesentlich Verschiedenes an seine Stelle treten zu lassen. Eine solche Art, sich über die umgebenden Dinge zu orientiren, würde aber den Ideen durchaus nicht zu entsprechen vermögen, die wir uns von der Leistungsfähigkeit des Gesichtsesorganes bei so hoch entwickelten Thieren zu machen haben, wie es die Insecten im vollkommenen geflügelten Zustande sind.

Die umständliche Erörterung der Schwierigkeiten, welche sich bei Anwendung des in Rede stehenden Begriffes auf unsern Gegenstand ergeben, soll einmal auf die geringe Wahrscheinlichkeit einstweilen im Voraus aufmerksam machen, die meiner Meinung nach die Vorstellung für sich hat, als ob das Facettenauge, gleich den mit lichtbrechenden, bildentwerfenden Apparaten ausgestatteten Augen der höheren und auch vieler wirbellosen Thiere, in erster Linie zum deutlichen Erkennen der Dinge bestimmt sei. Andererseits soll obige Auseinandersetzung einigermaassen zur Entschuldigung der Willkür dienen, mit der man nothgedrungen, bei der Unmöglichkeit, die Frage durch das Experiment beantworten zu lassen, dem genannten Begriff eine etwas andere Bedeutung geben muss, wenn man ihn anders auf die Betrachtung des zusammengesetzten Auges übertragen will, was mir zum Zweck der vorliegenden Untersuchung von nicht ganz unerheblichem Nutzen zu sein scheint. Ich verstehe nämlich hier unter dem kleinsten Schwinkel die Winkeldistanz der Richtungen, welche zwei unmittelbar benachbarte von den im Allgemeinen radiär auseinanderstrahlenden Retinulä (oder auch den vollständigen einzelnen Augenelementen) in ihren Längserstreckungen einhalten. — Wenn nun Jemand aus den später sich ergebenden bedeutenden Differenzen zwischen den Werthen, welche diese Grösse beim Facettenauge erreicht, und den entsprechenden, durch das Experiment genau festgestellten Zahlen, welche für das menschliche Auge Geltung haben, schliessen zu dürfen glaubte, es handle sich hier um ganz verschiedene Dinge, welche mit Unrecht durch das gleiche Wort bezeichnet würden, so brauchte man sich dem gegenüber nur darauf zu berufen, dass ja auch im menschlichen Auge das durch Versuche bestimmte Minimum des Schwinkels nicht ganz ausser Zusammenhang mit der Richtungsverschiedenheit zweier benachbarten Sehstäbchen steht. Es ist nämlich der kleinste Schwinkel des menschlichen Auges etwa sechsmal so gross gefunden worden, als die Winkeldistanz zweier neben einander liegender Retinaelemente. Wenn wir nun die Hypothese auf-

stellen, im zusammengesetzten Auge der Arthropoden seien beide Winkelgrößen identisch, so kann diese Begriffsbestimmung die Schuld daran sicherlich nicht tragen, dass der Werth, den wir hiernach für den Sehwinkel im Minimum annehmen müssen, so unverhältnissmässig hoch ausfällt, wie später dargelegt werden soll; unserer hypothetischen Annahme nach müsste er ja im Gegentheil eher insofern fehlerhaft werden, dass er zu niedrig erschiene. Es kann also, wie vielleicht nochmals hervorgehoben werden darf, durch diese Definition des mehrfach genannten Begriffs in unsere Vorstellungen von der Sehschärfe der Insecten jedenfalls insoweit kein Irrthum sich einschleichen, dass wir dadurch veranlasst würden, die letztere zu unterschätzen.

Um nun diese Winkelgrösse mit der erforderlichen Genauigkeit zu bestimmen, können zwei verschiedene Wege eingeschlagen werden. Ganz direct lässt sich die dieselbe ausdrückende Zahl auffinden, wenn man ein Auge senkrecht zur Oberfläche durchschneidet und an diesem Präparat, das übrigens vorsichtig genug angefertigt werden müsste, dass nicht die natürliche Lage und Anordnung der inneren Weichtheile allzusehr gestört wird, einmal die in die Ebene des Schnittes fallende Reihe der Facetten zählt und alsdann den Winkel der Längsrichtungen der beiderseitigen äussersten mitgezählten Augenelemente feststellt. Letzteres geschieht wohl am einfachsten mittelst der zur mikroskopischen Winkelmessung von Krystallen bestimmten Vorrichtung, unter Anwendung einer mässigen Vergrösserung, oder mit Hülfe des Transporteurs und genauer Zeichnungen. Der in Folge der bei Herstellung des Präparates nicht gänzlich zu vermeidenden Störung in den gegenseitigen Lagerungsverhältnissen der zarten Gewebstheile ebenso, wie bei der Messung selbst allenfalls begangene kleinere Fehler würde durch die zur Auffindung der gesuchten Grösse erforderliche Division wohl ziemlich unerheblich gemacht werden; ich habe mich indessen einer anderen, wohl als die zuverlässigere anzusehenden, Methode bedient, welche gleich näher beschrieben werden wird. Da mir übrigens F. Leydigs »Tafeln zur vergleichenden Anatomie« gerade zur Hand waren, so habe ich das eben angegebene Verfahren auf einige in denselben enthaltene (Taf. VIII, Fig. 3 und 4, Taf. X, Fig. 1 und 2), bei mässiger Vergrösserung gezeichnete Querschnitte von Facettenaugen angewendet. Die Resultate sind in der folgenden Uebersicht zusammengestellt.

	Richtungs- unterschied der beiden End-Elemente.	Facettenzahl.	Kleinsten Seh- winkel.
<i>Apis mellifica</i>	104°	54	1° 56'
<i>Formica rufa</i> (Arbeiter)	51°	35	1° 27'
<i>Sphinx convolvuli</i>	67°	39	1° 43'
<i>Acherontia atropos</i>	20°	13	1° 32'

Von den genannten Insecten habe ich selbst zwei nicht weiter untersucht; für die beiden andern habe ich auf dem gleich näher anzugebenden Wege bedeutend niedrigere Zahlen gefunden (vgl. die unten folgende Tabelle). Vielleicht ist die Uebereinstimmung aus dem Grunde nicht grösser, weil die sonst so schönen und anschaulichen Abbildungen doch nicht mit dem zu Messungen erforderlichen hohen Grade von Genauigkeit hergestellt sind, was ja auch für den eigentlichen Zweck der Tafeln durchaus unnöthig ist. Uebrigens deutet auch die geringe Wahrscheinlichkeit, welche der Gedanke für sich zu haben scheint, dass die nicht zum Fluge befähigte Ameise ein schärferes Sehvermögen besitzen sollte, als die grossen äusserst fluggewandten Dämmerungsfalter, mit Entschiedenheit darauf hin, dass obige Zahlen wohl nur ganz beiläufig dem wahren Sachverhalte entsprechen.

Wie schon oben bemerkt, lässt sich der kleinste Sehwinkel des Facettenauges noch auf einem anderen Wege bestimmen. Wenn man nämlich den Radius der Augenkugel und die Breite einer Facette kennt, so lässt er sich aus diesen beiden Grössen, wie unten gezeigt wird, mittelst einer einfachen Rechnung finden. Die Ergebnisse meiner Untersuchungen sind in der nebenstehenden Tabelle zusammengestellt, zu deren Erläuterung später noch Einiges zu bemerken ist.

	Facettenbreite in Millimetern.	Radius der Augenkugel in Millimetern.	Kleinster Sehwinkel.	Entfernung, in der die Breite eines Elem.- Sehfeldes = 1 Centimeter, in Centimetern.
<i>Apis mellifica</i>	0,024	1,62; 0,75	—° 51'	67
<i>Bombus terrestris</i>	0,029	1,75; 1,37	—° 57'	60
<i>Xylocopa violacea</i>	0,035	2,75; 1,75	—° 44'	78
<i>Vespa vulgaris</i>	0,023	1,62; 1,00	—° 49'	70
<i>Vespa crabro</i>	0,032	2,50; 1,37	—° 44'	78
<i>Carabus auratus</i>	0,030	0,75	2° 18'	25
<i>Dytiscus?</i>	0,025	0,75	1° 55'	30
<i>Necrophorus vespillo</i>	0,020	1,50	—° 46'	75
<i>Cetonia aurata</i>	0,024	0,60	2° 18'	25
<i>Amphimalla solstitialis</i>	0,023	0,75	1° 45'	33
<i>Geotrupes stercorarius</i>	0,032	0,75	2° 27'	23
<i>Lytta vesicatoria</i>	0,036	0,75	2° 45'	21
<i>Cerambyx heros</i>	0,094	1,75	3° 5'	19
<i>Saperda carcharias</i>	0,045	1,50	1° 43'	33
<i>Astynamus aedilis</i>	0,036	0,75	2° 45'	21
<i>Phryganea rhombica</i>	0,023	0,38	3° 28'	17
<i>Panorpa communis</i>	0,020	0,50	2° 17'	25

	Facettenbreite in Millimetern.	Radius der Augenkugel in Millimetern.	Kleinsten Sehwinkel.	Entfernung, in der die Breite eines Elem.- Sehfeldes = 1 Centimeter, in Centimetern.
Melitaea didyma	0,018	0,75	1° 22'	42
Argynnis Dia	0,020	0,75	1° 32'	37
Argynnis Aglaja	0,028	1,56	1° 2'	56
Argynnis Adippe	0,026	1,50	—° 59'	58
Argynnis Paphia	0,026	1,40	1° 4'	54
Argynnis Latonia	0,024	1,06	1° 18'	44
Vanessa Io	0,021	1,25	—° 58'	59
Vanessa Antiopa	0,023	1,25	1° 4'	54
Vanessa Calbum	0,021	1,00	1° 12'	48
Vanessa urticae	0,022	1,00	1° 16'	45
Vanessa Prorsa	0,024	0,75	1° 50'	31
Vanessa cardui	0,024	1,40	—° 59'	58
Apatura Ilia	0,026	1,50	—° 59'	58
Arge Galatea	0,022	0,75	1° 41'	34
Erebia Medea	0,023	0,75	1° 45'	33
Satyrus Alcione	0,024	1,00	1° 22'	42
Pararge Megaera	0,021	0,75	1° 36'	36
Pararge Egeria	0,023	0,75	1° 45'	33
Epinephele Tithonus	0,018	0,75	1° 22'	42
Epinephele Dejanira	0,021	0,75	1° 36'	36
Lycaena Alexis	0,016	0,50	1° 50'	31
Lycaena Arion	0,018	0,75	1° 22'	42
Lycaena Adonis	0,017	0,75	1° 18'	44
Polyommatus Circe	0,019	0,75	1° 27'	39
Thecla betulae	0,019	0,75	1° 27'	39
Thecla ilicis	0,022	0,90	1° 24'	41
Papilio Machaon	0,024	1,25	1° 6'	52
Pieris brassicae	0,021	1,00	1° 12'	48
Colias Hyale	0,024	1,00	1° 22'	42
Gonopteryx rhamni	0,022	0,88	1° 26'	40
Hesperia Comma	0,024	0,75	1° 50'	31
Sphinx Elpenor	0,029	1,88	—° 53'	65
Sphinx euphorbiae	0,030	1,75	—° 59'	58
Sphinx nerii	0,034	2,75	—° 42'	81
Sphinx ligustri	0,030	1,68	1° 3'	56
Macroglossa stellatarum	0,029	1,40	1° 12'	48
Acherontia atropos	0,037	3,00	—° 42'	81
Zygaena filipendulae	0,024	0,75	1° 50'	31
Zygaena hippocrepidis	0,026	0,60	2° 29'	23
Callimorpha hera	0,024	0,60	2° 18'	25
Liparis dispar	0,022	0,75	1° 41'	34
Noctua?	0,022	0,75	1° 41'	34
Noctua?	0,021	0,75	1° 36'	36

	Facettenbreite in Millimetern.	Radius der Augenkugel in Millimetern.	Kleinsten Schwinkel.	Entfernung, in der die Breite eines Elem.- Sehfeldes = 1 Centimeter, in Centimetern.
<i>Agrion puella</i>	0,025	0,87	1° 39'	35
<i>Platycnemis pennipes</i>	0,025	0,87	1° 39'	35
<i>Libellula</i> ? (kleine grüne Art)	0,041	2,25; 1,50	1° 3'	55
<i>Libellula</i> ? (kleine rothe Art)	0,048	2,75; 2,00	1° —'	57
<i>Libellula depressa</i>	0,044	2,75	—° 55'	62
<i>Cordulia</i>	0,051	3,25; 2,50	—° 54'	64
<i>Aeshna</i> ? (braungefärbt)	0,049	3,75; 3,00	—° 45'	76
<i>Aeshna</i> ? (grün und blau)	0,045	4,00; 3,50	—° 39'	89
<i>Locusta verrucivora</i>	0,031	1,50; 1,25	1° 17'	48
<i>Locusta viridissima</i>	0,034	1,12; 1,00	1° 44'	33
<i>Gryllus</i> ?	0,032	1,37	1° 20'	43
<i>Forficula auricularia</i>	0,033	0,50	3° 47'	15
<i>Tipula oleracea</i>	0,028	0,50	3° 13'	18
<i>Tabanus hovinus</i> fem.	0,048	3,75; 2,75	—° 44'	78
<i>Tabanus</i> ?	0,034	1,50; 2,50	—° 47'	73
<i>Haematopota pluvialis</i>	0,027	0,75; 1,50	1° 2'	55
<i>Stratiomys chamaeleon</i>	0,030	1,75; 1,50	—° 59'	58
<i>Dioctria oelandica</i>	0,030	1,00	1° 43'	33
<i>Sarcophaga carnaria</i>	0,027	1,25	1° 14'	46
<i>Musca vomitoria</i>	0,027	1,25	1° 14'	46
<i>Musca Caesar</i>	0,031	1,25	1° 25'	40
<i>Musca domestica</i>	0,024	1,00	1° 22'	42
<i>Acauthosoma haemorrhoidalis</i>	0,028	0,30	5° 21'	11

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Insecten, deren Namen in der ersten Columnne enthalten sind, habe ich mein Augenmerk in erster Linie darauf gerichtet, mir, so weit es thunlich war, die grösseren und besonders die fluggewandteren Arten zu verschaffen, wie es z. B. die Dämmerungs- und auch die meisten Tagfalter sind, ferner die Libelluliden, viele Brachyceren, Hymenopteren und Andere; unter allen zur Betrachtung herangezogenen Arten ist der gewöhnliche Goldlaufkäfer, *Carabus auratus*, das einzige des Flugvermögens gänzlich entbehrende Thier. Ferner war ich bestrebt, die Untersuchung auf eine möglichst grosse Anzahl von Species auszudehnen, wie es ja nöthig ist, wenn den auf die gefundenen Zahlenwerthe gegründeten Schlüssen eine allgemeinere Bedeutung beigelegt werden soll. Es sind deshalb aus allen Ordnungen der Insecten Beispiele gewählt worden; und da es natürlich nicht möglich war, aus sämmtlichen eine so reiche Anzahl von Vertretern heranzuziehen, als dass nicht Verdacht sollte aufkommen können, es seien vielleicht absichtlich wenige, eine Ausnahme der

bildende Fälle herausgegriffen worden, oder auch, der Zufall habe in einer die Täuschung begünstigenden Weise sein Spiel getrieben, so sind wenigstens aus einer Ordnung, nämlich aus derjenigen der Lepidopteren, von welchen eine hinreichende Menge genau bestimmter Species gerade zur Verfügung stand, eine weit grössere Menge von Arten benutzt worden, als aus den übrigen Abtheilungen. Da sich nun bei der Betrachtung jener eine ziemliche Gleichförmigkeit der hier in Frage kommenden Thatfachen herausgestellt hat, so darf wohl nach der Analogie geschlossen werden, dass dasselbe auch innerhalb der übrigen Ordnungen der Insecten wenigstens einigermaassen zutreffen wird. — Von mehreren Thieren gelang es nicht mit voller Sicherheit die Species festzustellen, welcher sie zugehören; die Namen derselben sind deshalb mit einem Fragezeichen versehen worden.

Die zweite Spalte unserer Uebersicht giebt die durchschnittliche Breite der Facetten (von einer Seite des Sechseckes quer zur ihr parallel laufenden gegenüberliegenden gemessen) in Millimetern an. Es musste darauf ankommen, möglichst richtig den Durchschnittswerth zu bestimmen, von welchem die entsprechenden Werthe der einzelnen Elemente sich im einen Falle häufiger und in höherem Grade, im anderen seltener und in geringerem Maasse aufwärts wie abwärts zu entfernen pflegen. Um nun zu erreichen, dass eine möglichst grosse Anzahl von Facetten in Rechnung gebracht werden und auf den Ausfall des Resultates ihren Einfluss üben konnte, schien es am einfachsten und vortheilhaftesten, folgendermaassen zu verfahren. Zunächst wurde mit Hilfe eines auf den Tisch des Mikroskopes gelegten Ocularmikrometers die Länge des Durchmessers festgestellt, welcher dem kreisförmigen Sehfelde unter Benutzung einer etwa vierhundertfachen Vergrösserung zugehörte; sie ergab sich nach mehrfach wiederholter Prüfung übereinstimmend zu 0,345 Millim. Nachdem diese Grösse ein für allemal bestimmt worden war, liess sich die Breitenausdehnung einer Facette in der Art finden, dass ein durch kurzes Behandeln mit mässig starker Kalilauge in der Kälte von den dunkel gefärbten, der Innenseite anhängenden Theilen völlig befreites Stück der Hornhaut möglichst glatt auf einem Objectträger ausgebreitet und dergestalt in das Sehfeld des Mikroskopes gebracht wurde, dass eine Facettenreihe, mitten durch den erhellten sichtbaren Kreis laufend, gewissermaassen einen Durchmesser des letzteren darstellte. Wurde nun das Instrument auf die Oberfläche der Cornea genau eingestellt, so hatte das eben sichtbare Stück der Reihe, vom einen Rande des Sehfeldes bis zum anderen, eine Ausdehnung von genau 0,345 Mill.; und durch Abzählen der in dieser Reihe (soweit sie auf einmal gesehen werden konnte) enthaltenen Anzahl von Facetten und darauffolgendes Dividiren mit dem zuletzt erhaltenen Werthe in die vorher für die Länge der Reihe (soweit sie nämlich in Betracht kommt) gefundene Zahl konnte

die Grösse einer einzelnen Facette leicht bestimmt werden. Da wohl nur im selteneren Falle die Facetten wirklich regelmässige Sechsecke darstellen, meistens vielmehr verzerrt und nach einer Richtung vorzugsweise in die Länge gezogen erscheinen, so dass die Abstände der drei parallelen Seitenpaare oft äusserst ungleich sind, so musste, wenn man anders zu einem zutreffenden Bilde von der wahren Flächenerstreckung der Facetten gelangen wollte, deren Breite in allen drei zu den Sechsecksseiten perpendikulären Richtungen gemessen werden; es musste also, zufolge der einmal angenommenen Methode in jeder der drei Richtungen, in welchen die Facettenreihen verlaufen, indem sie sich unter einem Winkel von etwa 60° durchkreuzen, eine derselben zur Zählung ausgewählt werden. Derartige dreifache Zählungen wurden in der Regel an drei bis vier verschiedenen Stellen der Cornea einer und derselben Species ausgeführt, erforderlichenfalls auch an einer grösseren Menge. So fand ich (wenn es erlaubt ist, das Gesagte durch ein Beispiel zu erläutern) in der das Sehfeld des Mikroskopes in horizontaler Richtung durchlaufenden längsten Facettenreihe der Hornhaut von *Sphinx ligustri* eine Anzahl einmal von 11,3, dann von 11,8 und von 11,4 Facetten; die Bruchtheile sind natürlich bloss nach dem Augenmaass abgeschätzt. Die von links oben nach rechts unten gerichteten und jedesmal durch den Mittelpunkt des Sehfeldes gehenden Reihen ergaben die Werthe: 11; 11,6 und 11,5. Die von rechts oben nach links unten ziehenden endlich enthielten 11,3; 11,5 und 11,9 Elemente. Das arithmetische Mittel dieser Werthe ist 11,5; durch Division mit der letzteren Zahl in die der Messung zu Grunde gelegte Grösse (0,345) ergibt sich das Durchschnittsmaass einer Facette zu genau 0,03 Millimeter. — Da der sichtbare Theil einer Reihe meistens etwa zehn bis fünfzehn Facetten enthält, so ergibt sich, dass zum Zustandekommen eines einzigen Ergebnisses in der Regel eine Masse von etwa 120 bis 300 Facetten zusammengewirkt haben; gewiss eine stattliche Zahl! Und doch, wie verschwindend erscheint dieselbe gegenüber den Tausenden von Einzelelementen, die ein einziges Facettenauge von mittlerer Grösse zusammensetzen, und für deren Gesamtheit das auf dem beschriebenen Wege gefundene Resultat doch Geltung haben soll! Ich bin mir dieses Missverhältnisses wohl bewusst, jedoch ausser Stande gewesen, hierin eine Aenderung eintreten zu lassen; würde doch kaum die drei- oder fünffache Menge von Zählungen mit vollkommener Sicherheit zum Ziele führen! Es ist daher nicht unwahrscheinlich, dass das angegebene Durchschnittsmaass in den meisten Fällen von dem den Thatsachen entsprechenden ein wenig differirt; ich bin daher auch geneigt, der dritten Decimale der in der Uebersicht zusammengestellten Zahlen keinen allzu hohen Werth beizulegen. Noch viel eher müssen sich natürlich Differenzen bemerklich machen, wenn man die hier angeführten Resultate mit den durch Messung einer einzelnen beliebig ausgewählten Facette

oder einer nur geringen Zahl von solchen erhaltenen vergleicht. So finde ich bei Grenacher¹⁾ den Durchmesser einer Corneafacette von einer *Tipula* spec. zu 0,027, von *Forficula auricularia* zu 0,033, von *Saperda Carcharias* zu 0,045, von *Tabanus bovinus* zu 0,054 und von *musca comitoria* zu 0,03 Millim. angegeben, während ich selbst die Werthe resp. 0,028; 0,033; 0,045; 0,048 und 0,027 berechnet habe; die theils mit denen Grenachers identisch, theils etwas geringer sind als jene, was übrigens, abgesehen von dem bereits oben für die Möglichkeit kleiner Differenzen angeführten Grunde, vielleicht auch davon herrühren könnte, dass Grenacher nicht den Abstand zweier parallelen Seiten des Facetten-Polygons, sondern die Entfernung zweier gegenüberliegender Eckpunkte desselben von einander gemessen hat, die ja ein wenig grösser sein muss, als jener.

Schliesslich muss noch erwähnt werden, dass mir zwei aus der besonderen Art meiner Messungen entspringende Fehlerquellen bekannt sind, welche beide, obwohl nur in sehr geringem Grade, dahin wirken mussten, dass das Resultat vielleicht hier und da um ein Geringes zu niedrig ausfiel. Einmal nämlich lässt sich die Hornhaut, wenn das Auge klein und stark gewölbt ist, nicht ganz glatt ausbreiten, sondern behält immer eine merkliche Krümmung bei, in Folge wovon die Facettenreihen vom Mittelpunkt des Corneastückes aus nicht, blos nach neben, sondern zugleich nach unten zu auslaufen. Sie müssen daher dem von oben blickenden Auge nicht in ihren wirklichen Dimensionen, sondern etwas perspectivisch verkürzt erscheinen, und es wird somit eine grössere Menge von Facetten wahrgenommen und gezählt werden, als eigentlich der Fall sein sollte. Wenn nun auf diese Weise der Divisor etwas zu gross angenommen worden, muss natürlich die in Form eines Quotienten sich darstellende Facettenbreite zu klein gefunden werden. Zweitens aber verlaufen in seltenen Fällen die Facettenreihen nirgends gerade, sondern mehr oder weniger krumm und unregelmässig, wodurch natürlich gleichfalls eine grössere Anzahl von Facetten der Betrachtung dargeboten und in Rechnung gezogen werden muss, als wenn, bei gleichem Maasse der letzteren, die Reihen schnurgerade gerichtet sind, wie es übrigens fast immer beobachtet wird. Es darf wohl gleich hier bemerkt werden, dass beide Fehlerquellen, indem sie die Facettenbreite ein wenig kleiner erscheinen machen, als sie thatsächlich ist, die völlige Reinheit des Resultates in einer Weise alteriren, die den auf das letztere gegründeten Folgerungen durchaus keinen Vorschub zu leisten vermag.

Es sei gestattet, mit ein paar Worten über die mannigfachen Eigenthümlichkeiten der Cornea zu berichten, die während des mühsamen und zeitraubenden Geschäftes der Messungen

¹⁾ Untersuchungen über das Sehorgan der Arthropoden, Göttingen, 1879. pag. 177 und 178.

hier und da sich nebenbei der Beobachtung darbieten. Im Allgemeinen ist die Cornea völlig farblos, höchstens schwach gelblich: röthlich dagegen erscheint sie bei *Locusta*, *Colias Hyale* und einer *Aeshna*, schwarz bei *Zygaena*, *Tabanus* und *Cerambyx*. Während aber die letztgenannte Färbung nur eine Folge der aussergewöhnlich starken Pigmentirung ist, die sich natürlich nicht auf die mittleren, farblos und durchsichtig bleibenden, Theile der Facetten erstreckt, zeigt sich die oben erwähnte röthliche Färbung gleichmässig über die ganze Hornhaut verbreitet und muss offenbar einen Theil des Tageslichtes von den lichtempfindlichen Schichten des Auges abhalten. Am klarsten und durchsichtigsten unter allen erscheint die von Pigment ganz freie Hornhaut vieler Orthopteren und Hymenopteren; hier sind die seitlichen Grenzflächen der prismatischen Corneafacetten überhaupt nur bei sehr schräger Belenchtung, als feine gleichsam nur angedeutete Linien, gut zu erkennen. — Was ferner die Gestalt und Anordnung der Facetten betrifft, so zeigt sich hierin eine ausserordentliche Abwechslung, die eine Vorstellung zu geben vermag von der wunderbaren und unerklärlichen Mannigfaltigkeit in der Ausbildung der für die Function des Organes wichtigsten und wesentlichsten inneren Theile, wie z. B. der Gestalt des Krystallkegels, der Gruppierung der Retinulazellen, der Anordnung und Form der pigmentführenden Elemente. So wenig wir noch im Stande sind, uns in dieser reichen Fülle von Erscheinungen so weit zurecht zu finden, dass wir über den physiologischen Sinn und Werth der auf dem zuletzt erwähnten Gebiete so zahlreich sich vorfindenden Eigenthümlichkeiten im Besonderen und Einzelnen uns irgendwie Rechenschaft zu geben vermöchten: eben so weit sind wir noch davon entfernt, uns die Ursachen vorstellen zu können, welche zur Entstehung der überraschend langen Reihe von Abstufungen geführt haben, in denen sich das der Facettirung der Cornea sozusagen zu Grunde gelegte Schema darstellt, von fast typischer Schönheit und Vollkommenheit an bis herab zu grösster, den eigentlichen Bauplan kaum noch wiederzuerkennen gestattender Regellosigkeit. Von jenem weichen am meisten vielleicht ab die in ungeordnetem Wechsel bald kleineren, bald grösseren, ganz unbestimmt polygonalen Facetten der Gattung *Locusta* und mancher Coleopteren, während in sehr regelmässig sechseckiger Gestalt und auch an Grösse jederzeit nahe unter einander übereinstimmend die Facetten der Schwärmer sich zeigen; etwas weniger die der Tagfalter. Eine regelmässige Form weisen auch diejenigen der Libelluliden auf, doch ist ihre Grösse hier an verschiedenen Stellen des Auges auffallend verschieden; am stärksten tritt diese Differenz bei der Gattung *Libellula* selbst hervor, bei welcher das obere Drittel des Auges weit gröber facettirt und merklich anders gefärbt ist, als der übrige Theil desselben; so wurde bei einer nicht näher bestimmten kleineren grünlich gefärbten Art das Durchschnittsmaass der grösseren Facetten zu 0,054, das der kleineren dagegen

zu nur 0,028 mm gefunden. Die Trennungslinie beider Formen läuft hier ungefähr quer von hinten nach vorn über die Augenkugel, noch unten etwas convex; sie erscheint scharf und bestimmt, da die Uebergangsstufen nur die Breite von wenigen (drei bis vier) Facettenreihen einnehmen. Bei den Gattungen *Cordulia* und *Aeshna* zeigen sich in Facettirung und Färbung ähnliche Eigenthümlichkeiten an ungefähr denselben Stellen des Auges; nur verläuft die Trennungslinie hier sehr stark nach unten ausgebogen, so dass von der oberen gröber facettirten und flacher gewölbten Partie der auf dem Scheitel in einer Linie zusammenstossenden Augen ein allmählich sich verschmälerndes etwa zungenförmiges Band von ebenfalls breiterer Facettirung an der Seite jedes Auges bis ungefähr zu dessen Mitte herabläuft, am vorderen und hinteren Rande von einem nach unten zu breiter werdenden Streifen von feineren Facetten eingefasst, welche letzteren die nach unten gerichtete Wölbung des Auges ausschliesslich einnehmen. Während die Durchschnittsgrösse der breiteren Facetten von *Aeshna* etwa 0,06 mm beträgt, berechnet sich die der schmäleren zu 0,035. Bei der Dipterengattung *Stratiomys* zeigt ebenfalls der grössere obere Theil des Auges eine weit gröbere Facettirung, als das untere Drittel desselben (Maass der grossen Facetten; 0,036; das der kleinen 0,023 mm); die Uebergangslinie zwischen beiden Grössenstufen ist sehr scharf, sie verläuft von unten und hinten schräg nach vorn, oben und innen.

Zum Theil sicherlich, aber nicht vollständig, werden diese Verschiedenheiten in der Facettirung durch die ungleiche Grösse der Krümmungshalbmesser ausgeglichen, welche den verschiedenen im Obigen angedeuteten Stellen des Auges zugehören; bei *Aeshna* z. B. erscheint der obere Theil des Auges als Abschnitt einer Kugel, deren Radius eine Länge von vier Millimetern hat; nach unten zu wird die Krümmung allmählich stärker, der Halbmesser derselben beträgt an der untersten Partie des Auges etwa 3,5 mm. Denn wenn auf zwei verschiedenen Kugelabschnitten, die gleiche Bruchtheile zweier Kugeln von ungleichen Halbmessern darstellen, die Augenelemente der Art angeordnet sind, dass die Verbindungslinien der Mittelpunkte zweier benachbarten Facetten mit dem Centrum der Kugel in beiden Fällen gleiche Winkel einschliessen, so müssen ja offenbar die der grösseren Kugel angehörigen Elemente die breiteren sein; während doch der kleinste Sehwinkel und damit die Feinheit der Unterscheidung beidemale völlig dieselben sind. Allein ich habe mich durch Berechnung davon überzeugt (wovon unten das Nähere), dass das in dem mit kleineren Facetten ausgestatteten Theile des Auges entworfene Stück des Retinabildes, trotz der geringeren Länge des jenem zugehörenden Krümmungsradius dennoch grössere Bestimmtheit zeigen muss. Da nun, soviel mir bekannt ist, Facetten von zweierlei Grösse neben einander auf demselben Sehorgan nur bei Raubinsecten

vorkommen, da ferner die das schärfere Bild ermöglichende feinere Facettirung fast immer auf die nach unten und vorne zu gerichteten Theile der Augenwölbung beschränkt ist, so liegt die Vermuthung nahe, es möchte diese Einrichtung in naher Beziehung zum Erjagen und Ergreifen der zu erbeutenden Thiere stehen, welches Geschäft ja durch höhere Entwicklung des Sehvermögens bei allen, den verschiedensten Klassen des Thierreiches angehörenden Räubern besonders unterstützt wird. Die gröber facettirten Parteen wären dieser Auffassung zufolge als die in der Ausbildung zurückgebliebenen anzusehen. Allein hierbei muss der Umstand auffallen, dass mitten zwischen diesen weniger leistungsfähigen Theilen der zusammengesetzten Augen und in deren unmittelbarer Nachbarschaft drei grosse, schön entwickelte Stemmata zu stehen pflegen. Unklar ist auch der rasche auf eine schmale Zone (von etwa 0,15 mm bei *Aeshna*) beschränkte Uebergang von der einen zur anderen Facettenform.

Wie aus der beigelegten Tabelle hervorgeht, besitzt die Facette der Schmetterlinge meistentheils eine Breite von zwanzig bis dreissig Tausendsteln eines Millimeters; über zwei Drittel aller untersuchten Fälle gehören hierher. Die Abweichungen nach oben und nach unten sind nicht sehr beträchtlich, die geringste Grösse (von 0,016 M.) ergab sich bei *Lycaena Alexis*, die bedeutendste (von 0,037 M.) bei dem Todtenkopf; diese ist jedoch nicht viel mehr als das Doppelte jener, während der Abstand an Körpergrösse und Gewicht zwischen jenen beiden Thieren ein enormer zu nennen ist. Wenn wir die übrigen Insectenordnungen gemeinsam betrachten (da aus jeder derselben nur einige wenige Fälle bekannt sind), so zeigt sich, dass hier das Durchschnittsmaass ein wenig höher ist, als bei den Schmetterlingen; es ist zwar wiederum eine Breite von zwanzig bis dreissig Tausendsteln eines Millimeters die bei weitem am häufigsten vorkommende (nämlich unter 40 Angaben 20mal); allein, während eine niedrigere Maasszahl überhaupt nicht beobachtet wurde, steigt dieselbe in zahlreichen Fällen bis auf vierzig und mehr Tausendstel eines Millimeters. Eine ganz abnorme Grösse besitzen die fast ein Zehntel eines Millimeters an Breite erreichenden, schon mit blossen Auge sehr deutlich wahrnehmbaren Facetten des *Cerambyx heros*.

Als merkwürdig und wohl werth, hier mit ein paar Worten erwähnt zu werden, darf vielleicht schliesslich noch die besondere Gestalt hervorgehoben werden, welche die am äussersten Rande des zusammengesetzten Auges gelegenen Facetten zu zeigen pflegen, und welche ich mich nicht erinnern kann irgendwo beschrieben gefunden zu haben. Das Facettenauge erscheint nämlich bei näherer Betrachtung meist nicht mit mathematischer Genauigkeit gradlinig begrenzt, sondern es springen gewöhnlich an seinem Saume einzelne Facetten oder kleine Gruppen von solchen in etwas unregelmässiger Weise ein wenig vor; zuweilen bemerkt man eine, die von den

übrigen fast gänzlich isolirt ist und, nur mittelst eines kleinen Stückes ihres Umfanges mit ihnen in Zusammenhang stehend, über die in schwach wellenförmigen Biegungen verlaufende Grenzlinie des von jenen so dicht besetzten Feldes beträchtlich hinausragt. Derjenige Theil nun des Umfanges dieser stark vorspringenden Facetten (wie auch aller übrigen unmittelbar am Augenrande gelegenen, obgleich bei diesen meist in weniger auffallender Weise), welcher nicht von den Nachbarn derselben berührt wird, erscheint immer völlig abgerundet und kreisförmig, er lässt nichts von polygonalen Ecken erkennen; und indem sich die helle, durchsichtige, runde Facettenfläche von der sie fast auf allen Seiten umgebenden dunkelbräunlich pigmentirten harten Kopfbedeckung scharf abhebt, erinnert sie lebhaft an die äussere Erscheinung der Ocellen. Zugleich illustirt diese wirklich überraschende Aehnlichkeit aufs Anschaulichste die von Grenacher neuerdings aufgestellte und scharfsinnig begründete Hypothese in Bezug auf die Morphologie des zusammengesetzten Auges, wonach nämlich ein jedes einzelne Element des letzteren als dem Stemma gleichwerthig anzusehen wäre; und wenn die berührte Thatsache natürlich auch nicht weiter von grossem Belang ist in Bezug auf die Entscheidung dieser Frage, so hat der mit der eben erwähnten Auffassung derselben in gutem Einklang stehende und dieselbe gleichsam bildlich vergegenwärtigende sinnliche Eindruck doch immerhin etwas Bestechendes und für dieselbe Einnehmendes, dem man sich nicht ganz entziehen kann.

In der dritten Columne der Tabelle sind ferner die Maasse des Augenhalmessers, in Millimetern angegeben, zusammengestellt. Um sie zu finden, verfuhr ich folgendermaassen. Zunächst wurden mit Hülfe eines feinen sogenannten Nullzirkels auf einem Blatt Papier neben einander eine Anzahl Kreise beschrieben mit einem von Viertel zu Viertel Millimeter wachsenden Halbmesser. Derjenige des kleinsten dieser Kreise betrug 0,25 mm, der des nächsten also 0,5 mm, und so fort bis zu 5 mm. Den zu untersuchenden Thieren wurde der Kopf abgeschnitten, von Fühlern, Tastern, Rüssel und, wenn nöthig, auch der dichten Behaarung gereinigt und sodann mittelst einer Nadel ganz dicht über die auf Papier gezeichneten Kreise gehalten. Indem man es nun mit einem der letzteren nach dem andern versuchte und jedesmal den Kopf des Insectes gehörig nach allen Seiten drehte und wendete, konnte schliesslich herausgefunden werden, der Krümmung welches dieser Kreise sich diejenige der Facettenaugen am nächsten anschloss. Natürlich lässt sich dies an einem Auge von grossem Halbmesser mit mehr Sicherheit und Genauigkeit feststellen, als an einem kleinen; leichter, wenn das Auge einen relativ grossen Kugelabschnitt darstellt, als unter sonst gleichen Umständen im anderen Falle. Aber auch bei Augen von nicht allzu geringen Dimensionen ergeben sich mitunter

Schwierigkeiten, die einigermaßen geeignet sind, Zweifel an dem völligen Zutreffen der zu erhaltenden Resultate zu erregen. Ich meine vor Allem den nicht zu seltenen Fall, dass die Wölbung des Auges nur annähernd sphärisch verläuft und deshalb keinem unter den zur Probe dienenden Kreisen von ungefähr den gleichen Dimensionen sich ganz genau anpassen will. Zuweilen ist deutlich bemerkbar, dass einander benachbarte Stellen des Auges als Flächen mit verschiedenen Halbmessern beschriebener Kugeln sich darstellen; oder es erscheint das Auge in der Nähe seiner Ränder weit stärker gekrümmt, als im Uebrigen; oder die obere, dem Scheitel genäherte Partie ist merklich flacher gewölbt, als die anderen Theile. In allen diesen Fällen blieb nichts übrig, als ein mittleres Maass anzugeben, welches mindestens für den grösseren Abschnitt der Augenwölbung Geltung hat. Dazu kommt noch, dass bei verschiedenen Individuen einer und derselben Art das Maass des Auges, entsprechend dem des ganzen Körpers, ein wenig schwankt.

In der Regel wurde der Krümmungsradius der Augenkugel in zwei auf einander senkrechten Ebenen bestimmt: einmal in einer vertikalen, zur Längsaxe des Thieres senkrechten, dann in einer horizontalen, die Längsaxe selbst enthaltenden. Stellten sich hierbei zwei um ein Bedeutendes von einander verschiedene Werthe heraus, so finden sich in der Uebersicht beide Zahlen angegeben. Ziemlich vollkommene Kugelgestalt weisen die Augen der Schmetterlinge auf, weshalb hier eine Angabe genügt. Am meisten dagegen entfernen sich vielleicht von jener die länglichen Augen der Hymenopteren; dieselben sind nämlich in der Richtung von oben nach unten weit schwächer gekrümmt, als in der horizontalen von vornen nach hinten. Umgekehrt verhalten sich die grossen Augen von *Tabanus* und verwandten Dipteren. Die grössten Schwierigkeiten setzen sich der genauen Messung wohl bei den Käfern entgegen, wo das Auge im Allgemeinen verhältnissmässig klein ist und häufig von allerlei Fortsätzen der Kopfbedeckung überragt und theilweise verdeckt wird.

Wie ein Blick auf die beigegebene Tabelle lehrt, wechselt die Grösse des Augenhalmessers innerhalb weiter Grenzen, nämlich von wenig mehr als einem Viertel Millimeter an (*Acanthosoma*) bis zu etwa vier Millimeter (*Aeshna*); in weitaus der überwiegenden Mehrzahl der Fälle entfernt sie sich nicht sehr weit von der Zahl Eins.

Die nunmehr folgende Zahlenreihe der Tabelle hat den kleinsten Sehwinkel des Insectenauges zum Gegenstand. Dieser Winkel ist der obigen Definition zu Folge der Unterschied zwischen den Richtungen (der optischen Axen) zweier unmittelbar neben einander gelegenen Augenelemente. Er ist demnach in dem gleichschenkligen Dreiecke, dessen Basis gleich der Summe zweier halben Facettenbreiten, mithin gleich der Facettenbreite selbst ist, und

dessen Schenkel mit dem Radius der Augenkugel identisch, dessen Seiten folglich alle drei bekannt sind, der Winkel an der Spitze. Nun stellt nach einem Satze der Trigonometrie der Bruch, dessen Zähler durch die halbe Basis jenes Dreieckes, also die halbe Facettenbreite gebildet wird, und dessen Nenner die Schenkellänge desselben, d. h. den Augenhalmmesser ausdrückt, den Sinus des halben gesuchten Winkels dar; und auf diesem Wege sind die angegebenen Zahlen gefunden worden. Nennt man die Facettenbreite f , den Augenhalmmesser r , den gesuchten kleinsten Sehwinkel s , so gilt für die Berechnung der letzteren Grösse aus den bekannten beiden anderen die Formel:

$$\frac{f}{2r} = \sin \frac{s}{2}$$

Es ist vielleicht nicht uninteressant, etwas näher zuzusehen, welche von den beiden Zahlen, deren Function der Sinuswerth des gesuchten Winkels ist, auf den Ausfall des Resultates vermöge ihrer eigenen besonderen Beschaffenheit den stärker bestimmenden Einfluss übt. Während die Differenz zwischen dem Maass der beiden nach oben und nach unten am meisten sich von der Mittelgrösse entfernenden Facetten (nämlich derjenigen von *Lycaena Alexis* und *Cordulia*, wenn wir von der ganz vereinzelt abnormen Zahl für *Cerambyx heros* absehen) nur eine derartige ist, dass die eine Zahl etwa das Dreifache der andern ausmacht, zeigt das grösste untersuchte Auge (einer Aeshna angehörig) gegenüber dem kleinsten (demjenigen von *Acanthosoma*) eine mehr als zehnfache Länge des Radius. Schon hieraus lässt sich im Allgemeinen schliessen, dass für den einer jeden Insectenart eigenthümlichen Grad der Feinheit und Schärfe der Gesichtswahrnehmungen nicht so sehr die Grösse der Facetten von schwerwiegender Bedeutung ist, als vielmehr diejenige des aus jenen Elementen zusammengesetzten kugeligen Sehorganes. Mit dieser Folgerung stimmt gut überein die bei einer Vergleichung der ersten und dritten Zahlenreihe der Tabelle sich leicht ergebende Thatsache, dass die Hymenopteren, die Libelluliden, Tabanus-Arten, endlich die Dämmerungsfalter, obwohl die die Facettenbreite dieser Insecten ausdrückenden Zahlen weit über die mittlere Grösse sich erheben, ja zum Theil sogar die allerhöchsten unter ihresgleichen vorstellen, dennoch unter allen untersuchten Thieren das ausgebildetste und schärfste Sehvermögen besitzen. Es steht eben der relativ sehr beträchtlichen Facettenbreite die verhältnissmässig noch bedeutendere Grösse der Augenkugel bei weitem mehr als ausgleichend gegenüber. Während also eine mehr als drei Hundertstel Millimeter betragende Facettenbreite nicht verhindern kann, dass der kleinste Sehwinkel bis zu seinem geringsten Maass herabsinkt, ist dagegen, wie sich beim Gegenüberhalten der dritten und der zweiten Zahlenreihe der Tabelle ergibt, unter den mit kleinen Augen, d. h. solchen

deren Radius den Durchschnittswerth von einem Millimeter nicht erreicht, versehenen Insecten kein einziges mit scharfem Gesicht begabt; und die allerkleinsten Augen (von *Acanthosoma*, *Phryganea*, *Forficula*, *Tipula*) sind zugleich auch die unter allen am wenigsten leistungsfähigen. Man darf also wohl sagen: Die Schärfe des Gesichtssinnes ist im Allgemeinen (in einem nicht ganz genau anzugebenden Grade) etwa proportional der Länge des Augenhalmessers. Wenn daher von zwei Thieren die Maasse der Facetten nicht näher bekannt sind, wohl aber diejenigen der Augenkugeln, und letztere ungleiche Werthe haben, so darf man als das Wahrscheinlichere annehmen, dass das grössere Auge zugleich das bessere sein wird, und zwar mit um soviel mehr Zuversicht, je bedeutender der Unterschied in den Dimensionen der beiden Sehorgane erscheint. — Ferner lehrt die eben angestellte Betrachtung, dass, wenn man sich in diesen Dingen zu einer höheren Stufe der Genauigkeit erheben wollte, die vielleicht gestatten würde, noch etwas tiefer in die Erkenntniss der feinen individuellen Schattirungen und charakteristischen Unterschiede der Sehschärfe der Insecten einzudringen, man vor Allem bestrebt sein müsste, die Methode der dazu erforderlichen makroskopischen Messungen noch weiter zu vervollkommen, denn die auf diesem Wege erzielten Resultate fallen weit schwerer ins Gewicht, als diejenigen der mikroskopischen Facettenmessung; zudem ist jenes Verfahren in der Art, wie es von mir angewendet und beschrieben worden ist, in der That bei weitem weniger zuverlässig und einer Verbesserung wohl in höherem Maasse fähig, als das letztere.

Es darf wohl, ehe wir zur Betrachtung der absoluten Grösse des Sehwinkelminimums und dem hieraus sich Ergebenden übergehen, auf einige aus unserer Zusammenstellung ersichtliche Beziehungen zwischen dem Maasse des kleinsten Sehwinkels oder dem zu dem Werthe des letzteren im umgekehrten Verhältnisse stehenden Grad der Sehschärfe und der Körpergrösse, sowie den sonstigen Eigenschaften und Lebensverhältnissen der untersuchten Thiere in aller Kürze aufmerksam gemacht werden. Unter den Schmetterlingen sind mit dem schärfsten Sehvermögen die Schwärmer begabt, alle andern überragen in dieser Beziehung der bekanntlich so überaus wanderlustige und äusserst gewandt fliegende, schlank gebaute Oleanderschwärmer und der durch gewaltige Körpergrösse ausgezeichnete Todtenkopf. Bei den Tagfaltern hält die Schnelligkeit des Fluges offenbar ungefähr gleichen Schritt mit der Leistungsfähigkeit des Gesichtesorgans: die besten Segler, wie *P. Machaon*, *Ap. Iliä*, mehrere Arten der Gattungen *Argynnis* und *Vanessa* erfreuen sich der relativ feinsten Unterscheidungsfähigkeit. Unter den übrigen Insecten zeichnen sich eben hierdurch vor Allen die mit rapider Geschwindigkeit leicht und wie spielend durch die Luft dahingleitenden Libelluliden aus. Wenn also aus diesen Beispielen die nahen Beziehungen zwischen der Entwicklung des Gesichtssinnes und der Locomo-

tionsfähigkeit einleuchten dürften, so ist ebensowenig eine gewisse zwischen den Dimensionen des Körpers und den Leistungen des Sehorganes bestehende Proportionalität zu übersehen. Besonders auffallend tritt dieser Zusammenhang z. B. bei den Libelluliden hervor; in der Aufeinanderfolge nämlich, wie dieselben in der Uebersicht angeführt sind, erscheinen sie der zunehmenden Grösse nach, gleichzeitig aber auch und in gleichem Sinne in Bezug auf die Schärfe des Gesichtes geordnet. In ähnlicher Weise stehen die kleineren Arten der Gattungen *Argynnis* und *Vanessa* in der Ausbildung des Gesichtssinnes hinter den grösseren etwas zurück. — Als merkwürdig ist endlich die mit der hohen Stufe der psychischen Fähigkeiten parallelgehende Schärfe des Sehvermögens der Hymenopteren zu erwähnen, welche der durch den etwas gedrunghenen Körperbau und die verhältnissmässig kleinen Flügel bedingten geringeren Fluggewandtheit nicht recht zu entsprechen scheint.

Die für den kleinsten Schwinkel der Insecten gefundenen Werthe (zu deren Berechnung übrigens in allen denjenigen Fällen, in welchen der Augenhalmmesser durch zwei verschiedene Zahlen angegeben ist, nur die grössere von diesen zugezogen wurde, in Folge wovon das Sehwinkelminimum vielfach etwas geringer erscheinen muss, als es in der Natur ist) schwanken zwischen 39' (bei einer *Aeshna*-Species) und 5° 21' (bei *Acanthosoma*); das Durchschnittsmaass möchte etwa einen und einen halben Grad betragen. Diese im Vergleiche mit der entsprechenden des menschlichen Auges geradezu enormen Zahlen sind in dem, den analogen Bildungen im Sehorgan der höheren Thiere gegenüber als kolossal zu bezeichnenden Umfange der Sehstäbe des zusammengesetzten Auges, sowie in dem Umstande begründet, dass letztere nicht dichtgedrängt neben einander liegen, sondern durch mehr oder weniger dicke Schichten von Pigmentzellen von einander getrennt werden.

Trotz des gewaltig grossen Schwinkel-Minimums ihres Facettenauges indessen vermögen die Insecten unter gewissen Umständen mit ganz dem gleichen oder sogar einem etwas höheren Grade von Deutlichkeit wahrzunehmen, als es das menschliche Auge im Stande ist. So unglaublich dies beim Anblick jener verhältnissmässig wirklich ungeheuren Zahlen auch klingen mag, so leicht lässt sich die Richtigkeit des eben Ausgesagten unwidersprechlich und zahlenmässig nachweisen. Es ist diese merkwürdige Thatsache eine Folge der nicht zu bestreitenden Eigenthümlichkeit des zusammengesetzten Auges, für keine bestimmte Weite des Objectes zum deutlichen Sehen vorzugsweise oder ausschliesslich befähigt zu sein; das heisst, es gibt für dasselbe kein Minimum der Entfernung, über welches hinaus der Gegenstand nicht angenähert werden darf, wenn er noch scharf und bestimmt unterscheidbar sein soll. Denn »da die Refractionsgesetze auf das zusammengesetzte Auge der In-

secten nicht anwendbar sind, so fällt die Möglichkeit, das Auge für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen einzurichten, ganz weg.«¹⁾ Es kann also dem Sehorgane der Insecten der zu betrachtende Gegenstand beliebig nahe gebracht werden, ja letzterer kann jenes beinahe oder wirklich berühren, ohne dass die Umrisse des Bildes deshalb auch nur im Geringsten ihre Schärfe verlieren und anfangen könnten, verschwommen und unklar zu erscheinen.

Das menschliche Auge hingegen besitzt bekanntlich einen sogenannten Nähepunkt, d. h. es gibt für dasselbe eine gewisse Distanz, über welche hinaus ihm der Gegenstand nicht weiter genähert werden darf, wenn es mit Hilfe der Accommodation noch gelingen soll, die von einem Punkt desselben ausgehenden und die Linse divergirend treffenden Lichtstrahlen auf der Retina in einem Punkte zu vereinigen. Der Abstand dieses Nähepunktes wird etwas verschieden angegeben; nach Helmholtz²⁾ pflegt er bei normalen Augen in etwa fünf Zoll (gleich dreizehn Centimeter) Entfernung zu liegen. Ein ähnliches Schwanken herrscht in Bezug auf das im Allgemeinen anzunehmende Maass des kleinsten Schwinkels des menschlichen Auges; der mittlere aus den auf verschiedene Weise angestellten Versuchen sich ergebende Werth desselben mag ungefähr 70 Secunden betragen. Aus diesen beiden Zahlen folgt mittelst einer einfachen nach Analogie der auf Seite 54 aufgestellten Formel auszuführenden Rechnung, dass das menschliche Auge im höchsten Fall dann zwei Punkte im Allgemeinen noch deutlich von einander zu unterscheiden im Stande ist, wenn deren gegenseitige Distanz etwa 0,044 mm beträgt. Diesen Grad der Deutlichkeit, mit welchem also die Theile eines im Nähepunkt des normalen menschlichen Auges befindlichen Objectes höchstens unterschieden werden können, d. h. eine solche Genauigkeit der Auffassung, welcher gemäss von jeder Flächeneinheit des betrachteten Gegenstandes eine derartige Anzahl von Punkten gesondert wahrgenommen wird, oder mit anderen Worten, gemäss welcher das Bild der Flächeneinheit sich auf so viele einzelne Retinaelemente vertheilt, wie es der Quotient angibt, den man durch Division mit der Grösse eines 0,044 mm breiten Sechseckes in die Flächeneinheit erhält, nenne ich die Maass-Einheit der Deutlichkeit; und diese lege ich als Maass der Beurtheilung der Leistungen des Facettenauges zu Grunde. Es ist ferner klar, dass die verschiedenen Stufen der Deutlichkeit sich zu einander verhalten müssen, wie die wechselnden Mengen der von der Empfindung gesondert aufgefassten Punkte der Flächeneinheit, oder direct wie die Mengen der den einzelnen Retinaelementen entsprechenden Sehfelder, in welche jede Flächeneinheit des Ob-

¹⁾ J. Müller, zur vergleich. Physiol. des Gesichtssinnes, pag. 374.

²⁾ Physiologische Optik, Leipzig 1867, pag. 79.

jectes für die Auffassung gleichsam zerfällt; mithin umgekehrt, wie die Grösse dieser Elementarsehfelder, oder umgekehrt wie das Quadrat der Zahl, welche die geringste Entfernung angibt, in der zwei Punkte sich von einander mindestens befinden müssen, wenn sie nicht in einen einzigen Eindruck mit einander verschmelzen sollen.

Wenden wir uns nun wieder zur Betrachtung des Facettenauges. Da hinter einer jeden Facette ein als Einheit im physiologischen Sinne geltendes Retinaelement gelegen ist, so leuchtet ein, dass in einem Abstände vom Sehorgane, die wir als verschwindend klein ansehen dürfen, die gegenseitige Entfernung zweier gesondert wahrzunehmenden Punkte nicht grösser zu sein braucht, als die kleine Strecke auf der Augenoberfläche zwischen den Durchschnittspunkten der Längsrichtungen zweier benachbarter Augenelemente mit jener; das ist aber nichts Anderes, als die Facettenbreite. Mit wachsender Distanz zwischen Auge und Object vergrössert sich allmählich, jener genau proportional, der Abstand der zwei genannten, unendlich verlängert gedachten Richtungslinien, oder (unserer obigen Definition zufolge) der beiden Schenkel des kleinsten Schwinkels; und hieraus wäre zu schliessen, dass die beiden Punkte, der wachsenden Entfernung des Gegenstandes entsprechend, allmählich mehr und mehr auseinander rücken müssen, wenn sie immer gleich gut, wie zu Anfang, sollen von einander unterschieden werden können. Allein in zunehmendem Maasse treten nun auch die Schwierigkeiten hervor, die sich oben bei der Erörterung des Begriffes des kleinsten Schwinkels in Bezug auf das Facettenauge ergeben haben, und trüben die Klarheit des Bildes, das wir uns von der Brauchbarkeit dieses Sehorganes im Vergleich mit unserem eigenen machen möchten. Es ist daher wohl besser, den bezeichneten Begriff, so grosse Vortheile er auch für die Vergleichung der einzelnen Insectenaugen unter einander in Bezug auf ihre Sehschärfe bietet, und so sicher aus den für ihn hier geltenden Zahlen im Allgemeinen auch einleuchten mag, dass wenigstens in der Entfernung unserer deutlichen Sehweite die Bestimmtheit und Feinheit der Gesichtswahrnehmungen der Insecten ganz unvergleichlich geringer sein muss, als die durch die Beschaffenheit unseres Sehorganes uns selbst ermöglichte, doch im Weiteren nicht mehr zu gebrauchen, und lieber auf einem etwas anderen Wege den Zusammenhang zwischen den Grössenverhältnissen der Augenkugel und ihrer Bestandtheile einerseits und der Unterscheidungsfähigkeit, welche das in Rede stehende Organ auf grössere oder geringere Entfernungen hin besitzt, andererseits uns zu gegenwärtigen.

Unserer obigen Definition von »Elementarsehfeld« und der nicht ganz ungerechtfertigten Annahme zufolge, dass die benachbarten Elementarsehfelder sich mit ihren Rändern gegenseitig gerade berühren, ist klar, dass in einem als verschwindend zu denkenden Abstände vom Auge

die Grösse eines Elementarsehfeldes genau gleich derjenigen der Facetten ist. Rückt nun der Gegenstand z. B. soweit von der Oberfläche der Augenkugel weg, dass der Zwischenraum gleich dem Halbmesser der letzteren wird, so kann man, wie oben bemerkt (Seite 23), die Grösse eines Elementarsehfeldes so finden, dass man concentrisch zu dem kugelförmigen Sehorgan und mit der doppelten Länge des dem letzteren zugehörigen Radius eine den Gegenstand wiederum berührende Kugel beschrieben denkt. Da aber nach Sätzen der Stereometrie Kugelflächen oder Abschnitte solcher von gleicher Winkelgrösse sich verhalten, wie die Quadrate der Radien, so muss im eben angenommenen Falle die Fläche eines Elementarsehfeldes das Vierfache ihrer ursprünglichen Grösse betragen; ferner bei einem Abstände des Gegenstandes gleich der doppelten Länge des Augenhalmessers das Neunfache derselben u. s. f.; es verhalten sich also, allgemein ausgedrückt, die Elementarsehfelder in Bezug auf ihre Flächenausdehnung, wie die Quadrate der Abstände des Objectes. Da aber, wie oben gezeigt worden, die jedesmalige Deutlichkeit der Wahrnehmung im umgekehrten Verhältnisse zu den Dimensionen der Elementarsehfelder steht, so ergibt sich der Satz: Die Deutlichkeit der Gesichtswahrnehmungen nimmt mit dem Quadrate der Entfernung ab.

Um nun zunächst zu finden, in welchem Abstände vom Facettenauge die Schärfe und Bestimmtheit der Retinabilder die gleiche ist, wie die höchste im Allgemeinen vermittelt des menschlichen Sehorganes zu erreichende, genügt folgende Erwägung. Wie oben auseinander-gesetzt wurde, vermögen wir einander sehr genäherte Punkte eines Gegenstandes dann noch von einander gesondert wahrzunehmen, wenn dieselben mindestens durch einen Abstand von etwa 0,044 mm getrennt werden. Je zwei Punkte einer betrachteten Fläche müssen also mindestens um diese Grösse von einander abstehen, wenn sie als räumlich verschiedene, neben einander liegende empfunden werden sollen; und die Oberfläche eines (im Nähepunkt befindlichen) gesehenen Gegenstandes ist also gleichsam aus einer gewissen sehr grossen Anzahl leuchtender je 0,044 mm von einander abstehender Punkte zusammengesetzt zu denken, durch deren Vorhandensein neben einander für unsere Empfindung das Bild der wahrgenommenen hellen Fläche entsteht. Da jeder einzelne unter jenen Punkten auf allen Seiten von Seinesgleichen um eine Länge von 0,044 mm entfernt ist, da diese von allen ihren Nachbarn wieder um gleich viel abstehen, u. s. f.; und da alles zwischen jenen über die gesehene Fläche regelmässig zerstreuten Punkten Gelegene nicht gesondert empfunden werden kann, sondern nur den Eindruck desjenigen unter denselben verstärken hilft, welchem zunächst es sich befindet, so kann jeder einzelne gesondert aufgefasste Punkt als Centrum eines Sechseckes betrachtet werden, welches um

denselben herum nach allen Seiten hin bis in die Mitte des Abstandes zwischen ihm selbst und seinen Nachbarn, also 0,022 mm weit sich erstreckt. Demnach würde die Breite eines jeden dieser Sechsecke 0,044 mm betragen, und wir finden die der beschriebenen, durch das menschliche Sehorgan erreichten gleichkommende Stufe der Deutlichkeit der Wahrnehmungen vermittelt des Insektenauges, wenn wir berechnen, in welchem Abstände vom letzteren die Breite eines Elementarfeldes gerade 0,044 Millimeter beträgt. Dies geschieht einfach mittelst folgender Proportion. Die gemessene Facettenbreite verhält sich zur Breite eines Elementarsehfeldes von a (hier 0,044) Millimeter, wie der Augenradius zur gesuchten Entfernung x . Wir erhalten demnach die Distanz zwischen dem Gegenstand und dem Augencentrum. Da wir aber nur den Abstand des ersteren von der Augenoberfläche zu kennen wünschen, so muss von dem eben erhaltenen Resultat noch der Augenhalmmesser subtrahirt werden. Ist nun einmal auf die angegebene Art die Weite der einfachen Deutlichkeit (f) festgestellt worden, so ist es leicht, nun auch die Entfernung (f'') für jede beliebige niedrigere, oder auch für die höchste überhaupt vorhandene Stufe der Deutlichkeit (d) zu finden, oder ferner dasjenige Maass der Deutlichkeit (d), welches jeder verlangten Entfernung (f) entspricht. Es hat dies vermittelt der oben aufgestellten Relation zwischen dem Abstände des Objectes und dem entsprechenden Grade der Deutlichkeit zu geschehen, wonach die Gleichung gilt: $(f'')^2 : (f)^2 = 1 : d$.

Hieraus ergibt sich für die gesuchte Deutlichkeit der Werth:

$$d = \frac{(f)^2}{(f'')^2}, \lg d = 2(\lg f - \lg f'')$$

Ist dagegen nach der einem gewissen Grade der Deutlichkeit entsprechenden Distanz gefragt, so folgt:

$$(f'')^2 = \frac{(f)^2}{d}, f'' = \frac{f}{\sqrt{d}},$$

$$\lg f'' = \lg f - \frac{1}{2} \lg d.$$

Auf der unten folgenden Tabelle finden sich für eine kleinere Anzahl von meist verhältnissmässig gut sehenden Insekten folgende Daten zusammengestellt: in der ersten Reihe die Abstände, in welchen die Deutlichkeit der Wahrnehmung der Einheit gleichkommt; in der zweiten diejenigen, in welchen jene bis auf den zehnten Theil ihres einfachen Werthes herabsinken muss. Drittens sind die Grade der Deutlichkeit berechnet worden, mit welchen Dinge wahrgenommen werden, welche sich unmittelbar vor dem Auge befinden und demselben bis zur Berührung angenähert sind; wobei jedoch vorausgesetzt wird, dass durch dieses nahe

Aneinanderrücken von Object und Sehorgan die Helligkeit der Beleuchtung des Ersteren nicht auf einen geringeren Grad herabgemindert werde, als er zum klaren Erkennen erforderlich erscheint. In der letzten Columnne endlich finden sich die Werthe der Deutlichkeit für einen Abstand von sechzig Centimeter zusammengestellt.

	Abstand in Millimetern, bei dem die Deutlichkeit		Betrag der Deutlichkeit bei einem Abstände	
	= 1	= 0,1	= 0	= 60 Centimeter.
<i>Apis mellifica</i>	1,35	7,77	3,36	0,000024
<i>Necrophorus vespillo</i>	1,80	8,93	4,84	0,000030
<i>Melitaea didyma</i>	1,08	5,04	5,95	0,000009
<i>Argynnis Paphia</i>	0,97	6,09	2,87	0,000015
<i>Vanessa C. album</i>	1,09	5,61	4,37	0,000012
<i>Arge Galatea</i>	0,75	4,00	4,00	0,000006
<i>Sphinx neri</i>	0,81	8,51	1,67	0,000035
<i>Aeshna</i> (grüne Art)	0,00	8,65	1,00	0,000044
<i>Aeshna</i> (braun)	—	6,87	0,80	0,000031
<i>Locusta verrucivora</i>	0,63	6,23	2,02	0,000012
<i>Musca domestica</i>	0,83	4,79	3,34	0,000009

Wie ein Blick auf die erste der vorstehenden Zahlenreihen lehrt, muss ein Gegenstand, damit er ebenso deutlich gesehen werde, wie das menschliche Auge ihn zu erkennen im Stande ist, dem Facettenauge sehr stark genähert werden, nämlich bis auf durchschnittlich etwa einen Millimeter. Rückt das Object noch weiter, bis unmittelbar an die Oberfläche des Sehorgans heran, so wird es mit einer um ein Beträchtliches grösseren Genauigkeit (im Durchschnitte etwa der dreifachen) wahrgenommen, als es mittelst des unbewaffneten normalen menschlichen Auges möglich ist. Dagegen sinkt die Bestimmtheit seines Netzhautbildes schon bis auf ein Zehntel herab, wenn sich jenes vom Auge nur auf etwa einen halben bis ganzen Centimeter entfernt. Es kann hiernach nicht auffallend erscheinen, dass bei einem Abstände, der etwa zwei Drittel Meter beträgt, die Erkennbarkeit der Objecte sich bis auf einen verschwindend geringen Bruchtheil der als Norm angenommenen Grösse verringert hat; es sind nämlich alsdann nur noch höchstens einige Hunderttausendstel derselben vorhanden. Wir dürfen also, wenn auch vielleicht nicht ganz genau in der Distanz von 60 Centimeter, für welche die letzte Zahlenreihe der kleinen Tabelle gilt, doch jedenfalls in einer nur unbedeutend beträchtlicheren, die äusserste Grenze des deutlichen Sehens mittelst des Facettenauges annehmen. Was jenseits derselben sich befindet, kann demnach nicht mehr seiner Gestalt und den Einzelheiten seiner Erscheinung nach, sondern nur noch allenfalls an

seiner ungefähren Grösse, an seiner Farbe und Lichtstärke erkannt werden; aber dies will nicht viel heissen, da von den genannten Eigenschaften die erste und die letzte nach äusseren Umständen wechseln, somit im allgemeinen selbst unbestimmt sind, und auch die Farbe in den meisten Fällen kein sehr charakteristisches Erkennungszeichen abgeben dürfte.

Es ist oben schon der in Bezug auf die Zahlen für die deutliche Sehweite und den kleinsten Schwinkel des menschlichen Auges bestehenden grossen Unsicherheit Erwähnung gethan worden. Es ist selbstverständlich, dass die Leistungen des Facettenauges in etwas verschiedenem Lichte erscheinen müssen, je nachdem man jene Werthe grösser oder kleiner wählt; je nachdem man diejenigen vorzieht, deren ich mich als Grundlage des zur Beurtheilung anzuwendenden Maassstabes bedient habe, oder von diesen verschiedene. Hätte man z. B. die deutliche Sehweite, wie es vielfach geschieht, zu 25 Centim. angenommen, statt zu 13, wie ich es nach der Angabe von Helmholtz gethan habe, den kleinsten Schwinkel hingegen ebenso wie es oben geschehen, zu 70 Sekunden, so hätte, wie leicht einzusehen, die kleinste Distanz zweier noch gesondert empfindbaren Punkte durch die doppelte Grösse (etwa 0,085 Mill.) derjenigen Zahl ausgedrückt werden müssen, welche sich oben hierfür ergeben hat; und es würde dann die für einen verschwindenden Abstand des Objectes geltende Sehschärfe des Facettenauges sich verhältnissmässig noch viel grösser dargestellt haben, als es jetzt der Fall ist; ebenso aber auch der bei einem Abstände von 60 Centim. noch verbleibende Rest der Unterscheidungsfähigkeit um etwas, aber doch nicht in einem wesentlich in Betracht kommenden Grade, höher erschienen sein; so hätte er für *Sphinx neri* den Werth von 0,000140, anstatt 0,000035; und für *Musca domestica* denjenigen von 0,000037, anstatt 0,000009 erhalten müssen.

Wenn es nun hier nicht möglich ist, auf ganz festen und zuverlässigen Grundlagen weiterzubauen, so möge eine kurze allgemeine Betrachtung hierfür einigermaassen entschädigen. Mag man die kleinste Distanz, welche zwei getrennt aufzufassende Punkte mindestens aus einander halten muss, auch noch etwas geringer annehmen, als wir es hier gethan: so viel ist sicher, dass bei einer grossen Anzahl von Insekten, besonders bei den kleineren und kleinsten, die Facettenbreite hinter der geringsten für jene Distanz zu gebrauchenden Zahl immer noch um ein Beträchtliches an Grösse zurückstehen wird; diese Thiere werden also, in der nächsten Nähe wenigstens, unzweifelhaft ein das unsrige mehr oder minder an Feinheit übertreffendes Sehvermögen besitzen. Denn es ist ja leicht einzusehen, dass überhaupt die Sehschärfe des Facettenauges der als Maassstab verwendeten des menschlichen Sehorgans um so bedeutender überlegen sein müsse, je geringer die Facettenbreite ist. Es kann diese grössere Bestimmtheit der Wahrnehmungen vermittelt jenes Organes auch durchaus nicht wunderbar erscheinen, wenn

man die im Verhältniss zur unsrigen fast verschwindende Körpergrösse der Thiere berücksichtigt, bei denen es sich findet, und wenn man bedenkt, dass es für dieselben vielfach vom grössten Vortheil sein muss, Dinge in ihrer Umgebung zu unterscheiden und zu erkennen, die uns, im gewöhnlichen Leben wenigstens und in jedem andern ausser im wissenschaftlichen Betracht, durchaus gleichgiltig sind. Andererseits ist es nicht zu bezweifeln, dass in der Weite des deutlichen Sehens mit unserem eigenen Auge, mag man sie innerhalb der von einander so sehr abweichenden an verschiedenen Orten jetzt geltenden Zahlen annehmen, wie man will, die Unterscheidungsfähigkeit des zusammengesetzten Auges schon ausserordentlich gering sein muss; und zwar wird ihr Werth in einem jener entsprechenden Abstände um so stärker gesunken sein, je bedeutender das Maass für den kleinsten Schwinkel des betreffenden Organes sich herausstellt.

Doch so entschieden und unwiderleglich die in der letzten Columne der Tabelle auf Seite 67 zusammengestellten Zahlen dafür sprechen, dass in einer sehr geringen Entfernung vom Facettenauge dessen Brauchbarkeit zum Unterscheiden und Erkennen so gut wie gleich Null ist, so dürfte es doch vielleicht nicht überflüssig und ganz unnützlich erscheinen, dieses Ergebniss unserer bisherigen Auseinandersetzungen auch bildlich zu veranschaulichen. Diesem Zwecke ist die letzte Spalte der auf Seite 49 stehenden Uebersicht gewidmet. Dieselbe gibt in Centimetern ausgedrückt, die Entfernungen (vom Mittelpunkt der Augenkugel) an, bei welchen die Breite eines Elementarsehfeldes, gemessen von einer Sechsecksseite quer zur gegenüberliegenden, gerade einen Centimeter beträgt. Dass gerade der eben bezeichneten Ausdehnung der Elementarsehfelder der Vorzug gegeben wurde, hat seinen Grund zum Theil darin, dass die genannte Grösse eine geläufige und leicht vorstellbare ist; ihre Wahl muss insofern etwas willkürlich erscheinen, als, je nach dem ein wenig schwankenden subjectiven Ermessen der einzelnen Beurtheiler dasselbe, wie von ihr, auch von einer etwas geringeren oder einer jene um ein wenig übertreffenden Grösse geltend gemacht werden könnte. Es kommt indessen hierauf im vorliegenden Falle nicht so ganz genau an, und es ist die gewählte Ausdehnung der Elementarsehfelder mehr als ein zur Erläuterung dienendes Beispiel zu betrachten, wobei man ja mit einer gewissen Freiheit verfahren darf, denn als ein einzelner und besonders irgendwie ausgezeichneter Fall, von welchem gewisse Eigenschaften ausschliesslich behauptet werden sollten. Wenn also auch vielleicht nicht ganz genau gerade von dieser Grösse, und noch weniger nur von ihr allein, so doch sicherlich von einer nur unbedeutend von ihr verschiedenen, darf Folgendes behauptet werden: in einer Entfernung vom Auge, bei welcher jedes einzelne Elementarsehfeld durch-

schnittlich die Breite von ungefähr einem Centimeter erreicht, muss das deutliche Sehen, also Erkennen und Wiedererkennen der umgebenden Dinge völlig aufhören. Diese Entfernung schwankt, wie beim Ueberblicken der letzten Zahlenreihe der grösseren Tabelle (Seite 49) ersichtlich ist, zwischen ein Zehntel (bei der Hemipterengattung *Acanthosoma*) und neun Zehntel Meter (bei einer *Aeshna*); bis zur Länge von einem ganzen Meter aber erhebt sie sich auch nicht in einem einzigen Falle. Das Durchschnittsmaass wollen wir beiläufig zu zwei Drittel Meter annehmen, was eher zu hoch als zu niedrig gegriffen sein dürfte. Es würde demnach die Facettenbreite von einem Centimeter allerdings nur annähernd und nur im allgemeinen, den in der letzten Spalte der kleineren Tabelle (Seite 67) vereinigten, auf die Deutlichkeit des Sehens bezüglichen Zahlen entsprechen, welche gleichfalls für einen Abstand von etwa zwei Drittel Meter gelten.

Um nun das über die geringe Leistungsfähigkeit des zusammengesetzten Auges in der genannten Distanz eben Ausgesagte zur vollen Anschaulichkeit zu bringen, sozusagen ad oculos zu demonstrieren, habe ich als Beispiel der zu erkennenden Objecte dasjenige gewählt (obgleich zu befürchten steht, dass hierdurch das vorliegende Heft dieser Zeitschrift das Ansehen eines botanischen Fachblattes gewinnen möchte), was sich hauptsächlich und fast ausschliesslich beständig in der Nähe der Insekten befindet und worauf sich Alle mehr oder weniger, sei es zu Zwecken der Ernährung, der Sorge für die Nachkommenschaft oder der Ruhe aufzuhalten pflegen, nämlich Pflanzen, und zwar deren ansehnlichste und am meisten flächenhaft entwickelte, von regelmässigen Linienzügen umgrenzte Theile, die Laubblätter. Es ist dabei die das Erkennen in hohem Grade begünstigende Voraussetzung gemacht zu denken, die zu betrachtenden Blätter befänden sich vor einer ganz gleichmässig und anders, als sie selbst, gefärbten Fläche, etwa vor dem hellen unbewölkten Himmelsgewölbe, also einem Hintergrunde, von dem sich ihre Umrisse besonders scharf und bestimmt abheben müssen. Ausserdem sind grosse und höchst charakteristisch geformte, vermittelt des menschlichen Auges noch in beträchtlicher Entfernung leicht und gut erkennbare Blätter ausgewählt worden, wie sie nur wenige Pflanzen zeigen. Aus zwei Gründen also muss das Pflanzenlaub, wie es gewöhnlich sich darstellt, im allgemeinen viel schwieriger zu erkennen sein, als die abgebildeten Muster; einmal seiner weit geringeren Flächenerstreckung und der in minder charakteristischen Linien verlaufenden Umrisse wegen, und zweitens, weil es nicht vor einem durch seine Farbe entschieden sich abhebenden und dabei an sich einheitlichen Hintergrunde gesehen zu werden pflegt, sondern vor einem aus Seinesgleichen gebildeten, daher im allgemeinen ungleichförmigen, aus in verschiedenen Gestalten sich zeigenden und ungleich grossen Theilen zusammengesetzten. Diese immer vorhandenen

dem deutlichen Unterscheiden entgegenwirkenden Schwierigkeiten müssen häufig dadurch noch gesteigert werden, dass bei dem leisesten Luftzuge, wie er ja im Freien sich fast immer fühlbar macht, die leichten, dünnen und breiten Blattflächen in Unruhe gerathen und sich schwankend durch einander hin bewegen.

Ueber die vollkommen getreu nach der Natur und in ihrer wirklichen Grösse abgebildeten, meist nur in den Umrissen wiedergegebenen Blattformen ist ein Netz von Elementarsehfeldern gezeichnet worden, deren Breite einen Centimeter beträgt. Wenn man sich nämlich die Augenkugel irgend eines Insektes soweit vergrössert denkt, dass die in Wirklichkeit nur einige Hundertstel Millimeter erreichenden Facetten sich bis zur bezeichneten Grösse ausdehnen würden,¹⁾ so kann ein so kleiner Theil der Kugel, als hier erforderlich ist, ohne bedeutenden Fehler als eben angesehen und demnach ohne allzu merkliche Verzerrung auf der Ebene des Papiers ausgebreitet gedacht werden. Es ist dann ohne weiteres ersichtlich, dass der von einem Elementarsehfeld bedeckte Theil eines Laubblattes nur gerade durch die einzige diesem Sehfelde entsprechende Cornea-Facette hindurch auf die lichtempfindlichen Theile des Auges wirken kann; denn der Grundgedanke der Theorie vom musivischen Sehen lautet ja dahin, nur die in radialer Richtung auf die kugelförmig convexe Retina auftreffenden Lichtstrahlen könnten percipirt werden. Bei einem so kleinen Stück einer Kugel aber, welches unbedenklich als eben und mit der Papierfläche zusammenfallend angesehen werden kann, sind die Radien ungefähr parallel und stehen sämmtlich annähernd senkrecht auf der Ebene des Papiers.

Bei der Construction der neben jede einzelne Blattform gestellten Wiedergabe derselben in der Art, wie jene sich dem Facettenauge in der mehrfach angegebenen Distanz darstellen muss, ist Folgendes beobachtet worden. Es sind zur Zusammensetzung dieser Retinabilder nicht nur diejenigen Elementarsehfelder verwendet worden, welche ganz und gar durch einen Theil des Blattes ausgefüllt sind und daher ausschliesslich grünes Licht enthalten, sondern auch diejenigen, welche theilweise auf den Rand der Blattfläche, theilweise aber auf den anders gefärbt zu denkenden Hintergrund zu liegen kommen und daher in verschiedenem Grade gemischtes, heller oder blasser grünes Licht den ihnen entsprechenden Retina-Elementen zuführen. Nur in dem Falle, dass der in das Bereich eines Elementarsehfeldes fallende Theil der Blattfläche als verschwindend klein zu betrachten war, wurde das betreffende Element bei der Wiedergabe natürlich nicht berücksichtigt. Da selbstverständlich die mit der sechseckigen Figur der Hornhautfacetten im allgemeinen übereinkommende polyedrische Begrenzung der

¹⁾ Worauf ja die practische Ausführung der Grössenberechnung der Elementarsehfelder beruht.

Elementarsehfelder mit der Ausgestaltung des Netzhautbildes nichts zu thun haben kann, so wurde nicht einfach der mannichfaltig gezackte und eckige Umriss¹⁾ des Complexes der mit den Contouren des Blattes ganz oder zum Theile zusammenfallenden Elementarsehfelder als die Umgrenzung jenes Bildes angesehen, sondern es war noch eine nicht bedeutende, aber doch vielleicht einer kurzen Erläuterung bedürftige Umarbeitung nach folgenden einfachen Grundsätzen erforderlich. Derjenige Theil des Netzhautbildes, der durch die Gesammtheit der von dem ein einzelnes Elementarsehfeld erfüllenden Stück des Gegenstandes ausgehenden Strahlen gebildet und durch die lichtempfindliche Thätigkeit eines einzigen Retina-Elementes dem Bewusstsein des Thieres übermittelt wird, stellt für die Wahrnehmung einen Punkt dar, aber natürlich keinen Punkt in mathematischem Sinne, sondern ein punktförmiges Fleckchen, oder, etwas vergrössert gedacht, eine kleine Kreisfläche (Taf. I, Fig. 1a und b). Sind zwei benachbarte Elementarsehfelder durch ein Stück des Gegenstandes von ganz gleichförmiger und mit derjenigen der Umgebung contrastirender Oberflächenbeschaffenheit erfüllt, oder: werden zwei neben einander gelegene Augenelemente gleichzeitig durch Lichtstrahlen von gleicher Farbe und Intensität in etwas anderer Art afficirt, als die umliegenden, so entsteht eine längliche an beiden Enden abgerundete Figur (Taf. I, Fig. 2a und b). Wird endlich eine ganze Reihe von Augenelementen durch dasselbe Licht in derselben Stärke erleuchtet, so resultirt eine Linie oder ein schmaler Streifen, der an seinen beiden Seiten natürlich durch zwei gerade parallele Linien begrenzt wird (Fig. 3, a und b und 4, a und b). Springen dagegen die am äussersten Rande des Gegenstandes gelegenen Sehfelder in regelmässiger Abwechslung etwas vor und zurück, so bildet sich eine Wellenlinie, wie an den beiden längeren Seiten des ungefähr ein Oblongum darstellenden Complexes von Sehfeldern, (Fig. 5a und b auf Taf. I).

Wenn sich die Retinabilder auf den beifolgenden Tafeln ungefähr in der Grösse der gesehenen Objecte wiedergegeben finden, so soll damit natürlich nicht das Geringste weder über die scheinbare Grösse ausgesagt werden, in welcher die letzteren den Insekten erscheinen, noch über die Ausdehnung des Flächeninhaltes, welchen das Bildchen auf der Netzhaut des Thieres einnimmt. Letzterer liesse sich leicht annähernd nach Maassgabe der Anzahl der in Betracht zu ziehenden Augenelemente berechnen; es ist jedoch hier nicht weiter von Werth, denselben für einzelne bestimmte Fälle genau anzugeben. Die scheinbare Grösse eines Gegenstandes ferner ist, wie Johannes Müller²⁾ ausführlich darlegt, vom Sehwinkel

¹⁾ In Fig. 6a auf Tafel I ist derselbe durch stärkere Linien bemerklich gemacht.

²⁾ Zu vergl. Physiologie des Gesichtssinnes, pag. 378.

desselben abhängig, d. h. von dem Winkel, welchen die Längsrichtungen derjenigen Augen-Elemente mit einander bilden, auf welche von den beiden äussersten Rändern des Objectes Strahlen in radialer Richtung auftreffen. Täuschungen über die wirkliche Grösse eines Gegenstandes bei unbekanntem oder wechselndem Abstände desselben sind in Folge der besonderen Einrichtung des zusammengesetzten Auges ebensowohl möglich, als sie durch die Beschaffenheit des Sehorganes der höheren Thiere unvermeidlich herbeigeführt werden müssen.

Wenn somit unter den beiden genannten Augenformen in der Art Einhelligkeit herrscht, dass z. B. Gegenstände von derselben Grösse und in derselben Entfernung gesehen, unter dem nämlichen Sehwinkel erscheinen, so ist damit doch noch nichts darüber ausgesagt, ob unter den angegebenen Bestimmungen ein und dasselbe Object in beiden Fällen ganz die gleiche Vorstellung von Ausdehnung erweckt, ob seine absolute Grösse beidemale als die nämliche empfunden wird. Wenn die von verschiedenen Einzelwesen mittelst des Gesichtssinnes aufgenommenen Anschauungen überhaupt unter einander in dieser Weise verglichen werden dürfen, so wird wohl vor Allem zu untersuchen sein, ob im Bewusstsein der Insekten eine Vorstellung von dem Zwischenraum zwischen Object und Sinnesorgan vorhanden ist und ob der Inhalt dieser Vorstellung in beiden Fällen wenigstens annähernd übereinkommt. Es würde bei dem Versuche einer Beantwortung jener schwierigen Frage, die ich mich hier begnügen muss nur aufzustellen, wohl auch zu berücksichtigen sein, dass durch den eigenthümlichen Bau des Facettenauges nichts der deutlichen Sehweite des menschlichen Sehorganes Entsprechendes gegeben ist; dass die Grenze des völlig deutlichen Wahrnehmens vielmehr bei ersteren mit der Oberfläche der Hornhaut identisch ist. Dem Umstande, dass der Körperrumfang der Insekten ein so viel geringerer ist, steht der andere bis zu gewissem Grade ausgleichend gegenüber, dass dieselben einer Energie und Ausdauer der Muskelthätigkeit und im Zusammenhange damit der behendesten und ausgiebigsten Bewegungen mit einer Leichtigkeit fähig sind, die wahrhaft erstaunlich ist und jedenfalls die Weite des Raumes und die Ausdehnung dessen, was ihn erfüllt, für die Vorstellung verringern muss.

Es konnte bei jedem einzelnen der bildlich vorgeführten Beispiele immer nur eine einzige von den unzählig vielen überhaupt denkbaren, im Kleinen und Einzelnen von einander etwas verschiedenen Lagen von Auge und Object zu einander gezeichnet werden, welche ihren Ausdruck in der jedesmaligen Anordnung und Richtung der Sechseck-Reihen im Verhältniss zu den Blattumrissen finden. Natürlich muss der bei der Construction des Sehfeldernetzes ein wenig in dieser Art mitspielende Zufall einen gewissen Einfluss auf die Gestalt äussern, welche die Umgrenzung des Retinabildes zeigen wird; aber dieser Einfluss ist im allgemeinen nicht sehr

wesentlich; und wenn sich auch vielleicht einzelne Combinationen herausfinden lassen, durch welche das Unterscheiden und Wiedererkennen begünstigt wird, so stehen diesen jedenfalls ungleich zahlreichere Fälle gegenüber, von welchen das Gegentheil gilt. Es ist auch, meiner Ansicht nach, genügend, überhaupt gezeigt zu haben, dass es wenigstens einige Fälle gibt, in denen ein grösseres Object von einigermaassen auffälligen Formen in einem gewissen Abstände undeutlich und nicht mehr erkennbar erscheint; denn sicherlich ist hierdurch wenigstens die unmittelbare Nähe der Grenze des deutlichen Sehens indicirt. Anstatt eine Vorstellung davon zu geben, wie unter etwas andersartigen Umständen sich dasselbe Object ein wenig verschieden, wie es sich etwa im besten und wie im ungünstigsten Falle ausnehmen wird, habe ich vorgezogen, den zur Verfügung stehenden Raum lieber mit Gestalten von mannichfaltiger und verschiedenartiger Bildung anzufüllen und bin der Meinung, hiermit die Einsicht in den uns beschäftigenden Gegenstand besser gefördert zu haben.

Nachdem dies vorangeschickt, wird die nähere Prüfung der Abbildungen wohl keinem Missverständnisse mehr begegnen. Fig. 6a auf Taf. I stellt drei Fiederpaare des sehr anschaulichen, weithin für unser Auge erkennbaren Fiederblattes von *Ailanthus glandulosa* (Götterbaum) dar; daneben präsentirt sich das entsprechende Retinabild (Fig. 6b), welches, einem unbestimmten Schatten ähnlich, nur noch die Grössenverhältnisse des vorliegenden Objectes im ganzen einigermaassen wiedergibt, sicherlich aber, wenn es allein vorhanden wäre, die feinere Gestaltung des letzteren nicht errathen liesse. Nicht nur, dass der Charakter der ein jedes dieser länglichen, etwas geschweiften und fein zugespitzten, mittelst eines ganz kurzen Stieles fast sitzend der Mittelrippe angehefteten, an der Basis beiderseits mehrfach geöhrtten Blätter umgrenzenden Linienzüge völlig verloren gegangen ist: es ist davon überhaupt nichts mehr zu sehen, dass wir ein gefiedertes Blatt vor uns haben; statt dessen zeigt sich ein etwas unregelmässig eingeschnittenes, in der Mitte wie durch Insektenfrass an einigen Stellen fein durchlöchert. Wenn es ein bedeutungsvolles Kennzeichen für die geringe Zuverlässigkeit eines Sinnesorganes genannt werden muss, wenn Gleiches oder Aehnliches durch dessen Vermittlung in Ungleichartiges umgewandelt wird, so darf wohl Folgendes noch erwähnt werden: Die Fiedern des Ailanthus-Blattes zeigen durchweg die gleiche Gestalt, obwohl sie an Grösse etwas verschieden sind; im Retinabilde dagegen erscheint die unterste auf der rechten und die oberste auf der linken Seite spitz, die vier anderen stumpf; von den vier oberen Blättchen zeigen die beiden links gelegenen oben wellenförmige, unten geradlinige Begrenzung, während sich die beiden auf der rechten Seite gerade umgekehrt verhalten. — Noch viel weniger dem Originalen entsprechend gestaltet sich der Umriss des Retinabildes von

dem viel kleineren, aber immerhin noch verhältnissmässig umfangreich zu nennenden gefiederten Blatte von *Sorbus aucuparia* (Fig. 7a); dasselbe (Fig. 7b) macht vielmehr mit seinem etwas unregelmässig verlaufenden Rande etwa den Eindruck eines ungewöhnlich grossen und breiten Eichenblattes.

Eine zweite sehr in die Augen fallende Form ist diejenige des gefingerten Blattes, für dessen Typus das ansehnlich grosse Laub der Rosskastanie wohl das beste Beispiel liefert. Bei dem bedeutenden Umfang, welchen die Blätter dieses schönen Baumes zu erreichen pflegen, war es nicht möglich, mehr als einen Theil eines solchen bildlich wiederzugeben (Tafel II, Fig. 1a), von welchem die zwei fast vollständig dargestellten gerade nach oben gerichteten Blattstrahlen und der sie trennende Zwischenraum besonders beachtenswerth sind. Fig. 1b ders. Tafel zeigt nämlich, wie der schmale, zwischen den beiden benachbarten Blattflächen hindurch sichtbare Streifen des Hintergrundes auf der Retina nur noch in seinem obersten Theile auf eine kurze Strecke hin der Wahrnehmung erhalten ist; anstatt eines tiefen, bis in das Centrum der Blattfläche vordringenden Einschnittes erblicken wir nur noch eine nicht sehr ausgedehnte Einbiegung. Somit wird das Rosskastanienblatt nicht fingerförmig zerspalten, sondern nur rundlich gelappt und etwa in der Gestalt eines (vergrössert gedachten) Alchemilla-Blattes erscheinen müssen. — Ein kleineres Blatt derselben Art, dasjenige von *Ampelopsis hederacea* (Taf. II, Fig. 2a) erweckt in seinem wesentlich umgestalteten Retinabilde (ebend. Fig. 2b) die Vorstellung eines Platanenblattes.

Wen die seither besprochenen Beispiele von dem geringen Betrage der dem Facetten-auge in dem mehrfach bezeichneten Abstände zukommenden Unterscheidungskraft noch nicht völlig überzeugt haben sollten, der wird sich doch schwerlich dem Folgenden verschliessen können. Fig. 1 auf Taf. III stellt das Blatt einer Ahornart, Fig. 2 derselben Tafel ein Platanenblatt dar. Wie man sieht, stimmen beide Formen in ihren wesentlichsten Zügen auffallend überein; es sind ferner mit Absicht die beiden benutzten Exemplare so ausgewählt worden, dass sie auch in der Grösse mit einander möglichst genau übereinkommen. Dennoch hat jedes von diesen beiden Blättern auch wieder seine charakteristischen Eigenthümlichkeiten in der Ausbildung seines Randes und in der besonderen Art des Verlaufs und dem etwas verschiedenen Grade der Krümmung der einzelnen kleineren, den Gesamtumriss zusammensetzenden Curven: dieses erscheint etwas geschweifter und eckiger, jenes etwas abgerundeter und gedrungener; die Gestalt des einen ist vielleicht im ganzen etwas gefälliger und eleganter, als die des anderen. Kurz, der Eindruck, den beide auf unseren Sinn machen, ist ein merklich verschiedener, der Art und in so hohem Maasse, dass die blossen Umrisse der beiden Blätter, also abgesehen von

Oberflächenbeschaffenheit und Nervatur, Farbennüancirung oder Glanz, in einer Entfernung von mehr als zehn Schritten noch mit aller Bestimmtheit von einander unterschieden werden können, wie ich mich durch mit mehreren Personen wiederholt angestellte Versuche überzeugt habe. Die Retinabilder der genannten Blätter werden durch die beiden mit der Zahl 3 bezeichneten Figuren derselben Tafel dargestellt; ich möchte es nun dem Urtheile des Lesers überlassen, die zusammengehörigen Paare von Bild und Gegenstand herauszufinden und habe deshalb die sonst angewendete nähere Bezeichnung hier weggelassen. Ich muss es für mehr als zweifelhaft ansehen, ob es möglich sein wird, auf den blossen Anblick hin und ohne zum Ausmessen seine Zuflucht zu nehmen, zu entscheiden, welche von diesen beiden Figuren das Ahorn-, und welche das Platanenblatt vorstellen soll. Die dahin zielenden allenfallsigen Bemühungen sind ja dadurch allerdings sehr erleichtert, dass nur zwischen zwei Dingen zu wählen ist, und dass die betreffenden Zeichnungen, auf demselben Blatte neben einander stehend, gleichzeitig mit dem Blicke erfasst und auf das Bequemste und Eingehendste mit einander verglichen werden können. Indessen, diesen das Wählen begünstigenden Umständen steht auf der anderen Seite eine solche Formlosigkeit der Retinabilder, eine so wenig getreue Erhaltung der zahlreichen kleinen, das Original auf den ersten Blick kennzeichnenden Besonderheiten gegenüber, dass man wohl von vornherein die Unmöglichkeit, das Zusammengehörige mit Bestimmtheit wiederzuerkennen, für das Wahrscheinlichere halten darf.

Es muss schliesslich noch mit wenigen Worten der Verzerrungen gedacht werden, welche die Unähnlichkeit zwischen Gegenstand und Retinabild in sehr vielen Fällen noch ganz besonders und über das Maass des bisher Beigebrachten hinaus vergrössern müssen. Hierher gehört z. B. der Umstand, dass mitunter die einzelnen Augenelemente, insbesondere die Facetten merklich von einander verschiedene Breitenmaasse aufweisen. Es ist in diesem Falle mindestens sehr wahrscheinlich, dass der Umfang der Elementarschfelder zur Ausdehnung der Facetten in einer gewissen Proportionalität steht, so dass den beträchtlicheren Dimensionen dieser eine grössere Fläche jener entspricht, und dass die Differenzen dort sich um so erheblicher herausstellen, je bedeutender die Grössenunterschiede zwischen der kleinsten und der grössten Facettenoberfläche sich ergeben. Die Verzerrung des Bildes findet indessen hier nur im einzelnen und im kleinen statt, indem die ungleich grossen Schfelder auf der Retina als gleichgrosse helle Fleckchen oder Kreisflächen sich darstellen; und es lässt sich im allgemeinen nur soviel sagen, dass durchaus gleichförmige, regelmässige Ausbildung der Corneafacetten (wie bei den Schwärmern z. B.) für das Sehen insofern von vorzüglicher Bedeutung sein muss, als das Bild in Folge hiervon die Grössenverhältnisse des Gegenstandes bis auf seine geringsten Einzelheiten

herab getren widerspiegeln kann, während dies bei mehr regelloser Gestaltung und Anordnung der Facetten nicht vollständig möglich ist.

Eine weitere Veranlassung zu bedeutenderen und mehr im grossen sich äussernden Verzerrungen ist durch den sehr häufigen Fall gegeben, dass die Augenwölbung nicht genau und vollkommen kugelförmig ist. Ich will hier den von Johannes Müller¹⁾ erläuterten Fall nicht weiter erörtern, dass der Durchschnitt des Auges mit einer beliebigen Ebene kein Kreisbogen, sondern eine andere Curve, z. B. eine Ellipse ist. Ich will mich vielmehr auf die nähere Darlegung des die Anwendung von Zahlen gestattenden Falles beschränken, dass die Krümmungshalbmesser des Auges in zwei auf einander senkrechten Ebenen an Länge beträchtlich von einander verschieden sind. Es kann alsdann die Gestalt der Elementarschfelder nicht derjenigen der Facetten ähnlich sein, welche letztere im Allgemeinen als ein reguläres Sechseck betrachtet werden soll; sondern mit zunehmendem Abstände vom Auge wird jene eine stetig wachsende Verzerrung erleiden müssen. Es wird sich dies am einfachsten durch ein Beispiel klar machen lassen. Der das Maass der Wölbung des Auges in der Richtung von oben nach unten, in welcher dasselbe stark verlängert erscheint, angegebene Halbmesser beträgt bei *Apis mellifica* 1,62 mm, während der für die Richtung von vorn nach hinten geltende nur 0,75 mm lang ist. Es ist demnach einleuchtend, dass die Längsrichtungen zweier horizontal neben einander gelegenen Augenelemente weit stärker divergiren müssen, als diejenigen von zwei senkrecht über einander befindlichen. In Folge hiervon ergibt sich, dass z. B. in einer Entfernung (dieselbe beträgt 67 cm), in welcher die Breite eines Elementarschfeldes in senkrechter Richtung gerade einen Centimeter ausmacht, der gegenseitige Abstand zweier parallelen Seiten in horizontaler Richtung sich auf 2,1 cm belaufen wird. Da sich nun die Entfernung zweier einander gegenüberliegender Seiten zu derjenigen zweier diametral einander gegenüberstehenden Eckpunkte verhält wie 1: 1,15, so betragen im Falle das Sechseck eine Seite nach oben kehrt, dessen Maasse von oben nach unten einen Centim., von links nach rechts 2,4 cm, wenn dagegen eine Ecke desselben nach oben gerichtet ist, sind seine Dimensionen die folgenden: von oben nach unten 1,15 cm, von links nach rechts 2,1 cm (Fig. 4 auf Taf. III). Ebenso sind in Fig. 5 derselben Tafel die aus den Augenmaassen von *Tabanus bovinus* für eine Entfernung von circa 78 cm berechneten Elementarschfelder dargestellt; dieselben erscheinen in der Richtung von oben nach unten verlängert, in welcher bei dem genannten Insekt der Augenwölbung das Minimum des

¹⁾ Zur vergleich. Physiol. des Gesichtssinnes, pag. 379.

Krümmungshalbmessers zukommt. In wie hohem Grade durch die bezeichnete Beschaffenheit des Auges und die hierdurch bedingte besondere, mit zunehmender Entfernung von der Form des regulären Sechseckes mehr und mehr abweichende und einseitig verzogen erscheinende Gestalt der Elementarschfelder die gesehenen Gegenstände verzerrt werden müssen, ist aus den Abbildungen Fig. 6, *a* und *b* und Fig. 7, *a* und *b* auf Taf. III abzunehmen, von denen die erste für die Honigbiene, die andere für *Tabanus* gilt; der Umriss einer kreisrunden (schematisch gezeichneten) Blumenkrone erscheint das eine Mal unförmlich hoch und schmal, das andere Mal stark breitgedrückt. Ein derartiges Retinabild lässt sich den durch Reflexion an einem schwach cylindrisch gekrümmten Spiegel entworfenen Figuren vergleichen. Im allgemeinen erscheinen die Retinabilder in der Richtung einer Linie mehr oder weniger stark verlängert, welche der Ebene angehört, deren Durchschnitt mit der Augenwölbung den relativ grössten Kreisbogen darstellt. Aus zwei Gründen müssen folglich die Bilder der gesehenen Dinge in zahlreichen Fällen noch undeutlicher sein, als es den seither vorgeführten Zeichnungen nach anzunehmen sein möchte: einmal, weil die natürlichen Verhältnisse der Objecte gestört und durchaus verändert erscheinen; ausserdem aber auch deshalb, weil der Flächeninhalt eines Elementarschfeldes in der mehrfach genannten Entfernung weit grösser ist, als er es sein würde, wenn jenes reguläre Gestalt zeigte. Bei allen Constructionen wurde nämlich wie bei den Berechnungen immer nur der grössere Krümmungsradius berücksichtigt. Es zeigen sich aber sehr häufig grössere oder geringere Abweichungen des Auges von der reinen Kugelform, von welchen übrigens nur die augenfälligsten in der Tabelle (S. 23) durch doppelte Zahlenangaben angedeutet sind. — Ueber die Bedeutung dieser Unregelmässigkeiten im Bau des zusammengesetzten Auges und die dadurch bedingte Verzerrung der Retinabilder für die theoretische Auffassung jenes Organes wird später noch Einiges zu sagen sein.

Bis jetzt sind ausschliesslich Thatsachen dargelegt und erörtert worden. Das Gesamtergebniss der bisherigen Auseinandersetzung lässt sich kurz dahin zusammenfassen: es ist, wie ich glaube, vollkommen einleuchtend und unwidersprechlich bewiesen worden, dass in einer Entfernung vom Auge, in welcher die Breite der Elementarschfelder einen Centimeter beträgt, und welche im allgemeinen sich auf etwas mehr als einen halben Meter beläuft, in keinem mir bekannten Falle aber die Länge eines Meters erreicht, die Fähigkeit des Facettenauges zum deutlichen Erkennen und bestimmten Unterscheiden so gut wie gleich Null ist. Man könnte nun meinen, diese Länge von höchstens etwa einem Meter stehe zu den geringen Dimensionen des Insektenkörpers ungefähr im gleichen Verhältniss, wie die weiter

abliegende Grenze der deutlichen Wahrnehmungen mittelst des Wirbelthierauges zu der bedeutenderen Körpergrösse der dem letztgenannten Typus zugehörigen Thiere. In diesem Sinne ist wohl folgender Satz Johannes Müller's¹⁾ zu verstehen: »Diese Art des Sehens ist freilich immer sehr unvollkommen und undeutlich, aber für den Lebenshaushalt der Insekten hinreichend.« Claparède hingegen vertritt die entgegengesetzte Ansicht; wenigstens bemüht er sich²⁾ aus dem, was über die Lebensthätigkeiten der Insekten im allgemeinen bekannt ist, was ferner aus einer einzelnen an der Honigbiene gemachten Beobachtung hervorzugehen scheint, zu erweisen, dass die Fernsichtigkeit der Insekten weit grösser sein müsse, als es anzunehmen die unumgänglichen Consequenzen der Theorie vom musivischen Sehen zulassen. Ja, dieser Widerspruch scheint ihm geradezu »genügend, um Müller's scharfsinnige Lehre zu Boden zu schlagen; denn wir wissen, dass viele Insekten ein feines Unterscheidungsvermögen selbst in bedeutender Entfernung besitzen.« Claparède drückt sich übrigens zum Theil so wunderlich aus, dass es nicht auffallend erscheinen kann, wenn Grenacher ihn ganz unverständlich fand und demzufolge den in jenen Sätzen berührten Widerspruch zwischen Theorie und Beobachtung gänzlich übersah.³⁾

Die angedeutete Schwierigkeit liegt hauptsächlich in dem Gegensatze zwischen der räumlich nicht sehr weit reichenden Unterscheidungsfähigkeit des Gesichtsorgans und der überaus grossen, die genaueste Orientirung über einen grösseren Umkreis hin voraussetzenden *Locomotionsfähigkeit* der geflügelten Insekten begründet, welche an Schnelligkeit sowohl, als an Ausdauer der Bewegungen ganz Erstaunliches zu leisten im Stande sind, wofür ich einige besonders ausgezeichnete Beispiele Burmeister's Handbuch der Entomologie (Band I, pag. 502) entnehme. »Der allbekannte Rosskäfer fliegt an den wärmeren Sommerabenden mit einer Geschwindigkeit, die der der Schwalbe nichts nachgibt, wiewohl er nicht den zehnten Theil ihres Umfanges erreicht.« — »Oefters kann man sich, selbst auf dem Pferde reitend, das die Bremse eben anfallen will, indem man dasselbe zum gestreckten Galopp spornt, von der Schnelligkeit ihres Fluges überzeugen; denn sie bleibt immer in der Nähe des Thieres und begleitet dasselbe, etwa zwei bis drei Zoll von seinem Körper entfernt; ja, am Ende, wo sie sich von der Unausführbarkeit ihres Vorhabens überzeugt hat, fliegt sie noch schneller als der Reiter davon, mit unglaublicher Schnelligkeit auf seinem Pfade ihm voranseilend.« — »Das merkwürdigste Beispiel dieser Art dürfte wohl jener Fall sein, den ein englischer Reisender

¹⁾ Zur vergl. Physiol. d. Gesichtssinnes, pag. 366.

²⁾ Zeitschrift für wissensch. Zoologie, 1860, Band X.

³⁾ Untersuch. über das Sehorgan der Arthropoden, pag. 15.

erzählt, welcher mit einem Dampfwagen fuhr, der in einer Stunde zwanzig englische Meilen, also fünf deutsche zurücklegte. Diesen Wagen begleitete auf eine beträchtliche Strecke eine Hummel (*Apis subinterrupta* Kirb.), nicht blos mit derselben Geschwindigkeit, sondern sogar mit einer noch grösseren, indem sie nicht selten um den Wagen herumflog oder Zickzacklinien im Fluge beschrieb. Dabei war den Reisenden noch der Wind entgegen.« Besonders instructiv erscheint mir endlich noch folgendes Beispiel: »Leeuwenhoek erzählt einen Fall, wo eine Schwalbe auf einem langen Gange eine Libelle der Gattung *Agrion* eine Stunde lang jagte, ohne sie erhaschen zu können; das Thierchen blieb immer sechs Fuss seinem Verfolger voraus und entrann ihm am Ende dennoch.« Ist es zuviel gesagt, wenn Burmeister urtheilt: »Kraft und Ausdauer der Muskelbewegungen erreichen bei den Kerfen eine Höhe, die unter allen übrigen Thieren ihres Gleichen sucht und vielleicht nirgends übertroffen wird.«? Es wird ferner ein Jeder, der mit den Lebensgewohnheiten der Insekten sich näher vertraut zu machen, etwa als Sammler, hinreichende Gelegenheit gehabt hat, das über die wunderbare Flugfertigkeit derselben hier Gesagte durch manche eigene, wenn auch nicht so auffallende, den eben erzählten Fällen nicht völlig Gleichkommendes, aber doch dem Grade nach nicht so sehr davon Verschiedenes betreffende Beobachtung bestätigen können. Die gewöhnliche Schnelligkeit der grösseren Tagfalter, aus den Gattungen *Apatura*, *Papilio* oder *Vanessa* z. B., ist eine derartige, dass es einem Menschen auch im angestrengtesten Laufe nicht so leicht gelingt, sie einzuholen; aufgeseucht und erschreckt aber wissen sie sich ihren Verfolgern mit noch weit grösserer Behendigkeit zu entziehen. Wohl alle übrigen Insekten werden an Flugfertigkeit um ein Beträchtliches durch die Schwärmer und die grösseren Libelluliden übertroffen; eben diese Thiere zeigen die grösste Mannichfaltigkeit in der Art ihrer Bewegungen, indem sie bald an derselben Stelle im Luftraum unbeweglich, gleichsam stehend, sich durch den raschesten und für unser Auge nicht mehr sichtbaren Flügelschlag schwebend erhalten, bald mit mässiger Eile von Blume zu Blume dahinflattern, bald aber auch hastig und wild dahingleitend in einem einzigen Schusse, eine schön geschwungene Curve beschreibend, eine Strecke von vielleicht mehr als zehn Metern zurücklegen, wobei sie alle etwa im Wege liegenden Hindernisse mit Sicherheit zu vermeiden und, ohne irgendwo anzustossen, mitten aus Gestrüpp und dichtverschlungenem Buschwerk einen Ausweg zu finden wissen.

Wenn man die Insekten in Bezug auf Gewandtheit und Ausdauer der Locomotion mit irgend einer anderen Thierklasse zusammenstellen wollte, so wüsste ich nur eine einzige zu nennen, die diesen Vergleich wohl aushielte, nämlich die ebenfalls luftbewohnenden, immer unruhigen und leicht beweglichen Vögel. Oben ist schon von einem Falle berichtet worden,

wo ein verhältnissmässig kleines Insekt mit einem der besten Flieger unter den Vögeln, der Schwalbe, in Bezug auf Flugfertigkeit zu concurriren hatte und wo der Erfolg entschieden zu Gunsten des ersteren ausfiel. Aber die Parallele zwischen beiden Thierklassen lässt sich noch weiter ausführen; so sind, aus Mangel an Nahrung oder aus Fürsorge für die Nachkommen-schaft unternommene *Massenwanderungen* so gut von Insekten als von den Vögeln bekannt. Und ebenso wie schlechtere Flieger, die Wachteln z. B., nicht weniger zu den Zugvögeln gehören, als die schnellsegelnden Schwalben, sind ebensowohl Wanderungen der Zugheuschrecke (*Gryllus migratorius*) zahlreich bekannt, — welche sogar den meisten Ruf als wanderndes Insekt gewonnen hat, — als von Libellen¹⁾ und Tagfaltern, besonders dem Kohlweissling²⁾ und dem Distelfalter.³⁾ Auch in diesem Jahre (1879), in welchem der letztgenannte Schmetterling sich überall in ungewöhnlicher Menge sehen liess, fanden sich in den Zeitungen Nachrichten aus der Schweiz und dem südlichen Frankreich über mehrfach beobachtete grössere Züge desselben. Der gewandteste aller Zugvögel ist jedoch unstreitig der *Oleanderschwärmer* (*Sphinx neri*), als dessen Heimathländer Nordafrika und das südliche Frankreich bezeichnet werden, und welcher in heissen Sommern, von einer nicht weiter bekannten Ursache angetrieben, bis in das nördliche und östliche Deutschland, allerdings nur einzeln und nicht in ansehnlicher Menge, aber mit einer gewissen Regelmässigkeit zu gelangen pflegt.

Man sollte nun, denke ich, von vornherein erwarten dürfen, dass Thiere, welche in Bezug auf ihr Vermögen der Ortsveränderung einander so nahe kommen, mit ihren Leistungen hierin gleichsam zu wetteifern scheinen, auch in gleicher Weise hierbei durch dasjenige Sinnesorgan unterstützt werden müssten, welches naturgemäss als der vorzüglichste Leiter aller Bewegungen zu betrachten ist, nämlich das Gesichtsorgan. In der That mag auch die *Ausdehnung* des mit dem Blicke beherrschten Gesichtsfeldes bei beiden Thierklassen einigermaassen vergleichbar sein; denn die Augen der Vögel sind verhältnissmässig grösser als diejenigen irgendwelcher anderen Wirbelthiere, sie sind beweglich und nach verschiedenen Richtungen gekehrt; das stark kugelig vorquellende Facettenauge aber gestattet bekanntlich, einen sehr grossen Theil des Horizontes gleichzeitig zu überblicken. Anders verhält es sich indessen mit den Leistungen des Sehorganes in Betreff der dritten Dimension des Raumes, nämlich der Tiefe desselben, oder der Richtung in grader Linie von jenem weg. Das scharfe, auf grosse Strecken hin gut wahrnehmende und mit Sicherheit unterscheidende Auge der Vögel ist sprichwörtlich; die Insekten hingegen sind, wie oben ausführlich nachgewiesen wurde, dergestalt kurzsichtig, dass sie

¹⁾ Brehm, Thierleben, 4. Abtheilung, 1. Bd., pag. 519. — ²⁾ Ebendas. pag. 352. — ³⁾ Ebendas. pag. 357.
Abhandl. d. Senckenb. naturf. Ges. Bd. XII.

über eine Distanz von einem Meter hinaus überhaupt nichts mehr deutlich zu erkennen im Stande sind.

Wenn jemand nun geneigt sein sollte, auf die so verschiedene Durchschnittsgrösse der den beiden vergleichsweise neben einander gestellten Klassen zugehörenden Thiere ein besonderes Gewicht zu legen: so hätte man nur auf das Vorhandensein der allerkleinsten Vögel zu verweisen, welche den Insekten an Grösse völlig gleichkommen, höchst wahrscheinlich aber, wie der Analogie nach wenigstens zu schliessen wäre, vermittelt ihrer mit Linsen versehenen und unter Mitwirkung der Lichtbrechung fungirenden Augen, auf viel grössere Entfernungen hin zu unterscheiden im Stande sind, als es vermittelt des Facettenauges möglich ist. Ich erinnere mich, in einem Bande der eben im Erscheinen begriffenen »Encyklopädie der Naturwissenschaften«¹⁾ eine Schwärmer-Species (*Macroglossa Titan*) und einen Kolibri neben einander abgebildet gesehen zu haben, beide in der Ansicht von oben und mit horizontal ausgebreiteten Flügeln, diesen mit gerade vorgestrecktem Schnabel, jenen mit gänzlich entrolltem Rüssel, beide in der Stellung, als ob sie saugend vor einer Blüthe schwebten. Die Uebereinstimmung in der Grösse und Gestalt, selbst in der Farbenschattirung zwischen beiden Thieren ist so täuschend, dass man jenem Schmetterlinge den Trivialnamen »Kolibri-Motte« beigelegt hat. Ferner ist die Art zu fliegen bei beiden so ähnlich, dass Bates »der Beobachtung mehrerer Tage bedurfte, ehe er sie im Fluge von einander unterscheiden lernte.« Hier haben wir also ähnliche Gruppierung und Wirkungsweise der bewegenden Muskeln, sowie annähernd gleiches Gewicht und gleiche Anordnung der zu bewegenden Körpermasse; wir haben dieselbe Flugfertigkeit und Sicherheit der Bewegungen sowohl als auch ganz die nämliche Umgebung, in welcher dieselbe ausgeübt wird. Und nur das Auge sollte in einen Falle unterscheidungsfähig und gut, im andern dagegen kurzsichtig und wenig brauchbar sein?

Wenn man dem vorhin Auseinandergesetzten zufolge ohne Uebertreibung behaupten darf, dass die Insekten in einer Entfernung, die mehr als einen Meter beträgt, so gut wie gar nichts zu erkennen im Stande sind, so fragt es sich nun weiter: in welcher Weise orientiren sich dieselben über die Beschaffenheit ihrer Umgebung, über die jedesmaligen Abstände der in ihrer Nähe befindlichen Gegenstände? Wie wissen sie z. B. die Stellen aufzufinden, an welchen sie ungehindert ihren Flug fortsetzen können, und wie wissen sie dasjenige zu vermeiden, was sie hierin hemmen würde, sei es nun der Erdboden selbst, oder die Vegetation, welche er trägt oder was sonst immer? Wenn man zunächst annehmen wollte, die Insekten bildeten sich über

¹⁾ Schenk, Handbuch der Botanik, Band I, pag. 104.

die Distanzen der sie umgebenden Gegenstände annähernd richtige und zutreffende Vorstellungen gemäss dem jeweils bestehenden Verhältnisse von deren scheinbarer Grösse zu der bekannten wirklichen, wie ja auch wir selbst auf diese Art hauptsächlich uns über das Maass des zwischen unserem Sehorgan und den in unserer Nähe befindlichen Dingen enthaltenen Zwischenraumes zu orientiren pflegen: so könnte dies für den Raum von einem Meter im Umkreis des Thieres einstweilen wohl zugegeben werden. Allein es muss als etwas Unbegreifliches erscheinen, wie ein Thier hiermit sollte ausreichen können, welches, ohne sich besonders anzustrengen und ohne dabei rasch zu ermüden, oder ohne dass es erschreckt und in blinder Eile sein Heil in der hastigsten Flucht zu suchen genöthigt worden wäre, sondern gleichsam spielend und mit grösster Leichtigkeit, ja mit anscheinendem Behagen und in seinem gewohnten, durch die Beschaffenheit seines eigenen Körpers bedingten Thun und Treiben begriffen, einen Weg bis zu 10 Meter oder meinetwegen auch nur die Hälfte dieser Strecke in jeder Secunde zurückzulegen vermag. Was aber die übrigen, von uns selbst zur annähernden Abschätzung der Entfernungen benützten Hilfsmittel betrifft, so setzen diese entweder ebenfalls das Erkennen der wahrgenommenen Gegenstände voraus, wie die grössere oder geringere Menge von Einzelheiten, welche wir an ihnen zu unterscheiden im Stande sind, und die Wahrnehmung zwischenliegender Gegenstände von bekannter Entfernung; oder sie kommen bei dem relativ geringen Maasse der hier zu berücksichtigenden Zwischenräume (die doch schwerlich mehr als etwa 30 bis 50 Meter betragen dürften) nicht merklich in Betracht, wie die sogenannte Luftperspective oder die Trübung des Lichtes durch zwischenliegende Luftschichten, welche sowohl die Schärfe der Umrisse verschleiern, als auch die Entschiedenheit der Contraste zwischen Licht und Schatten und den verschiedenen Farben mildern; oder endlich, sie fallen in Folge des besonderen Baues des zusammengesetzten Auges gänzlich weg, wie die in dem etwas veränderlichen Grade der Convergenz der Augenaxen und dem Wechsel der Accommodation uns gegebenen Anhaltspunkte.

Aber noch mehr: selbst die geringe Fähigkeit des Facettenauges, auf unbedeutende Distanzen hin mit Sicherheit zu erkennen, kann für die zur ungehinderten Flugbewegung erforderliche Orientirung nicht von wesentlichem Nutzen sein. Wenn man nämlich, in Uebereinstimmung mit dem vorhin Bemerkten, annehmen wollte, die verschiedene Grösse des Schwinkels, unter welchem die Gegenstände von bekannter absoluter Grösse in ihren wechselnden Abständen vom Auge jedesmal erscheinen, diene als Maassstab zur Beurtheilung der letzteren; woher sollte denn diese absolute Grösse irgendwelcher äusserer Gegenstände den Insekten auch nur im geringsten bekannt sein? Bald nach dem Verlassen der engen Puppenhülle, wenn der Körper

nur erst an der Luft soweit Härte und Festigkeit gewonnen hat, dass die Flügel zu ihrer Bestimmung tauglich erscheinen, beginnt das gleichsam neugeborne Thier, die ihm vergönnte, meistens so kurze Lebensfrist mit eifriger Thätigkeit und lebhafter Bewegung auszunutzen. Der Erwerb der eigenen Nahrung, die eifrige Fürsorge für die Nachkommenschaft treiben es an zu eiligen und unruhigen, mehr oder minder ausgedehnten Wanderungen von Ort zu Ort. Wo fände das kleine Wesen Zeit, auch wenn nicht die erforderlichen psychischen Fähigkeiten wohl grösstentheils mangelten, sich mit den räumlichen Verhältnissen der Gegenstände in seiner immer neuen Umgebung hinreichend bekannt zu machen? Auch hier ist es sehr lehrreich, das entsprechende Verhalten der in so vielen Beziehungen mit den Insekten sonst übereinstimmenden Vögel zu vergleichen. Wie langsam und allmähig lernt der junge Vogel fliegen! Auf anfänglich kurzen, mit der Zeit zunehmenden, zur Uebung dienenden Ausflügen macht er sich nach und nach mit der räumlichen Beschaffenheit der Dinge in einem kleineren oder grösseren Umkreis näher vertraut; an den hier ihm dargebotenen Beispielen lernt er die Entfernungen richtig abschätzen und weiss alsdann erst auch anderwärts, in gänzlich unbekannten Regionen, die allzu grosse, gefährliche Annäherung an frei in die Luft vorragende, seiner Bahn benachbarte Objecte während des Fluges zu vermeiden und seinen Weg aufs sicherste und schnellste zurückzulegen. Dem eben ausgeschlüpften Schmetterlinge dagegen gelingt es sofort und so gut, sich in der Oertlichkeit seiner Umgebung zurechtzufinden, als ob er seit Jahren dort heimisch wäre. Es sei gestattet, ein paar Worte Darwins¹⁾ anzuführen, welche, obgleich sie sich nicht auf die ausgiebigeren, die Ortsveränderung im grossen bezweckenden Flugbewegungen direct beziehen, doch auf etwas mit Letzteren im engsten zeitlichen Zusammenhang Stehendes gehen und deshalb auch in unserem Sinne ihre volle Richtigkeit haben: »Für Diejenigen, welche die allmähige Entwicklung der Arten annehmen, wird ein äusserst auffallendes Beispiel der Vollendung, mit welcher die schwierigsten consensuellen Bewegungen überliefert werden können, von einem Schmetterlinge, dem Rüsselschwärmer (*Macroglossa*) dargeboten; man kann nämlich diesen Schwärmer kurz nach dem Verlassen seines Puppengehäuses, wie sich aus dem Staube auf seinen nicht verdrückten Flügelschuppen ergibt, ruhig in der Luft stehen sehen, seinen langen haarähnlichen Rüssel entrollt und in die kleinsten Oeffnungen der Blüthen eingesenkt. Ich glaube, Niemand hat jemals gesehen, dass dieser Schmetterling die Ausführung seiner schwierigen Aufgabe, welche ein so sicheres Zielen erfordert, erst habe lernen müssen.« Ich führe, wie schon gesagt, diese Stelle nicht etwa deshalb hier an, weil die Fähigkeit, die Blüthe deutlich

¹⁾ Der Ausdruck der Gemüthsbewegungen bei den Menschen und den Thieren, übersetzt von Carus, pag. 30.

zu erkennen und die Oeffnung ihres Kelches mit Sicherheit aufzufinden, hier in Betracht käme; noch weniger, weil ich die Absicht hätte, die von anderwärts her einleuchtend gemachte Wahrscheinlichkeit unbewusst und blind zur Ausübung gebrachter, durch Vererbung überlieferter und vervollkommneter Fertigkeiten und Naturanlagen zur Darlegung dessen zu verwerthen und mit in Anspruch zu nehmen, wie es den Insekten möglich ist, sich mit Hilfe der durch das Facettenauge vermittelten Gesichtswahrnehmungen im Raume zu orientiren (denn was könnte den Versuchen, einen anscheinend wunderbaren Vorgang sich einigermaassen begreiflich zu machen und die Einsicht in den genauen Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung im besondern und einzelnen zu vermehren, weniger förderlich sein, als gerade dies?); sondern nur deshalb, weil hier mit treffenden Worten bestätigt wird, wie schnell, nachdem die völlige Ausbildung erreicht ist, das Thier sich zu seinen gewandten Flugbewegungen vollkommen geschickt fühlt; nach einer Zeit, die so kurz ist, dass sie der Lebensdauer eines jungen Vogels gegenüber als verschwindend betrachtet werden darf.

Fast möchte man sich unter Berücksichtigung der angedeuteten Umstände der Annahme nicht abgeneigt fühlen: das Facettenauge spiele als Leiter der schnellfördernden und weites Umherschweifen ermöglichenden Flugbewegungen überhaupt gar keine Rolle; mit anderen Worten, die auf diese Form des Sehorganes angewiesenen Thiere (denn das sicherlich kurzsichtige Stemma kommt hier nicht in Betracht) flögen sozusagen auf gut Glück so in den Tag hinein. Allein diese Auskunft muss als durchaus unstichhaltig sogleich wieder verworfen werden. Ihr steht aufs Entschiedenste entgegen die durchgreifende, von Johannes Müller im einzelnen nachgewiesene genaue Proportionalität zwischen der durch die Form des Auges bedingten Grösse und Gestalt des Gesamtschfeldes einerseits und dem Umfange und der vorzugsweisen Richtung der Bewegungen andererseits. Ihr widersprechen ebenso die von Réaumur und Andern angestellten Experimente.¹⁾

Aber nicht blos das Experiment, auch die Beobachtung spricht für die Fähigkeit der Insekten, sich in der Aussenwelt auf das genaueste zu orientiren. Wenn auch natürlich das grösste Gewicht in dieser Beziehung auf die ersichtliche Zweckmässigkeit und Sicherheit der Flugbewegungen derselben zu legen ist, so lassen sich doch noch manche andere, an sich geringfügige, aber als Anzeichen für die vollkommenste Bekanntschaft jener Thiere mit ihrer Umgebung nicht bedeutungslose Thatsachen im gleichen Sinne verwerthen. Dahin gehört z. B. eine Beobachtung, die ich mich erinnere mehrfach an Schmetterlingen, besonders dem

¹⁾ J. Müller, Zur vergl. Physiol. des Gesichtssinnes pag. 369 u. folg.

bekannten Distelfalter (*Vanessa cardui*) gemacht zu haben. Derselbe ruht mit Vorliebe auf sonnenbeschienenen Feldwegen und Rainen; wird er nun, ohne heftiger erschreckt zu werden, durch das Geräusch der Schritte eines zufällig dem Orte, wo er sich niedergelassen, sich nähernden Menschen beunruhigt, so pflegt er rasch aufzufliegen, den Letzteren etwa einigemal zu umkreisen, vielleicht auch sich ein wenig weiter zu entfernen, um dann zurückzukehren und nach einigem Hin- und Herflattern sich genau an der alten Stelle wieder auf den Boden zu setzen, welche sich doch, dem Anscheine nach, in nichts von ihrer Umgebung erheblich unterscheidet; an welcher er selbst auch nichts weiter sucht, als die Gelegenheit zu vorübergehendem Ausruhen oder vielleicht die etwas höhere Temperatur der reflectirten Sonnenstrahlen: Vortheile, welche die Erdoberfläche doch überall in annähernd gleichem Maasse darbietet. Mit Anwendung der nöthigen Vorsicht kann man den beschriebenen Vorgang mehrmals sich wiederholen sehen; das Thier kehrt mit dem gleichen Eigensinne immer an die alte Stelle zurück, wie bekanntlich die zudringliche Stubenfliege trotz alles Wegscheuchens das unbedeckte Antlitz eines Ruhenden immer wieder aufzufinden weiss. — Nicht ganz unwichtig kann ferner der Umstand erscheinen, dass manche Insekten, wie mehrere Dipteren und einige Libellula-Arten so weiche Augen besitzen, dass diese durch die geringste unvorsichtige Berührung mit den Fingern eingedrückt und zusammengefaltet werden. Wie verhängnissvoll müsste demnach diesen Thierchen ein während ihres raschen Fluges zufällig erfolgendes Anstreifen an Baumzweige oder andere harte Gegenstände werden! — Auch die jedem Sammler wohlbekannte Thatsache, dass schon das Wehen eines leisen Windes die Insekten veranlasst, ihre Ausflüge durchaus einzustellen, dass plötzlich eintretende unfreundliche, obschon nicht rauhe Witterung sie vom Tummelplatz ihres geschäftigen Treibens sofort gänzlich verschwinden macht, scheint darauf hinzudeuten, dass sie, die vermöge der Leichtigkeit ihres Körpers ein Spiel jedes leisen Luftzuges sein und von ihm unwillkürlich dahin getragen werden müssten, nicht willenlos weitergetrieben und von der Stelle geführt werden, sondern ihren eigenen bewussten Antrieben folgen wollen; diese aber können ihre bestimmte Richtung grösstentheils nur durch Vermittlung des Sehorgans erhalten, wie auch nur mit Hilfe des letzteren das erstrebte Ziel sicher zu erreichen ist.

Wenn also mannigfache und tiefeingreifende bei den Insekten zwischen der Thätigkeit des Sehorgans und der Bewerkstelligung der Ortsveränderung bestehende Beziehungen nicht zu leugnen sind: sollte dann der oben berührte, ebenso offenbare Widerspruch zwischen einfachen Folgerungen aus den Grundgedanken der Theorie vom musivischen Sehen und den thatsächlichen Beobachtungen uns vielleicht veranlassen, jene, wie Claparède will, gänzlich aufzugeben?

Aber welche andere Theorie sollte dann an die Stelle derselben treten? Die einzige bis jetzt ihr ernstlich entgegengesetzte hat sich ja durch Grenacher's Untersuchungen eben jetzt erst als völlig unhaltbar herausgestellt. Und andererseits genügt unlängbar der ganze Bau des facettirten Auges so vollkommen und ohne die geringste Veranlassung zu weiteren Einwänden zu bieten, allen sonstigen Voraussetzungen und Anforderungen jener Theorie.

Es bleibt demnach nichts Anderes übrig, als einen Ausweg auf dem Boden jener Theorie selbst zu suchen. Exner ¹⁾ hat einen derartigen Versuch gemacht, der volle Beachtung verdient, und zwar nicht blos deshalb, weil er der einzige bis jetzt überhaupt unternommene ist.

Exner hebt an mit dem Berichte über eine interessante Beobachtung an der Retina des menschlichen Auges, welcher zufolge deren peripherische Theile wenig zum Erkennen der Gestalt der Gegenstände, desto besser aber zum Empfinden von Bewegungen geeignet sind; dies geht nach ihm soweit, dass auf solchen Theilen der Retina, durch welche das Vorhandensein des ruhenden Gegenstandes nicht im geringsten wahrgenommen wird, dessen Bewegungen einen sehr lebhaften Eindruck hervorbringen. »In dieser Funktion des Auges als Bewegung erkennendes Organ scheint der Schlüssel zum Verständniss des Facettenauges zu liegen. So unzweckmässig dasselbe zur flächenhaften und räumlichen Auffassung der Aussenwelt gebaut ist, so zweckmässig dürfte sein Bau zur Erkennung von Bewegungen sein,« u. s. w. Exners Ansicht zufolge würde also das genannte Sehorgan »nach Art unserer peripheren Netzhautstellen fungiren, es würde mangelhafte Localempfindungen und deutliche Bewegungsempfindungen liefern.« Auch in der Beobachtung mancher Lebensgewohnheiten und einzelner auffallend erscheinender Züge im Verhalten der Insekten glaubt der in Rede stehende Forscher eine Bestätigung für die Richtigkeit des Satzes zu finden, der gleichsam das Fundament seiner Beurtheilung des Facettenauges bildet und sich wohl kurz und ohne Uebertreibung mit den Worten ausdrücken liesse: das Facettenauge nimmt hauptsächlich nur Bewegungen wahr.

Es kommt mir durchaus nicht in den Sinn, die vielfältigen Vortheile bestreiten zu wollen, welche den Insekten, unter denen ja viele Arten ebensowohl höchst gefräßige Raubthiere, als die wichtigste und gesuchteste Nahrung anderer Geschöpfe sind, aus der Empfindlichkeit ihres Sehorgans für Bewegungserscheinungen in Bezug auf das Erjagen ihrer lebenden Beute einerseits und in Bezug auf die Bewerkstelligung rechtzeitiger Flucht vor den zahlreichen Nachstellungen grösserer Thiere andererseits erwachsen müssen. Ebenso bereitwillig gebe ich zu,

¹⁾ Berichte der Wiener Academie, III. Abth., Bd. LXXII, Juliheft 1875.

dass die Insekten ihre Verfolger, wenn dieselben sich noch weit jenseits der nach den obigen Erörterungen im Abstände von höchstens einem Meter auf allen Seiten des Thieres verlaufenden Grenze des deutlichen Sehens befinden, doch an unvorsichtigen und raschen Bewegungen derselben schon zu erkennen vermögen; während die Feinde, so lange sie sich ruhig verhalten oder nur unerheblich bewegen, in der Regel nicht bemerkt und beachtet werden. Es ist sehr leicht einzusehen, wie es hiernach scheinen kann, als ob die in Frage kommenden Thiere in der That überhaupt durch nichts, als durch Bewegungen geschreckt würden. Es soll vielmehr jetzt ausschliesslich untersucht werden, inwiefern vermittelt einer derartigen leisen Empfindlichkeit für Bewegungserscheinungen eine gewisse Orientirung über die räumlichen Verhältnisse der Aussenwelt, insbesondere über die wechselnden Abstände der mehr als einen Meter von dem Thiere entfernten, nur schwach und undeutlich wahrgenommenen, in ihren Einzelheiten als nicht klar erkennbar zu denkenden Dinge möglich wäre und sich vorstellen liesse. In Exner's Arbeit finde ich diesen Gedanken nicht weiter ausgeführt, aber doch hinreichend angedeutet. In einer Anmerkung nämlich heisst es: »Es gehört wahrscheinlich auch, die Function der Netzhautperipherie hierher, auf den Weg zu achten, den wir gehen. Bekanntlich weichen wir jedem Stein aus, ohne ihn anzublicken. Es ist eben auch das Bild des Weges auf unserer Netzhaut in Bewegung, und man kann beobachten, dass ein Mensch, der stehen geblieben war, ehe er wieder ausschreitet, den Weg wirklich anblickt.« Ebenso nun, wie auf unserer Netzhaut das Bild des beschrittenen Weges, sind auf der Retina des Facettenauges die Eindrücke der Gegenstände in Bewegung, an welchen das Thier gerade vorüberfliegt. Diese Bewegung der ersteren wird um so rascher sein, je näher beim Auge sich die letzteren befinden, und an der geringeren oder bedeutenderen Geschwindigkeit, mit welcher die einzelnen ihrer Gestalt und wahren Grösse nach nicht genauer erkennbaren Objecte vorüberzuschweben scheinen, ist offenbar ein gewisser Maasstab zur Beurtheilung der jedesmaligen Distanzen derselben gegeben. »Wenn uns nahe bei den Augen eine Fliege vorbeifliegt, und wir sie aus einer Art von Zerstreung für sehr weit halten, so können wir sie leicht für einen Adler ansehen; aber sobald wir so zu sagen wieder zu uns selbst kommen und uns besinnen, dass der Gegenstand nahe bei uns ist, so erkennen wir die Fliege.« ¹⁾ Die Möglichkeit der Verwechslung zweier Thiere von so sehr verschiedener Grösse liegt in der durch die sehr ungleiche Weite der Entfernungen derselben bedingten Gleichheit des Schwinkels begründet, unter dem sie uns erscheinen, und in der nicht mehr vorhandenen klaren Unterscheidbarkeit der Einzelheiten ihrer Körpergestalt; das bedeutende Schwanken ferner, welches unsere Vorstellungen

¹⁾ Euler, Physikalische Briefe an eine deutsche Prinzessin, Bd. I, pag. 120.

über den als thatsächlich anzunehmenden Zwischenraum verrathen, ist eine Folge davon und zeigt deutlich an, dass unsere sonstigen Hilfsmittel zur Bestimmung desselben uns hier gänzlich im Stiche lassen. Worin aber, möchte ich fragen, besteht jenes »Sich-Besinnen, dass der Gegenstand nahe bei uns ist?« Es wird wohl nicht so sehr ein schärferes, angestrongteres Fixiren mit dem Blicke gemeint sein; ich denke vielmehr, diese Worte sind der etwas unbestimmte Ausdruck für die halb unbewusste überraschende Wahrnehmung, dass der kleine, dunkle Gegenstand von zweifelhafter Natur sich mit einer Geschwindigkeit durch das helle Gesichtsfeld dahinbewegt, die auf die ungeheuer weite Distanz bezogen, in welcher ein Adler schweben müsste, um unter einem so geringen Gesichtswinkel zu erscheinen, eine ganz enorme, völlig undenkbare Grösse ergeben würde. Hier haben wir also einen Fall, wo durch die blosser Empfindung der Bewegung und deren Geschwindigkeit der Ort des bewegten, nicht genau erkannten Objectes wenigstens annähernd bestimmt wird; allerdings ist hier nur zwischen zweien, noch dazu sehr weit aus einander liegenden Distanzen zu wählen. Folgende Veranschaulichung dürfte der zu verdeutlichenden Sache selbst wohl noch etwas näher kommen. Wenn man auf der Eisenbahn fährt, so scheinen bekanntlich die Telegraphenstangen weit rascher vorüberzufliegen, als die Bäume auf den nächsten Feldern rückwärts eilen; diese wieder schweben schneller vorüber, als die Hütten eines entfernteren Dorfes, welche nur zögernd hinter dem dahinbrausenden Zuge zurückbleiben; kaum merklich rücken endlich die am fernen Horizont sich erhebenden Höhenzüge weiter und weiter in den Hintergrund, um anderen Platz zu machen. Es ist nun nicht schwer, aus der mehr oder minder annähernden Uebereinstimmung in der Schnelligkeit der scheinbaren Bewegung, z. B. zwischen einem der genannten Gegenstände und irgend einem andern, vielleicht nach Gestalt und sonstiger Beschaffenheit nicht näher erkennbaren auf eine entsprechende, ganz gleiche, oder etwas kleinere, oder auch viel grössere Distanz desselben zu schliessen; etwa zu entscheiden, ob ein unten am Horizont in der Abenddämmerung auftauchendes Licht irdischen Ursprunges ist und durch das Fenster eines hoch und einsam gelegenen Hauses herüberschimmert, oder ob dasselbe von einem mit ruhigem Glanze leuchtenden Planeten, etwa dem hell röthlich strahlenden Mars herrührt. — Ganz in dieser Art wirkend, nur unvergleichlich feiner und ausgebildeter dürfte man sich die Empfindlichkeit des Facettenauges für Bewegungserscheinungen vorstellen, um sich begreiflich zu machen, wie mittelst dieser Eigenschaft desselben eine hinreichende Orientirung über die wechselnden Distanzen der umgebenden Gegenstände sehr wohl möglich wäre. Ich weiss nicht, ob Exner sich seine Vorstellungen über die Functionsweise des Facettenauges genau in dem angedeuteten Sinne gebildet hat, da er, wie gesagt, sich nicht ausführlicher hierüber ausspricht.

Wenn jedoch, wie Exner sich etwas paradox ausdrückt, nur die Bewegung, nicht aber das Bewegte selbst soll wahrgenommen werden können, wenn also des letzteren Gestalt, Grösse und sonstige charakteristischen Eigenschaften nicht deutlich erkannt werden können, so ist in der That schwer einzusehen, was anders an dieser Bewegung, an einem Attribute, dessen Qualität für alle Objecte ganz die gleiche ist und deren Richtung ausser allem Zusammenhange mit dem augenblicklichen Abstände eines einzelnen Gegenstandes steht, was anders an jener zum Maassstabe des letzteren dienen könnte, wenn nicht ihr Grad oder die relative scheinbare Geschwindigkeit.

Diese Idee scheint auf den ersten Anblick so einleuchtend, zugleich so einfach und den gegebenen Bedingungen doch völlig entsprechend, dass man in der That wünschen möchte, sie nur bestätigt, nicht aber widerlegt zu sehen. Und dennoch lässt sich leicht zeigen, dass dieselbe unmöglich richtig sein kann. Schon gegen das Beispiel, das Exner für die Function der peripherischen Netzhautstellen des Menschen anführt, — nämlich dass diese dazu dienen, auf die Beschaffenheit des beschrifteten Weges zu achten und so dem Wanderer die Mühe erspart würde, denselben direct mit dem Blicke zu fixiren, — liesse sich manches einwenden; vor Allem muss es insofern bedenklich erscheinen, als sich für die geringe Beachtung, die wir beim Gehen gewöhnlich dem Wege zuzuwenden scheinen, und welche sich in der auffallend schwachen Neigung der optischen Axen der Augen aussprechen soll, ein ganz einfacher Grund angeben lässt, welcher dies ebenso gut erklärt, als Exner's Annahme. Eine einfachere Begründung aber, die genügen kann, muss doch wohl der nicht mehr leistenden und dabei fremdartige, vielleicht an sich selbst unbegreifliche Vorgänge zu Hilfe nehmenden vorgezogen werden. (Etwas Aehnliches liesse sich vielleicht gegen die zur Erklärung der Functionsweise des Facettenauges herbeigezogene Beobachtung überhaupt geltend machen, dass sie nämlich selbst noch zu neu und unerklärlich ist, als dass sie schon zur Erläuterung anderer räthselhafter Vorgänge angewendet werden dürfte. Exner's höchst merkwürdige Entdeckung selbst soll natürlich auch nicht im geringsten hier in Zweifel gezogen werden: sie bleibt selbstverständlich durchaus unbestritten, auch wenn sein Beispiel nicht ganz treffend gewählt sein und die Anwendung auf das facettirte Auge sich aus anderweitigen Gründen verbieten sollte.) Wenn nämlich ein Fussgänger beim Beginne seines Marsches einmal mit dem Blicke die Wegstrecke dicht von seinen Füßen an bis zu einer Distanz von vielleicht 25 Schritten vor ihm überflogen und durchmustert hat, — was natürlich ohne eine augenblickliche geringe Senkung des Hauptes nicht geschehen kann, — so wird er von nun an sicher fortschreiten dürfen, den Blick in die Ferne gerichtet und den Weg scheinbar keiner Beachtung weiter würdigend; in

der That aber überzeugt er sich von dessen Beschaffenheit immer um ein gewisses kleines Stück im Voraus, ohne dass er den immer aufs neue näher heranrückenden und zuletzt unmittelbar vor ihm gelegenen Theil desselben nun nochmals mit dem Blicke fixiren müsste. Es ist ja eine fast unmerkliche Senkung des Auges hinreichend, um über den Zustand eines überdies im ganzen glatten und gangbaren, nur selten einmal ein zufällig und ausnahmsweise vorhandenes Hinderniss bietenden Weges hinlängliche Kenntniss zu erlangen für den Zwischenraum zwischen jener Distanz von etwa 20 oder 30 Schritten vor dem rasch und stetig dahinwandelnden einerseits und solchen Weiten andererseits, wo das Wahrnehmen überhaupt gänzlich aufhört. Wir wollen die Probe auf die Richtigkeit des Gesagten machen: es sei nicht ein gepflegter und vielbetretener Spazierweg gegeben, sondern ein rauher und holperiger, dem Wanderer unbekannter Gebirgspfad. Wird Jener hier auch noch mit erhobenem Haupte und in die Ferne gerichteten Blicke dahinschreiten dürfen, wird er nicht vielmehr sorgsam vor die Füße sehen müssen, wenn er nicht öfters an Steine austossen oder ausgleiten will? Wenn man die Sache auf meine Art ansieht, so ist die Erklärung einfach: hier sind eben der Einzelheiten zu viele, als dass der vorausschweifende Blick sie alle gehörig aufzufassen im Stande wäre. Wenn man dagegen annimmt, das auf den peripherischen Theilen der Netzhaut in Bewegung begriffene Bild des Weges sei von irgend welchem wesentlichen Nutzen beim Vermeiden von im Wege liegenden Hindernissen oder unpässirbaren Stellen desselben, warum sollte die merkwürdige Bewegungsempfindlichkeit der Retina gerade da den Dienst versagen, wo aus ihren Leistungen doch offenbar der grösste Vortheil erwachsen müsste?

Doch wir wenden uns wiederum zur Betrachtung des Facettenauges selbst. Die hier in Betracht kommenden Gegenstände sind durch hinlänglich weite Zwischenräume getrennt, ihre Abstände vom Auge sind mithin genügend abgestuft, um beträchtliche Differenzen in der Geschwindigkeit zu verursachen, mit welcher sich ihre nicht genau erkennbaren Bilder auf der Netzhaut des dahin fliegenden Insektes fortbewegen; so dass also von dieser Seite her wenigstens nichts einzuwenden wäre. Allein eine unübersteigliche Schwierigkeit bildet der Umstand, dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Objecte sich zu bewegen scheinen, nicht lediglich von den wechselnden Entfernungen derselben abhängig, sondern zugleich eine Function der Eigenbewegung des Thieres ist. Wie unendlich viele Abstufungen der Letzteren aber sind nicht möglich, vom fast unbeweglichen Schweben an bis zum pfeilschnellen Dahinschiessen! Dieser überaus grosse Wechsel in der Fluggeschwindigkeit macht die Orientirung im Raume vermittelt der wahrgenommenen scheinbaren Bewegungen der in der Nähe befindlichen Gegenstände vollkommen illusorisch. Wie schwer wäre es schon

denkbar, — selbst vorausgesetzt, dass die psychischen Fähigkeiten hoch genug entwickelt wären und dass das Thier genau genug die letztgenannte Bedingung für das jedesmalige Maass der Bewegung der Netzhautbilder zu berücksichtigen im Stande wäre, — dass es nicht dem ungeachtet immerfort in Täuschungen mancherlei Art verfallen sollte! Im Augenblicke des rapidesten Fluges werden alle, auch etwas entferntere Gegenstände verhältnissmässig rascher vorüberzueilen scheinen, als während der gewöhnlichen Bewegungsweise von mittlerer Schnelligkeit; es wird also Alles dem Thiere anscheinend sich nähern und dasselbe so schrecken und in seiner Weiterbewegung stören. Nähert sich dasselbe hingegen der Oberfläche des Erdbodens oder einer Planze, um sich daselbst zum Ausruhen niederzulassen, gemächlich und mit etwas verminderter Eile, so wird die gemässigte Geschwindigkeit, mit welcher alsdann die Bilder auf seiner Netzhaut weiterrücken, den Schein erwecken müssen, als ob die Gegenstände anfangen zurückzuweichen, und so aufs neue zu Irrthum Veranlassung geben. — Allein steht den Insekten überhaupt wohl ein sicherer Maassstab zur Schätzung ihrer eignen Fluggeschwindigkeit zu Gebote? Ich wüsste nur folgende drei Umstände anzuführen: die Energie der eigenen Muskelthätigkeit, die Stärke des zu überwindenden Luftwiderstandes, endlich die Geschwindigkeit, mit welcher die in der Nähe der Flugbahn befindlichen Gegenstände vorüberzuschweben scheinen. Die Empfindungen der ersten und der zweiten Art aber sind unzuverlässig: die Muskelaction nämlich muss nach vorausgegangenen Anstrengungen bedeutender erscheinen, als sie thatsächlich ist; und der Widerstand der Luft wechselt je nach der zufällig mit der des Fluges mehr übereinstimmenden oder ihr entgegengesetzten, augenblicklich herrschenden Windrichtung. Der Versuch hingegen, die scheinbare Bewegung der das Gesichtsfeld erfüllenden Objecte in dem angedeuteten Sinne zu verwerthen, würde einen offenbaren Cirkelschluss ergeben. Exner's sinnreiche Hypothese in Betreff der besonderen Art der Leistungen des Facettenauges hat sich somit, wenigstens zur Lösung des uns gegenwärtig beschäftigenden Problems als unzureichend erwiesen. Die postulierte Empfindlichkeit des genannten Organes für Bewegungserscheinungen, möge dieselbe als einen noch so hohen Grad erreichend gedacht werden, ist, so bedeutend und vorthellhaft für den Organismus sich diese Eigenschaft auch sonst bethätigen mag, doch für die Entscheidung der vorliegenden Frage gleichgültig.

Ich glaube, dass der einzige Ausweg aus den oben dargelegten Widersprüchen zwischen den Forderungen der Theorie und den unzweifelhaft durch Beobachtung festgestellten That- sachen durch tieferes Eindringen in den wahren Sinn gerade dieser Theorie zu finden, ja sogar in ein paar Worten Johannes Müller's selbst schon enthalten ist; zwar nicht durch dieselben unmittelbar gegeben und gleichsam mit Händen zu greifen, aber doch leicht und ohne

Zwang oder Künstelei daraus abzuleiten. Ich meine jenen bekannten Satz, welchen der genannte ausgezeichnete Forscher an die Spitze seiner ganzen Erörterung über die Theorie der zusammengesetzten Augen gestellt hat und welchen man als den Grundgedanken der Lehre vom musivischen Sehen betrachten darf: ¹⁾ »die Insekten sehen weder nach dioptrischen, noch nach katoptrischen Gesetzen, sondern nur durch eine nähere Bestimmung der Beleuchtung.« Ich muss gestehen, dass die letzteren Worte mich zuerst auf die Idee gebracht haben, die ich nun näher auseinandersetzen will.

Nur solche Lichtstrahlen, so lautet der einfache Hauptgedanke der Theorie vom musivischen Sehen, sollen percipirt werden können, die auf die Augenkugel radial oder ungefähr in der Richtung der Krystallkegelaxen auftreffen. Wenn demnach alle Lichtstrahlen, die empfunden werden sollen, radial gerichtet sein müssen, so ist doch noch die Frage offen, ob umgekehrt auch alle im radialen Sinne einfallenden Strahlen percipirt werden können, oder blos ein Theil derselben, und welcher? Wobei wir vorläufig noch nicht näher nach den besonderen Einrichtungen fragen wollen, durch welche ein Theil der Strahlen ausgeschlossen, ein bestimmter anderer dagegen zugelassen wird. Wie man sieht, läuft unsere Untersuchung in gewissem Sinne auf das oben schon berührte Verhältniss der einzelnen Elementarsehfelder zu einander hinaus, welches mit Sicherheit genau festzusetzen vorhin nicht gelingen wollte. — Es ist klar, dass durch jenen fundamentalen Satz die in Betracht kommenden Strahlen sowohl in ihrer Richtung zum ganzen Auge, als in ihrem gegenseitigen Verhältniss, — letzteres, soweit sie in das Bereich eines und desselben Augenelementes gehören, — noch nicht völlig genau bezeichnet sind. Ich lasse es dahingestellt sein, ob Johannes Müller selbst in seiner Entscheidung hierüber geschwankt, oder ob er sich die Zulässigkeit mehrerer, im einzelnen etwas modificirter Auffassungen überhaupt gar nicht klar zum Bewusstsein gebracht habe. Jedenfalls sind die beiden folgenden Annahmen möglich und von vornherein wohl auch gleich berechtigt und wahrscheinlich.

1. Es fällt auf jede Retinula ein cylindrisches Lichtbüschel oder eine Lichtlinie, genau in der Richtung der optischen Axe des Augenelementes. Die einzelnen dieses Büschel zusammensetzenden Lichtstrahlen halten im strengsten Sinne die gleiche Richtung ein. Das Stück des Gegenstandes, von welchem dieselben ausgehen, und welches ein einzelnes Elementarsehfeld erfüllt, ist somit für alle noch so verschiedenen Entfernungen durchaus gleich gross; es ist nämlich genau gleich dem Querschnitte des hinteren zugespitzten nicht pigmentirten Endes des Krystallkegels oder gleich demjenigen der Retinula.

¹⁾ Zur vergleich. Physiol. des Gesichtssinnes, pag. 363.

2. Auf jede einzelne Retinula gelangt ein Lichtkegel, dessen Axe der Längsrichtung des Augenelementes entspricht. Der Winkel an der Spitze dieses Kegels ist beiläufig gleich dem kleinsten Schwinkel; die Basis desselben oder das Elementarsehfeld wächst natürlich mit dem Quadrate der Entfernung des Objectes.

Von dem allenfallsigen Einfluss der durch die linsenartige Krümmung der Corneafacetten bewirkten Lichtbrechung auf die Helligkeit der Retinabilder ist hier ganz abgesehen worden; es wird sich später zeigen, aus welchem Grunde.

Der Unterschied zwischen diesen beiden Modificationen der Theorie erscheint allerdings an sich unbedeutend; wie spitz und einem dünnen Cylinder ähnlich ist doch ein Kegel, dessen Seiten einen Winkel einschliessen, der kaum ein paar Grade beträgt! Indessen, diese kleine Aenderung in der Richtung der auf eine einzelne Retinula einwirkenden Strahlen erzeugt doch ausserordentliche Unterschiede in der Menge des die Empfindung hervorrufenden Lichtes. Betrachten wir zunächst den zweiten von den beiden oben einander gegenübergestellten Fällen. Es ist klar, dass, die Richtigkeit desselben vorausgesetzt, die Lichtstärke des durch eine einzelne Retinula vermittelten Eindruckes stets die gleiche bleiben muss, gleichgiltig, ob der Gegenstand entfernt oder ganz in der Nähe ist; unter der Bedingung selbstverständlich, dass er immer gleich stark beleuchtet ist und dass seine dem Auge zugekehrte Oberfläche sich selbst parallel verschoben gedacht wird. Denn die Basis des Strahlenkegels einerseits wächst ja mit dem Quadrate der Entfernung; die Helligkeit eines jeden einzelnen von den die Grundfläche desselben zusammensetzenden leuchtenden Punkten andererseits nimmt mit dem Quadrate der Entfernung ab; Beides muss sich gerade die Wage halten und die Intensität der Eindrücke ist mithin von der Entfernung unabhängig, wie es ja auch bei dem menschlichen Auge, für nicht allzu grosse Strecken wenigstens, in gleicher Weise der Fall ist. Nennt man z. B. für einen Abstand vom Auge, der einen Meter beträgt, die Lichtstärke eines einzelnen hellen Punktes $= 1$; die Anzahl der Punkte, welche auf dasselbe Augenelement einwirken, sei $= n$. Auf der Retinula vereinigen sich nun alle von diesen ausgehende Strahlen zu einem Eindruck von mittlerer Qualität, dessen Helligkeit gleich der Summe der Intensitäten jener leuchtenden Punkte sein muss, folglich hier $= n$. Wird nun der Gegenstand bis zu einer Distanz von 10 Meter abgerückt, so wird die Lichtstärke eines jeden einzelnen hellen Punktes auf den hundertsten Theil ihres vorherigen Betrages herabsinken, dafür aber auch die Anzahl der lichtausgebenden Punkte um das Hundertfache wachsen; mithin bleibt die Intensität der Empfindung genau die gleiche, nämlich $\frac{1}{100} \cdot 100n = n$. Es würde demnach ein Büschel Grashalme oder

eine Hand voll Baumblätter, in der Entfernung von etwa einem Meter gesehen, einen ganz gleichen, in nichts den grossen Unterschied der Distanzen verrathenden Eindruck machen müssen, wie ein ganzer Waldbaum oder eine Strecke Wiesenland von etwa entsprechender Grösse bei einem Abstand von 100 oder mehr Meter; denn Farbe und Leuchtkraft ist in beiden Fällen die gleiche, ebenso die Einzelheiten des Bildes hier wie dort verworren und nicht erkennbar. Ein derartiger Verlauf der wirksamen Strahlen, bei welchem durch deren Gesammtheit ein schmaler Lichtkegel gebildet würde, könnte mithin der Orientirung über die räumliche Anordnung der gesehenen Objecte in nichts zu Hilfe kommen.

Wie dagegen wird sich die Sache verhalten, wenn wir der anderen von den beiden, an sich gleich zulässigen oben aneinander gesetzten Annahmen den Vorzug geben? Die Anzahl der die Fläche eines Elementarsehfeldes zusammensetzenden leuchtenden Punkte bleibt hier, wie schon gesagt, immer die nämliche, mag der Gegenstand ganz in der Nähe oder mag er noch so weit entfernt sein. Da nun die Helligkeit der einzelnen Punkte, aus denen das an Grösse unveränderliche Stück des Gegenstandes besteht, mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt, so muss auch die Lichtstärke des einheitlichen Eindruckes, welcher die Resultante der Einwirkung jener Gesammtheit von hellen Punkten bildet, sich umgekehrt verhalten, wie das Quadrat der Entfernung. Nennen wir wiederum für einen Abstand, der einen Meter beträgt, die Intensität eines einzelnen leuchtenden Punktes $= 1$; die immer sich selbst gleich bleibende Anzahl der wirksamen Punkte sei n ; es ist mithin für die genannte Distanz die Stärke des Eindruckes $= n$. Entfernt sich nun der Gegenstand bis auf fünf Meter, so vermindert sich die Helligkeit jeder einzelnen Componente des Elementarsehfeldes bis auf $\frac{1}{25}$; die Lichtstärke der Empfindung ist also jetzt durch $\frac{n}{25}$ zu bezeichnen. Ebenso ergibt sich für eine Entfernung von 10 Meter $\frac{n}{100}$ u. s. w. Hier haben wir also den lange gesuchten Maassstab für die Beurtheilung der wechselnden Zwischenräume zwischen Object und Sehorgan, die besondere Art, auf welche dieselben im Bewusstsein des Thieres ihren Ausdruck zu finden und zur Geltung zu kommen vermögen, endlich gefunden. Und zwar muss diese Abstufung in der scheinbaren Stärke der Beleuchtung einen Maassstab von ganz vorzüglicher Bestimmtheit und von weit grösserer Feinheit darstellen, als er uns selbst durch den Sehwinkel gegeben ist, unter welchem uns Objecte von bekannter absoluter Grösse erscheinen. Letzterer nämlich nimmt nur einfach im selben Verhältniss ab, wie die Entfernung wächst (strenggenommen gilt dies nicht vom Sehwinkel selbst, sondern von dessen Tangente); eine bestimmte Länge, bei-

spielsweise die Höhe eines Menschen erscheint in der doppelten Distanz nur halb so gross wie in der einfachen, u. s. f. — Ferner wird diese Art, die Entfernungen abzuschätzen, durch den Umstand erleichtert, dass die in der Umgebung der Insekten befindlichen Dinge fast nur eine einzige Farbe, nämlich die grüne, und diese allerdings in mannigfachen Schattirungen, aber doch in einer im ganzen merklich sich überall gleichbleibenden Intensität zeigen. Freilich wird unter der Voraussetzung des eben geschilderten Verlaufes der wirksamen Strahlen die scheinbare Helligkeit der Objecte sehr rasch mit wachsender Entfernung abnehmen müssen. Allein auf diesen Umstand allenfalls zu basirenden Einwürfen gegenüber darf ich mich wohl auf folgende Worte Johannes Müller's berufen: ¹⁾ »Auch wird die Menge des Lichtes, welches zur Specification des Bildes das Innere des Auges beleuchtet, nur sehr gering sein. Allein diese geringen Unterschiede heben dennoch das Sehen nicht auf; denn auch die leisesten Affectionen wird der Sehnerv in den Energieen des Lichtes und des Farbigen empfinden.«

Man könnte ferner vielleicht eine Schwierigkeit darin finden, dass der angegebenen Hypothese zufolge, gemäss welcher ausschliesslich die ganz genau die Richtung der optischen Axen der radial gestellten Augenelemente einhaltenden Lichtstrahlen die lichtempfindlichen Theile des Auges zu erreichen im Stande sind, offenbar die einzelnen Elementarsehfelder durch dem Abstände des gesehenen Gegenstandes proportional wachsende Zwischenräume getrennt werden, deren Inhalt mithin der Wahrnehmung entzogen bleibt. Bei einigermaassen beträchtlicheren Distanzen zwischen Sehorgan und Object kommt demnach nur ein kleiner, ja schliesslich sogar nur ein verschwindend geringer, aus vereinzelter, regelmässig über die Oberfläche des letzteren zerstreuten Punkten zusammengesetzter Bruchtheil desselben zur Einwirkung, während der ganz überwiegend grössere Theil des gesehenen Gegenstandes für das Sinnesorgan so gut wie gar nicht vorhanden ist. Es vergrössern sich nämlich die Flächenräume zwischen den Elementarsehfeldern im Verhältniss des Quadrates der Entfernung, während letztere selbst angenommenermaassen ihre Ausdehnung jederzeit unverändert beibehalten. Unter der Voraussetzung hingegen, dass auf jede Retinula ein Strahlenkegel von dem in der Richtung ihr ungefähr entsprechenden Theil des Gegenstandes aus gelange, würden die einzelnen Elementarsehfelder, gleichviel, ob sie sich mit ihren Rändern ein wenig decken, oder einander gerade berühren oder durch kleine Zwischenräume getrennt werden, jedenfalls doch genau in demselben Verhältniss wachsen, wie das Gesamtsehfeld beim Zurückweichen des

¹⁾ Am angeg. Orte, pag. 366.

Gegenstandes objectiv an Grösse zunimmt, so dass der letztere immer mit seinen sämmtlichen Theilen, oder, angenommen es seien wirklich gewisse Zwischenräume zwischen den einander benachbarten Elementarsehfeldern vorhanden, wenn auch nicht der ganze, so doch wenigstens jederzeit ein gleicher Bruchtheil desselben auf das Sinnesorgan einwirken könnte. Jedenfalls aber afficirt im einen ganz wie im andern Falle der Gegenstand bei einer bestimmten Entfernung vom Auge doch ganz die gleiche Anzahl von Elementen desselben; sein Bild besteht also beidemale aus einer gleichgrossen Menge von einheitlichen Lichtpunkten, von denen ein jeder aus der Gesamtheit der von einem kleineren oder grösseren Stück des Gegenstandes ausgehenden Strahlen resultirt. Für die Deutlichkeit der Auffassung kann es aber sicherlich wenigstens nicht von sehr wesentlichem Belange sein, ob diese für die Empfindung einheitlichen Lichtflecke, aus denen sich das Retinabild zusammensetzt, von der Einwirkung einer geringeren oder einer grösseren Anzahl von lichtaussendenden Punkten des Gegenstandes herrühren. Wenn aber auch zugegeben werden mag, dass unter der Annahme, die Elementarsehfelder vergrösserten sich proportional dem Gesamtsehfelde, das Bild dem Gegenstande im allgemeinen ein wenig genauer entsprechen, und möglicherweise denselben etwas vollständiger wiedergeben wird, als im andern Falle, so ist doch auch zu bedenken, dass auf diesen geringen Unterschied nur innerhalb der Grenze des deutlichen Sehens vernünftigerweise Werth gelegt werden kann. Diese aber verläuft in solcher Nähe vom Auge, dass bei weitem in der Mehrzahl der Fälle sich die Objecte mehr oder minder weit jenseits von ihr befinden müssen. Für den weitaus grössten Theil der überhaupt dem Thiere zu Gesichte kommenden Gegenstände hat also dieser einzelne kleine Vorzug der im allgemeinen sich nicht zur Annahme empfehlenden Theorie keine Bedeutung. Ausserdem ist noch zu beachten, dass innerhalb der Grenze des deutlichen Sehens, wo also die Elementarsehfelder höchstens die Breite von einem Centimeter erreichen würden, wenn sie nämlich ohne irgendwelche Lücken mit ihren Rändern überall dicht an einander heranreichten, die Ausdehnung der Zwischenräume doch wohl nicht beträchtlich genug sein kann, um ernstlich störend und die Deutlichkeit des Retinabildes beeinträchtigend auftreten zu können.

Bevor wir dazu übergehen, uns die Functionsweise des Facettenauges in den einzelnen merkwürdigen, dieselbe auszeichnenden Zügen näher zu vergegenwärtigen und die eigenthümliche Stellung, welche jenes vermöge seiner besonderen Leistungen in der Reihe der Sehorgane einnimmt, etwas genauer zu bestimmen, möge unsere Aufmerksamkeit erst noch einem andern, nicht bedeutungslosen Umstande zugelenkt werden, welcher, ohne mit dem Locomotionsvermögen oder dem Ortssinne und der Orientirungsfähigkeit der Insekten den geringsten Zusammenhang zu

besitzen, mit den bei Untersuchung und Vergleichung jener Eigenschaften gewonnenen Ergebnissen im besten Einklang steht und also die Wahrscheinlichkeit der in Betreff des Verlaufes der wirksamen Strahlen aufgestellten Hypothese zu erhöhen im Stande ist. Ich meine das merkwürdige Verhalten der Insekten gegen das directe Sonnenlicht, das bis jetzt einer eingehenderen Prüfung auffallenderweise noch nicht gewürdigt worden zu sein scheint. Die Insekten zeigen sich bekanntlich zum grössten Theil in ihrer vollen Lebensthätigkeit fast nur bei ruhigem klarem Wetter und hellem Sonnenschein. Sie werden also von den mit sommerlicher Kraft und in ungeminderter Fülle herabströmenden Sonnenstrahlen fortwährend beschienen, während des Fluges sowohl, als wenn sie auf Planzen oder, was manche besonders zu lieben scheinen, auf sandigen oder steinigen, gänzlich schattenlosen und das Sonnenlicht grell reflectirenden Stellen des Erdbodens sitzend ruhen. Selbst die nächtlichen Thiere werden, wenn sie sich zufällig einmal nicht hinlänglich verborgene Schlupfwinkel zu ihrem Tageschlummer ausgesucht haben, mitunter von den Strahlen der Morgensonne erreicht und getroffen, ohne sich deshalb in ihrer Ruhe stören zu lassen, wenigstens so lange jene noch keine intensivere erwärmende Wirkung ausüben. Nun beherrscht das Facettenauge bekanntlich fast immer ein sehr ausgedehntes Gesichtsfeld, mitunter beinahe den ganzen Horizont, so dass die Sonnenscheibe wenigstens sehr häufig mit unter die Zahl der den Gesichtskreis erfüllenden Gegenstände gehören wird; Schutzvorrichtungen des Auges aber, etwa unseren Lidern oder auch nur der verengerungsfähigen Pupille vergleichbar, sind, soweit bis jetzt bekannt, nirgends vorhanden (Leydig's hierhergehörige Beobachtungen sind durch die neuesten von Grenacher aufs sorgfältigste angestellten Untersuchungen durchaus nicht bestätigt worden, wie letzterer ausdrücklich bemerkt.) Es ist ferner zu erwähnen, dass viele Insekten, die Libellen z. B., deren Kopf sozusagen fast ganz Auge ist, manche Tagfalter, und andere, mit grossen, wohlentwickelten, stark kugelig vorspringenden Sehorganen ausgestattete Gattungen mehr, auf Pflanzen oder dem Erdboden sitzend und dem heissesten Sonnenbrand mit Behagen sich aussetzend, oft längere Zeit, mehrere Minuten hindurch sich völlig unbeweglich verhalten, sei es aus Ermattung und um sich völlig ungestört der Ruhe hinzugeben, sei es um räuberisch auf Beute zu lauern. Wenn nun die Sonnenscheibe, wie es immer bei weitem das Wahrscheinlichste ist, in der That in dem Gesichtsfeld des Thieres mit enthalten ist, so muss sie, da das Auge ja seine Lage nicht ändert, so lange jenes stille sitzt, längere Zeit unausgesetzt einen und denselben Theil der Retina treffen. Dazu kommt noch, dass dieser Theil der Retina, auf welchem sich das Sonnenbildchen darstellt, nicht eine grössere Anzahl von lichtempfindlichen Elementen in sich begreift, wie es bei dem menschlichen Auge der Fall ist, sondern nur einige wenige oder gar

nur eins. Es beträgt nämlich der Schwinkel, unter welchem die Sonne von der Erde aus gesehen erscheint, im Mittel 32 Minuten. Der kleinste Schwinkel oder die Richtungsdifferenz je zweier benachbarter Elemente des Facettenauges hingegen beläuft sich im Durchschnitt auf etwa einen und einen halben Grad, sinkt aber in keinem mir bekannten Falle tiefer als bis zu 39 Minuten herab (bei einer *Aeshna*). Es kann mithin das Sonnenbildehen sich jedenfalls nicht über mehr als zwei in einer geraden Linie gelegene Augenelemente verbreiten und höchstensfalls auf drei in einem Punkte zusammentreffende vertheilen; im allernünstigsten Falle jedoch kann die ganze Sonnenscheibe auch dem Bereiche eines einzigen Elementarsehfeldes angehören. Auf der menschlichen Retina dagegen erstreckt sich das Sonnenbildchen über eine bedeutende Menge von Perceptionseinheiten; da nämlich die Winkeldistanz der letzteren im Mittel etwa 10'' beträgt, so müssen die Schenkel eines Winkels von 32' auf zwei solche treffen, die durch 190 ihres gleichen dazwischenliegende getrennt sind; es umfasst mithin das Bildehen der Sonnenscheibe auf der menschlichen Retina eine Kreisfläche, deren Durchmesser gleich 192 Einheiten, deren Inhalt demnach etwa gleich 27 000 lichtempfindlichen Stäbchen ist.

Sehen wir zu, was eine jede der beiden oben erörterten Hypothesen zur Erklärung der geschilderten Thatsachen zu leisten vermag. Setzen wir zunächst voraus, eine jede Retinula des zusammengesetzten Auges werde durch einen kegelförmigen Complex von ungefähr in der Richtung des Radius convergirend einfallenden Lichtstrahlen erregt, so wird die Sonnenscheibe in ihrer ganzen Ausdehnung dem Blicke ausgesetzt sein müssen, da ja die mit dem Quadrate der Entfernung wachsenden und in fast unendlichen Abständen vom Auge eine unendliche Grösse erreichenden Elementarsehfelder, der einfachsten Annahme zufolge wenigstens, mit ihren Rändern einander ungefähr berühren. Es ist allerdings richtig, dass die beim Anblick der Sonnenscheibe vom Facettenauge überhaupt direct aufgenommene Menge von Sonnenlicht weit geringer sein muss, als die in das der Sonne gerade zugekehrte menschliche Auge eindringende. Da nämlich die Lichtbrechung in jenem Sehorgane höchstens nur eine sehr unwesentliche Rolle spielt, indem sie vielleicht in unerheblichem Maasse die Helligkeit der gesehenen Objecte vermehrt, so wird sich in unserem Falle die Gesamtheit der dort wirksamen Strahlen auf einen dünnen Kegel beschränken, dessen Basis die Sonnenscheibe bildet und dessen Querschnitt auf der Oberfläche der Augenkugel nur etwa die Ausdehnung einer Facette besitzt; anstatt dass vom Wirbelthierauge die von sämtlichen Punkten der Sonnenscheibe auf den ganzen durchsichtigen Oberflächentheil der Hornhaut auftreffenden Strahlen percipirt werden. In das Insektenauge gelangt mithin ungefähr soviel Licht, als wir selbst beim Anblicken der Sonne durch ein dicht vor das Auge gehaltenes, ganz fein durchlöchertes Kartenblatt aufzufassen

vermögen. Ich muss aber bezweifeln, ob ein normales menschliches Auge selbst diesen verhältnissmässig sehr kleinen Bruchtheil für auch nur etwas längere Zeit zu ertragen im Stande ist; ich habe mich wenigstens durch einige mit einer kleineren Anzahl von Personen angestellte Versuche davon überzeugt, dass nach wenigen Augenblicken Blendungserscheinungen einzutreten pflegen. Nun hat man sich sicherlich die Lichtempfindlichkeit des zusammengesetzten Auges der Insekten (wobei wir von den zahlreichen mehr oder minder nächtlichen Thieren ganz absehen wollen), der für beide Fälle etwa gleichen durchschnittlichen Lichtstärke der gewöhnlich sich dem Blicke darbietenden Objecte entsprechend, derjenigen unseres eigenen Sehorganes im allgemeinen annähernd vergleichbar vorzustellen. Es ist jedoch nicht zu übersehen, dass dieselbe um so beträchtlicher und um so feiner ausgebildet, mithin das Organ selbst schon dem unsrigen übergrossen Einwirkungen um so weniger gewachsen und durch dieselben um so leichter verletzbar zu denken ist, einen je geringeren Einfluss beim Zustandekommen des Sehvorganges im Facettenauge man der Lichtbrechung zuzugestehen geneigt ist. Denn wenn die letztere wirklich nur in untergeordneter Weise in Betracht kommen sollte, so müssen die wahrgenommenen Helligkeiten der gesehenen Gegenstände viel geringer sein, als sie uns selbst erscheinen, mithin wird begreiflicherweise auch die obere Grenze der Lichtintensität, welche das Organ ohne vorübergehende Beschädigung und ohne in seiner Function gestört zu werden, zu ertragen vermag, entsprechend tiefer liegen, als bei unserem Auge. Hilft dagegen die Lichtbrechung wesentlich mit zur Specification des Netzhautbildchens im Facettenauge, so muss auch von der Sonne eine entsprechend grössere Lichtmenge auf die Retina des letzteren gelangen und das Tagesgestirn muss den Insekten in um so strahlenderem und blendenderem Glanze erscheinen. Das Resultat bleibt mithin das gleiche. Es ist ferner zu berücksichtigen, dass der oben ausgeführten Berechnung zufolge durch das ins Innere des Facettenauges direct eindringende Sonnenlicht, da sich nämlich in diesem das Netzhautbildchen der Sonnenscheibe nur aus dem 9000sten bis 27 000sten Theile der im menschlichen Auge hierfür in Betracht kommenden Perceptionseinheiten zusammensetzt, die überhaupt ins Spiel kommenden um das Neuntausend- bis Siebenundzwanzigtausendfache intensiver erregt werden müssen, als ein jedes der bei dem oben erwähnten vermittelt eines durchlöchernten Kartenblattes angestellten Versuche von den Sonnenstrahlen unmittelbar getroffenen Retina-Elemente des menschlichen Auges. — Wie die vorstehend beschriebenen Thatsachen und der vorhingeschilderte einzelne Zug aus den eigenthümlichen Lebensgewohnheiten der Insekten sich mit einander sollten vereinigen lassen können, ist unbegreiflich; man müsste denn gerade zu einer lediglich *ad hoc* geschaffenen Hypothese seine Zuflucht nehmen, was freilich im allgemeinen

mehr als ein Zugeständniss des Vorhandenseins ungelöster Schwierigkeiten, denn als ein Fortschritt in dem Verständniss anscheinend einander widersprechender Thatsachen anzusehen ist, und wobei man im vorliegenden Falle die Auswahl hätte, entweder bis jetzt mit Sicherheit noch nicht beobachtete Schutzvorrichtungen des Auges zu postuliren, oder eine wunderbare Widerstandsfähigkeit gegen allzu grelle Beleuchtung neben dem, sonst zum Sehen erforderlichen, hinlänglich feinen Unterscheidungsgefühl gegen geringe Helligkeitsabstufungen, wie es die Insekten unzweifelhaft besitzen, als eine nothwendig vorauszusetzende Eigenschaft des Facettenauges zu bezeichnen.

Die Schwierigkeit schwindet dagegen völlig, sobald wir der zweiten, schon vorhin aus anderen Gründen vorgezogenen Hypothese Raum geben, und annehmen, dass von dem die Hornhaut des zusammengesetzten Auges überhaupt treffenden Lichte die weitaus grössere Menge irgendwie absorbiert und ausgelöscht wird, so dass bis zu den lichtempfindlichen Theilen nur ein schmales centrales Bündel unter einander genau paralleler Strahlen vordringen kann. Denn nun wird die Sonne entweder gar nicht gesehen werden, wenn nämlich die ins Unendliche verlängerten Richtungen zweier benachbarten Augenelemente, welche einen Winkel von durchschnittlich etwas mehr als einem Grad mit einander einschliessen, auf beiden Seiten der Sonnenscheibe vorübergehen; denn unserer Annahme nach soll ja ausschliesslich das in jenen Richtungen Befindliche wahrgenommen werden können. Oder, wenn die Sonnenscheibe gerade in den Radius der optischen Axe eines Augenelementes fällt, wird sie zwar die dem letzteren angehörende Retinula erregen; bei der verhältnissmässigen Kleinheit des in Betracht kommenden Stückes der Scheibe jedoch und bei dessen ungeheurer Entfernung wird sie nur einen relativ schwachen Eindruck machen können, möglicherweise selbst einen geringeren, als aus unmittelbarer Nähe und unter sonst sehr günstigen Umständen gesehene irdische Gegenstände. Dieser Satz klingt gewiss ausnehmend paradox. Die selbst für unsere, doch an die beständige Einwirkung viel grösserer Lichtmengen, als die die lichtempfindlichen Theile des Facettenauges erregenden, gewöhnten Augen unerträglich helle, blendende Sonnenscheibe sollte nur schwach von einem Sehorgane wahrgenommen werden, das noch zwischen geringfügigen Helligkeitsdifferenzen zu unterscheiden vermag und mit Hilfe dieser Fähigkeit sich über die räumlichen Verhältnisse seiner Umgebung zu orientiren im Stande ist? Für die auf einem Umwege ihm zukommenden, erst irgendwelche andere Objecte treffenden, alsdann von diesen reflectirten und auf diese Weise abgeschwächten Strahlen sollte das Facettenauge grössere Empfänglichkeit besitzen, als für das auf dem kürzesten directen Wege, in gerader Linie und unvermindert einfallende Sonnenlicht? Ich behaupte dies nicht geradezu mit Bestimmtheit und kann es auch

nicht strenge zahlenmässig erweisen. Allein auch nur eine gewisse Wahrscheinlichkeit eines so widersinnig scheinenden Satzes aufzuzeigen ist immerhin interessant genug und verlohnt wohl einigermaassen die Unbequemlichkeit, mit übermässig grossen Zahlen operiren zu müssen.

Das Widersprechende in der oben aufgestellten Behauptung verschwindet nämlich grossentheils, wenn man Folgendes bedenkt. Auf einen jeden, dem Sonnenschein direct ausgesetzten Punkt der Erdoberfläche fällt Licht von sämtlichen Theilen der Sonnenscheibe; eine einzelne Retinula des zusammengesetzten Auges dagegen können nicht die von sämtlichen Punkten derselben ausgehenden Strahlen treffen und reizen. Denn mögen die von der gesamten Sonnenoberfläche entsendeten Strahlen auch für manche Untersuchungen als vollkommen parallel betrachtet werden können, so ist dies doch hier nicht zulässig, wo vielmehr dem Obigen zufolge die Forderung geltend gemacht werden muss, dass ausschliesslich solche Strahlen, welche durchaus im Sinne der optischen Axe des Augenelementes einfallen und fast mathematisch genau unter einander parallel gerichtet sind, in Rechnung gebracht werden dürfen. Ausserst unbedeutende und fast unmerkliche, nur wenige Winkelsecunden betragende Abweichungen von dem theoretisch zu postulirenden streng parallelen Verlauf sind indessen natürlich nicht auszuschliessen, und diese geringen Unvollkommenheiten bewirken in unserem Falle, dass das hier in Betracht zu ziehende Stück der Sonnenscheibe immerhin viele tausend Quadratmeilen umfassen wird; während das auf eine einzelne Retinula einwirkende Stück eines irdischen Gegenstandes, wie wir oben gefunden haben, im allgemeinen dem Querschnitt derselben an Grösse ungefähr gleich kommt. Setzen wir z. B. voraus, die Winkeldistanz der äussersten, den beiden einander gegenüberliegenden Seiten des einfallenden Lichtbüschels angehörigen Strahlen könne höchstensfalls etwa 10'' betragen, so ergibt sich, die Entfernung der Sonne von der Erde zu 20 600 000 Meilen angenommen, der Radius x des kreisförmigen Stückes der Sonnenscheibe, welches eine Retinula des facettirten Auges zu erregen vermag, durch die Formel

$$\frac{x}{20\,600\,000} = \sin 5''$$

zu 499 Meilen, mithin der Inhalt der in Betracht kommenden Kreisfläche zu 783 230 Quadratmeilen. Dies ist von der ganzen sichtbaren Sonnenfläche, deren Inhalt etwa 29 030 000 000 Quadratmeilen beträgt, nicht mehr, als der 0,000027ste Theil, also ein fast verschwindend geringer Bruchtheil. Nennen wir die Helligkeit eines senkrecht von den Sonnenstrahlen getroffenen und fast sämtliches auffallende Licht reflectirenden Gegenstandes, etwa diejenige

einer glatten weissen Kalksteinplatte, = Eins, so würde diejenige einer Retinula des Facettenauges demnach nur den Werth der Zahl 0,000027 besitzen. Nun wird freilich nicht das sämmtliche Sonnenlicht, welches jenen Stein trifft und erhellt, auch in das selbst aus unmittelbarer Nähe ihn anblickende Auge gelangen; es wird vielmehr zu einem geringen Theil absorbirt und in Wärme umgewandelt, zum grössten Theile dagegen durch unregelmässige Reflexion nach allen Seiten hin zerstreut werden. Aber es wird doch in der einen Richtung stärker und in bedeutenderer Menge zurückgeworfen, als in der anderen, es kann also sehr wohl nach einer bestimmten Richtung hin eine grössere Zahl genau unter einander parallel verlaufender Strahlen ausgesendet werden. Dazu kommt noch Folgendes. Den kolossalen Grössen gegenüber, deren wir uns bei Berechnung der von der Sonne direct auf eine Retinula gelangenden Lichtquantität zu bedienen hatten, konnte deren eigene Ausdehnung, als völlig verschwindend, unberücksichtigt bleiben. Bei Gegenständen in endlichen Entfernungen ist dies dagegen nicht der Fall. So klein nun auch der Querschnitt einer Retinula im allgemeinen sein mag, so ist seine Flächenerstreckung von derjenigen eines leuchtenden Punktes, eines elementaren Flächen-theilchens im physikalischen Sinne doch immerhin noch etwas verschieden; und in diesem Verhältnisse hat man sich die von einem einzelnen Punkte der durch das directe Sonnenlicht erhellten Oberfläche eines Gegenstandes aus die percipirenden Theile des Facettenauges erreichende Lichtmenge vergrössert zu denken, wenn man deren ganzen, thatsächlich der Empfindung dargebotenen Betrag erhalten will. Alles zusammengenommen, glaube ich den für den ersten Anblick so auffallenden Satz doch etwas einleuchtender gemacht zu haben, dass das Facettenauge höchst wahrscheinlicher Weise durch die directe Einwirkung der Sonne weniger heftig afficirt wird, als durch die Eindrücke der von jener stark beleuchteten und unter den denkbar günstigsten Umständen sich darstellenden Gegenstände auf der Erde selbst. Ganz dasselbe, was hier von der Sonne ausgeführt wurde, gilt übrigens für die Augen der nächtlichen Thiere auch vom Monde.

Eine weitere kräftige Stütze findet ferner die oben adoptirte Hypothese an der fortschreitenden Kenntniss der feineren Verhältnisse des Baues und der Anordnung der einzelnen die Elemente des Facettenauges zusammensetzenden Theile. Es wird demzufolge auch von Grenacher ganz der gleiche Verlauf der zur Perception kommenden Strahlen, den wir aus anderen Gründen anzunehmen bewogen worden sind, als der mit grösster Wahrscheinlichkeit wirklich stattfindende hingestellt. Von der vollkommensten Form des zusammengesetzten Auges nämlich, dem sogenannten eukonen Auge mit hinterer Rhabdomanschwellung, vor der sich ein dünner Faden befindet, also mit von der Cornea relativ weit entfernter

Retinula sagt der genannte Forscher:¹⁾ »Betrachten wir ein solches Einzelauge, so wissen wir gleich, welche Strahlen sicher dahin gelangen, wo sie physiologisch wirksam werden können, d. h. ins Rhabdom. Es ist augenscheinlich in dieser günstigen Lage ein dünnes Strahlenbüschel, welches die optische Axe einschliesst und dieser Axe parallel den ganzen Facettenantheil von vorn bis hinten durchsetzt. Der Querschnitt eines solchen Strahlenbüschels wird durch zwei Factoren bestimmt: einmal durch die Krümmung der brechenden Medien, dann aber durch das Pigment und die dünnen Verbindungsfäden.« Nachdem er hierauf den vermuthlichen Gang der durch die peripherischen Theile der Facette tretenden Strahlen etwas näher beleuchtet, fährt Grenacher fort: »Meiner Ansicht nach wird unter allen Umständen dem schmalen ungebrochen durchgehenden axialen Strahlenbüschel die Hauptbedeutung zufallen.« Ueber die beiden andern bei zahlreichen Insektengattungen sich findenden Formen des zusammengesetzten Auges, nämlich das *akone* und das *pseudokone* Auge spricht sich unser Autor nicht weiter aus. Aus unserer ausführlichen Begründung der angegebenen Hypothese jedoch geht mit Nothwendigkeit hervor, dass auch für die beiden letztgenannten Ausbildungsformen des Facettenauges ganz die gleiche Richtung der zur Wirkung kommenden Lichtstrahlen mit Bestimmtheit anzunehmen ist; obschon dies aus der blossen Betrachtung der Gruppierung und der Dimensionen der Augentheile hier wohl nicht mit solcher Leichtigkeit erschlossen werden könnte, wie bei dem *eukonen* Auge.

Im Folgenden soll nun ein Versuch gemacht werden, etwas näher zu erläutern, in welcher oben schon angedeuteten Weise die durch das Facettenauge vermittelten Gesichtswahrnehmungen von den mit letzterem ausgestatteten Individuen dazu verwerthet werden, sich in der Umgebung zurechtzufinden; und zugleich das Fremdartige etwas zu mildern und dem Verständniss näher zu bringen, was den ins Spiel kommenden psychologischen Vorgängen im Vergleiche mit den bekannteren, die Thätigkeit des Sinnesorgans in anderen Abtheilungen des Thierreichs begleitenden Leistungen des Centralorganes anhängt und dieselben zu entstellen scheint. Es geschieht das nicht ohne das deutliche Bewusstsein, dass die eben ausgesprochene Absicht wohl kaum vollständig mit Erfolg gekrönt sein wird. Denn es lassen sich zwar die aus dem ganz abweichenden Bau des Organs nothwendig folgenden tiefgreifenden Unterschiede in der Function wohl verstehen, während ebensowenig bezweifelt werden darf, dass die uns selbst geläufige Weise dort unmöglich statt haben kann. Es ist ferner auch einzusehen, inwiefern auf diese gänzlich andere Art sich dennoch die wesentlich in Betracht kommenden Verhältnisse der Aussenwelt hinreichend treu abspiegeln können. Aber der Natur der Sache nach, da wir

¹⁾ Untersuchungen über das Sehorgan der Arthropoden, pag. 154.

selbst eben der Einrichtung unseres eigenen Gesichtsorganes zufolge darauf angewiesen sind, die uns wichtige Beschaffenheit der den Raum um uns her erfüllenden Dinge uns in einer von derjenigen der Insekten stark verschiedenen Weise zum Bewusstsein zu bringen, — sind die oben aufgestellten Sätze doch zu neu und eigenartig, als dass es gelingen sollte, sich ihre volle Bedeutung ganz klar zu vergegenwärtigen und sich mitten in die durch jene dargelegten höchst merkwürdigen Vorgänge hineinzusetzen.

Wir sind oben zunächst zu dem Resultat gekommen, dass die Fähigkeit des Facettenauges, hinlänglich scharfe und deutliche Bilder der gesehenen Objecte zu entwerfen und so die Dinge als dasjenige, was sie sind, auch nur mit einiger Sicherheit erkennen zu lassen, durchaus nicht hinreicht (wie es doch mit den Leistungen des menschlichen Auges bekanntlich der Fall ist), die grösstentheils offenbar durch den Gesichtssinn vermittelte genaue Kenntniss der Insekten von der räumlichen Beschaffenheit, der Vertheilung und den Dimensionen der in ihrer Umgebung befindlichen Gegenstände zu erklären. Wir haben hierauf die Annahme gegründet, dass nicht die bekannten Gestalten der Gegenstände (welche einigermaassen kennen zu lernen, die kurze Lebensdauer dieser Thiere gar nicht hinreichen würde), die scheinbare Grösse, unter welcher jene erscheinen, und so weiter, genügende Anhaltspunkte für deren jedesmalige Abstände abgeben können, sondern dass vielmehr bloss die dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional sich abändernde scheinbare Helligkeit den fraglichen Maassstab darstellt. Wo also die Gegenstände augenblicklich am weitesten entfernt sind, wo mithin der rasche Flug am wenigsten gehemmt ist, dieser Theil des Gesichtsfeldes erscheint immer im mattesten Glanze der Farben und in der geringsten Intensität der Beleuchtung, er erscheint nebelhaft düster und mit verschwommenen Umrissen, gleichsam mit körperlichen Gegenständen am wenigsten erfüllt und dem leeren Raume am ähnlichsten. Ohne also dasjenige erkennen zu können, was es sieht, wird doch das Insekt zuversichtlich nach dem der beschriebenen Partie seines Gesichtsfeldes entsprechenden Theil der Umgebung seine Bewegung lenken dürfen, und es wird dies im allgemeinen auch vorzugsweise thun, sei es, dass es, ohne ein augenblickliches ganz bestimmtes Ziel vor Augen zu haben, unstät und spielend umherschweift, sei es, dass es, von Feinden bedroht, in der eiligsten Flucht sein Heil sucht. Es sei gestattet, diese Art der Orientirung durch ein paar Bilder zu erläutern. Es verhält sich damit, wie wenn man, bei einer Seefahrt in starkem Nebel, um nicht mit irgendwelchen Gegenständen zusammenzustossen, sorgfältig auf die grössere oder geringere Klarheit der Umrisse und der Begrenzung derselben zu achten gezwungen ist, und sowie etwas schärfer und bestimmter von seiner gestaltlosen Umgebung sich abzuheben und die Farben leuchtender durch die graulichen

Dunstmassen hindurchzuschimmern beginnen, — obschon man noch nicht genau angeben könnte, was man eigentlich vor sich hat — doch sogleich seine Richtung ändern wird, um das Fahrzeug dortbin zu lenken, wo nichts wahrzunehmen ist. Oder nehmen wir an, es ginge Jemand auf einem vielfach sich hin und herwindenden schmalen Pfade durch einen dichten Wald, so wird er, selbst wenn eine gleichförmige dicke Schneedecke den Boden überall verhüllt, seinen Weg zu verlieren doch nicht zu fürchten brauchen, wenn er nur immer diejenige Richtung einschlägt, in welcher die Bäume von einander und von ihm selbst augenblicklich am weitesten entfernt sind. Bevor er sich einem von denselben so weit genähert hätte, um seine Gestalt in allen ihren Einzelheiten erkennen und allenfalls beurtheilen zu können, ob er eine Eiche oder eine Buche vor sich hat, wird er doch schon der relativen Grösse des Abstandes gemäss zu entscheiden im Stande sein, ob sein Weg ihn gerade in der Richtung auf diesen Baum zu weiterführen kann oder nicht. Für das Verständniss dessen, wie das Orientierungsvermögen der Insekten sich in so eigenthümlicher Weise zu einer hinlänglich hohen Stufe der Feinheit ausbilden konnte, scheint es mir von grosser Bedeutung zu sein, dass die Insekten, obwohl zum Theil selbst Raubthiere und mit den wirksamsten und für Ihresgleichen gefährlichsten Angriffswaffen ausgerüstet, doch sämmtlich infolge ihrer geringen Körpergrösse, um sich vor den eifrigen Nachstellungen ihrer sehr zahlreichen Feinde zu retten, fast lediglich auf rasche Flucht angewiesen und zu derselben befähigt sind. Man hat ja vielfältig Gelegenheit, zu beobachten, wie die Insekten, sobald sie sich nur im geringsten bedroht fühlen, sofort aufs schleunigste flüchten, sei es, dass sie sich nur auf die Unterseite der Blätter zurückziehen, oder sonstwie an dunkle Stellen verkriechen, oder auch sich von höheren Orten herab blitzschnell zu Boden fallen lassen, um sich dort unter abgefallenem Laube und im Schatten der Grashalme zu verbergen; oder sei es endlich, dass sie durch plötzliches Auffliegen sich den Nachstellungen zu entziehen suchen. Ist der Gedanke allzufern liegend, dass auch bei Anwendung des letztgenannten Mittels das Streben der Insekten darauf gerichtet ist, sich in das schützende Dunkel zurückzuziehen, und dass sie demgemäss unwillkürlich in derjenigen Richtung fliegend sich bewegen, in welcher ihr Gesichtsfeld die mindeste Helligkeit aufweist? Es ist ferner erklärlich, wie auf diesem Wege das Thier mehr und mehr dazu kommen musste, auch wenn es, ohne gerade verfolgt zu werden und vor seinen Feinden auf der Hut sein zu müssen, ruhig dahinfliegt und höchstens nur durch die Gefahr etwaigen Widerstossens geschreckt werden könnte, sich doch vorzugsweise in der dem dunkelsten Theile seines Gesichtsfeldes entsprechenden Richtung zu bewegen, den es natürlich niemals erreichen kann, da er ja im Verlaufe der Ortsveränderung seine Stelle ändern muss, indem

der anfänglich vorhandene, gerade infolge der auf ihn zugerichteten Bewegung des Thieres allmählig sich mehr und mehr erhellt; wofür jedoch von nahen Objecten freie und somit relativ dunkel erscheinende Stellen anderwärts natürlich eintreten werden. — Es steht hiermit nur anscheinend in Widerspruch, dass die Insekten sämptlich eine mehr oder minder ausgesprochene allgemein bekannte und sogar sprichwörtlich gewordene Neigung zeigen, nach dem Lichte zu fliegen, und in grösster Nähe desselben und um es herum tanzende Bewegungen auszuführen. Diese Thatsache kann im Gegentheile sogar den eben ausgeführten Sätzen zur Bestätigung dienen, wenn man bedenkt, dass es blos ganz natürlich ist, anzunehmen, dass die Insekten unter entgegengesetzten Umständen ein entgegengesetztes Verhalten zeigen werden. Und auf diese Weise liesse sich wohl mit einem gewissen Rechte von jener offenkundigen Gewohnheit unserer Thiere aus, die dabei anscheinend keinen anderen Zweck verfolgen, als ein gewisses Wohlgefallen an dem hellen Glanze des Lichtes zu befriedigen und einer Art spielender Unterhaltung sich hinzugeben, schliessen, dass dieselben, während sie vom heftigsten Schrecken erfasst fliehen und auf nichts Geringeres, als die Erhaltung ihres Lebens bedacht sind, nicht ebenfalls wieder zu den am stärksten erleuchteten Stellen in ihrer Umgebung sich hingezogen fühlen, sondern gerade umgekehrt dahin am ersten sich wenden werden, wo Alles von Finsterniss umhüllt scheint.

Es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Insekten infolge der eigenthümlichen Einrichtung ihres Gesichtsorganes mitunter auch optischen Täuschungen ausgesetzt sind. So muss der Umstand, dass die vorher unbedeckte Sonne plötzlich hinter dicke Wolken tritt und alsdann nur noch mit geringer Kraft zu leuchten vermag, die scheinbare Wirkung haben, dass alle Gegenstände hierdurch etwas in die Ferne gerückt werden, und Anderes der Art mehr. Es kann indessen die beschriebene Art des Sehvorganges und der Leistungen des Sehorganes durch derartige in ihrem Gefolge auftretende geringe Nachtheile nicht unwahrscheinlich gemacht werden. Denn es handelt sich hier im ganzen doch wohl mehr um die relative, als um die absolute scheinbare Helligkeit, mehr um das Verhältniss der Beleuchtungsintensitäten der nebeneinander gelegenen Theile des Gesichtsfeldes, als um die Lichtstärke eines und desselben Theiles zu verschiedenen Zeiten. Auch verfallen ja wir selbst trotz unserer viel vollkommeneren Augen bekanntlich in gar manche durch wesentliche Einrichtungen derselben verursachte und damit unvermeidlich verbundene optische Täuschungen.

Die besondere Stellung, welche das Facettenauge in der Reihe der verschiedenartigen bis jetzt bekannten Sehorgane einnimmt, lässt sich in folgender Weise charakterisiren. Während das menschliche Auge in erster Linie zum Erkennen der Gegenstände dient und alle

seine übrigen Dienstleistungen, unter Andern auch die Abschätzung und Beurtheilung der Entfernungen, auf jener Fähigkeit durchaus beruhen, hat das Facettenauge zwar auch innerhalb der engen Grenzen seiner deutlichen Sehweite den Zweck, hinlänglich scharfe und im einzelnen genau entsprechende Bilder der Gegenstände zu entwerfen, und es theilt sich in diese Aufgabe mit dem häufig zugleich mit ihm selbst sich vorfindenden Stemma. Allein seine wichtigste und hauptsächlichste Bestimmung wird hierdurch nicht erfüllt. Diese besteht vielmehr darin, dass es wesentlich ein Organ zur Orientirung über die räumlichen Verhältnisse der umgebenden Dinge, vor Allem über deren wechselnde Abstände vom Körper des Thieres zu nennen ist. Während das Facettenauge, wenn der Zwischenraum zwischen ihm selbst und seinem Object ein nur etwas grösserer ist, durchaus nicht mehr deutlich zu erkennen vermag, leitet es doch mit grösster Sicherheit und nur mit Hilfe einfacher, verhältnissmässig stark von einander abgestufter Empfindungen durch eine Welt von gänzlich unbekannten Dingen. Wenn nämlich erst einmal, — was der Natur der Sache nach nur eine relativ kurze Zeit in Anspruch nehmen wird, — der eigenthümliche Zusammenhang zwischen den scheinbaren Helligkeitsgraden und den Entfernungen der Objecte dem Thiere vollständig zu Bewusstsein gekommen ist, und die in der beschriebenen Art einander entsprechenden Beziehungen der Aussenwelt sich hinreichend genau in der Vorstellung mit einander associirt haben, so ist die ausreichendste und zweckmässigste Führung der Bewegungen ermöglicht, ohne dass auch nur die geringsten Begriffe von den sonstigen Eigenschaften der Dinge vorhanden zu sein brauchten; und da ein sehr einfaches Princip hierbei die wesentliche Rolle spielt und keine auf eine grössere Summe von Erfahrungen gegründete, also sehr abgeleitete und vielfach verwickelte, möglicherweise in einzelnen Fällen selbst zu einander widersprechenden Resultaten führende Vernunftschlüsse hierbei erforderlich sind, so können Täuschungen über die Distanzen der Gegenstände nicht wohl in dem Maasse vorkommen, als sie durch unsere eigene Art des Sehens veranlasst werden. Es entspricht mithin der durchgreifenden Verschiedenheit zwischen dem Bau des zusammengesetzten Auges und demjenigen der mit lichtbrechenden Linsen ausgestatteten Sehorgane nicht bloss ein andersartiger Gang der zur Wirkung kommenden Lichtstrahlen, sondern auch eine nicht unbedeutende Modification des Charakters der durch das Sinnesorgan vermittelten Wahrnehmungen und der psychologischen Verwerthung derselben. Wenn Leydig sich in folgender Weise gegen die Theorie vom musivischen Sehen äussern zu müssen glaubte: ¹⁾ »Nach Johannes Müller besteht zwischen dem Sehen mit

¹⁾ Das Auge der Insekten, pag. 42.

den einfachen und dem Sehen mit den facettirten Augen ein ganz principieller Unterschied. Eigentlich musste dieser Satz schon von vornherein die grössten Bedenken erregen; wie seltsam wäre es, wenn zwei Organe, in einem und demselben Thiere vorhanden und beide zu gleicher Function, zum Sehen bestimmt, den Sehact in grundverschiedener Weise vor sich gehen liessen?« so musste mit Recht erwidert werden, dass es doch unstreitig weit einfacher und naturgemässer erscheinen muss, wenn zwei allerdings demselben Sinne dienende, aber in von einander grundverschiedener äusserer Gestalt erscheinende und eine ebenso gründliche durchgreifende Verschiedenheit des ganzen inneren Baues aufweisende Organe auch in durchaus abweichender, als wenn sie in genau der gleichen Weise fungirend gedacht werden. Das Seltsame liegt eben hier schon in der doch unleugbaren Thatsache, dass zwei dem gleichen Sinne angehörige Organe von im Ganzen sehr wenig vergleichbarer Ausbildung an einem und demselben Thiere sich vorfinden; nicht aber in den Versuchen, diese nicht anzuzweifelnde, obwohl sehr sonderbare Erscheinung zu deuten und sich von dem vermuthlichen Einfluss der ungleichen Beschaffenheit des Baues auf den entsprechend andersartigen Gang des einfallenden Lichtes Rechenschaft abzulegen. Aber wenn nun auch unbedingt zuzugeben war, dass der Verlauf und die Menge der wirksamen Strahlen in beiden Fällen sehr ungleich sein müssen, wenn, bestimmter ausgedrückt, als sicher angenommen werden musste, dass im einen Falle der Sehvorgang analog demjenigen in unserem eigenen Auge verläuft, im anderen dagegen die Theorie vom musivischen Sehen zu Recht besteht, so war dadurch allerdings die von vornherein nothwendig zu erwartende Proportionalität zwischen der eigenartigen Einrichtung des Sehorgans und der besonderen Art von dessen Function hergestellt; allein die Sache selbst ist damit noch nicht erschöpft. Und dafür ist der deutlichste Beweis die ausserordentliche Andauer des theoretischen Streites über den Sehvorgang im Facettenauge, der wohl hauptsächlich deshalb so langsam der Entscheidung entgegenreifte, weil man sich von der einfachen und in der einleuchtendsten Weise mit vielen und den wichtigsten Einzelheiten des anatomischen Befundes im besten Einklang stehenden, aber immerhin etwas fremdartigen Lehre vom musivischen Sehen keinen vollständig klaren und alle Beziehungen umfassenden Begriff zu machen wusste. Es bleibt nämlich immer noch die Frage übrig: Aber warum findet sich denn hier eine so gänzlich verschiedene, ja sogar gleichzeitig eine doppelte Einrichtung, wenn der Endzweck und das schliessliche gesammte Resultat der durch jene eingeleiteten Vorgänge beidemal durchaus das gleiche ist? Und warum ferner findet sich nur hier, nur gerade bei den Insekten im vollkommenen Zustande eine zweifache Form des Sehorgans? Diese Fragen konnten so lange nicht beantwortet werden, so

lange man stillschweigend die Voraussetzung als selbstverständlich gelten liess, das Facettenauge diene, ganz gleich den so allgemein verbreiteten wesentlich mit Hilfe der Lichtbrechung fungirenden Sehorganen, zur Entwerfung deutlicher Netzhautbilder, zum Erkennen der Gestalten der gesehenen Gegenstände. Sie sind dagegen thatsächlich gelöst und der wahre Schlüssel zum Verständniss des Facettenauges ist gefunden in dem Nachweise, dass das Letztere hauptsächlich der Orientirung über die räumlichen Verhältnisse der Umgebung und als Leiter der so überaus raschen Flugbewegungen dient (oder, bei den Crustaceen, der nicht viel weniger schnell fördernden Schwimmbewegungen). Denn, dass die Thätigkeit im eben gedeuteten Sinne im allgemeinen einen etwas anders eingerichteten Apparat voraussetzt, ist ja leicht einzusehen. Es ist auch nicht schwer, die gute Uebereinstimmung einiger auffallender und der Bildentwerfung offenbar schädlicher Eigenthümlichkeiten des zusammengesetzten Auges mit der zuletzt angegebenen Bestimmung dieses Sehorgans nachzuweisen. Dahin gehört vor Allem die relativ so bedeutende Winkeldistanz der einander unmittelbar benachbarten Retina-Elemente, ein Umstand, der, wie sich auf den ersten Blick ergibt, der feineren Ausgestaltung des Netzhautbildes äusserst ungünstig sein muss, während er die Bekanntschaft und Vertrautheit mit den zum Zwecke des leichten und sicheren Sichzurechtfindens in der Umgebung wesentlich in Betracht kommenden Verhältnissen der Dinge nicht zu beeinträchtigen vermag; denn hierzu genügt ja augenscheinlich eine viel geringere Anzahl von Elementen der Wahrnehmung. Es sind ferner hier die schon oben berührten, so ausserordentlich zahlreichen und oft sehr bedeutenden Abweichungen der zusammengesetzten Augen von der vollkommenen Kugelgestalt zu erwähnen, welche den Gedanken eigentlich gar nicht recht aufkommen lassen können? dass das Retinabild des Facettenauges im allgemeinen und über eine bestimmte, dem Auge sehr nahe verlaufende Grenze hinaus den geringsten psychologischen Werth habe. Denn was sollte ein so ungemein stark und bis zur Unkenntlichkeit verzerrtes Bild viel nützen können? Die sichere Orientirung hingegen, die Fähigkeit, die einem jeden einzelnen Theile des Gesichtsfeldes entsprechende Stelle im Raume sich in genau zutreffender Weise zu vergegenwärtigen, hindert jene Bildverzerrung nicht im mindesten. Denn die Richtungen, in welchen die einzelnen Theile der Gegenstände zu liegen scheinen, stimmen ja mit der Wirklichkeit vollkommen überein, und auf diese sowie auf den jedesmaligen Zwischenraum zwischen Object und Sehorgan kommt es ja ausschliesslich an, nicht aber allenfalls darauf, wie weit z. B. zwei benachbarte, durch einen gewissen Abstand getrennte Punkte des Gegenstandes im Bilde von einander entfernt scheinen, und ob überhaupt den Dimensionen des ersteren alle Maasse des letzteren durchaus proportional sind; und

nur derartige Verhältnisse allein sind ja in dem verzerrten Netzhautbilde unrichtig wiedergegeben.

Es scheint, als ob es im ganzen vier scharf von einander unterschiedene und nur undeutlich durch Uebergangsstufen verbundene Arten von Wahrnehmungen vermittelst des Gesichtssinnes in den verschiedenen Abtheilungen des Thierreiches gebe, welche im Folgenden aufgezählt und kurz charakterisirt werden mögen, wenn es anders gestattet ist, von unserem eigentlichen Gegenstand einen Augenblick abzuschweifen.

1. Die unterste Stufe findet sich ausschliesslich bei den kleineren und kleinsten Organismen mit durchsichtiger Körperbedeckung und ohne auf bestimmte Körperstellen beschränkte, zur Lichtempfindung ausschliesslich befähigte und in eigenthümlicher Weise hierfür umgebildete Sinnesnerven; also bei Thieren, welche, ohne eigentlich so zu nennende, wenn auch noch so unvollkommene Augen zu besitzen, doch ein mehr oder minder grosses Vermögen der Lichtauffassung verrathen. Es ist hier ein blosses unbestimmtes Gefühl des der Summe des von der gesamten Umgebung ausgestrahlten Lichtes entsprechenden Helligkeitsgrades vorhanden, ähnlich unserem Wärmegefühl, und, wenigstens nach der Analogie des letzteren zu schliessen, ohne Unterscheidung der Lichtarten je nach ihrer verschiedenen Brechbarkeit. Diese Art der Lichtwahrnehmung lässt nur eine sehr geringe Orientirung zu, nämlich in der Richtung nach der hauptsächlichsten Lichtquelle hin und von ihr weg.

2. Sogenannte Augenflecke, d. h. specifisch ausgebildete, mit Pigment umgebene, aber noch nicht mit zur Lichtsonderung dienenden Apparaten ausgestattete Nervenendigungen, wie sie sich z. B. in der Classe der Würmer häufig finden. Der Umstand, dass die Nervenendigung eigenthümlich umgeändert erscheint, deutet wohl darauf hin, dass hier schon ein gewisser, vielleicht sehr stumpfer Sinn für die Farben vorhanden ist; und mittelst dieser Fähigkeit der Farbenempfindung und Farbenunterscheidung scheint eine allerdings sehr unvollkommene Orientirung in der dem Thiere bekannten Umgebung denkbar, und ebenso ein geringes Vermögen, bekannte Gegenstände wiederzuerkennen, die aber freilich entweder so gross sein oder dem Sehorgan so stark angenähert werden müssen, dass sie einen ganz überwiegenden Theil des Gesichtsfeldes einnehmen.

3. Das zusammengesetzte Auge der Arthropoden findet sich fast ausschliesslich bei solchen Thieren, die einer überaus gewandten Locomotion (entweder in der Luft oder im Wasser) fähig sind, und dient wesentlich in einer sehr einfachen und vollkommenen Weise zur Leitung der Bewegungen, nebenbei im geringen Maasse auch zum Erkennen der Dinge.

4. Das sehr allgemein verbreitete und auf der höchsten Stufe seiner Ausbildung wohl unter allen Sehorganen der feinsten Leistungen fähige, vermittelt einer stark lichtbrechenden Linse ein umgekehrtes Retinabildchen entwerfende Auge ist in erster Linie dazu bestimmt möglichst scharfe und treue Abbilder der gesehenen Gegenstände zu erzeugen. Diese Form des Sehorganes bringt also nicht die Tiefe des Raums zum Bewusstsein, wie das Facettenauge,¹⁾ es dringt nicht, wie das letztere, in die räumlichen Verhältnisse der auf allen Seiten rings um das Thier befindlichen Gegenstände ein in derjenigen Richtung, die von ihm selbst gerade weg führt; sondern es lehrt vielmehr zunächst nur den Inhalt einer Fläche kennen, ohne durch die Art der Empfindung von vornherein die räumlichen Beziehungen auch nur im geringsten anzudeuten, entweder gleichzeitig immer nur einer einzigen, in einem bestimmten und unveränderlichen Abstände vom Thiere gelegenen, wenn es nämlich nicht der Accommodation fähig ist, oder auch, im entgegengesetzten Falle, innerhalb mehr oder minder weit aus einander liegender Grenzen. Erst mit Hilfe der Ortsveränderung gelingt es dem mit solchen Augen ausgestatteten Einzelwesen, auf einem etwas umständlichen Wege die körperlichen Eigenschaften und das Vorhandensein der dritten Dimension des Raumes kennen zu lernen; allein in einer vollkommeneren Weise nur dann, wenn es während seiner fortschreitenden Bewegung von der Accommodationsfähigkeit seiner Augen Gebrauch machend, von den neu zur Ansicht kommenden Gegenständen auf die früher in nächster Nähe wahrgenommenen zurückblicken und so die einen an die anderen gewissermaassen anfügen und die letzte Gesamtansicht seiner Umgebung mit den früheren in Zusammenhang bringen kann; sehr schlecht hingegen, wenn die Augen, wie z. B. die Stemmata der Arthropoden nur für eine einzige ganz bestimmte Sehweite eingerichtet sind, wobei natürlich die früheren Eindrücke in dem Maasse, als neue auftreten, verloren gehen müssen und dem Bewusstsein nicht wieder vorgeführt werden können, ohne dass die einmal eingeschlagene Richtung der Ortsveränderung in die gerade entgegengesetzte umgekehrt werden müsste, und wobei der Blick nicht von den näheren zu den entfernteren Dingen hin- und herschweifen kann, in Folge wovon natürlich keine zusammenhängende und klare Anschauung der räumlichen Eigenschaften der Dinge sich zu entwickeln vermag.

Die vergleichende Betrachtung der Leistungen des zusammengesetzten Auges und derjenigen des menschlichen Sehorganes oder vielmehr des Stemma der Arthropoden wirft nun ein neues helles Licht auf die Entstehung jenes so auffallend und abweichend gebauten Seh-

¹⁾ Vermöge dessen besonderer Einrichtung der Grad der Empfindungen entsprechend der räumlichen Vertheilung der Gegenstände in eigenthümlicher Weise modificirt wird.

organes. Es ist hiernach einzusehen, warum denn eigentlich aus der zu postulirenden, noch nicht differenzirten Urform sich die Sehorgane der Arthropoden auf zwei sehr verschiedenen Wegen entwickeln und weiterbilden mussten; denn wir wissen jetzt, dass jenes wenig brauchbare Urauge sich zu zwei von einander ganz verschiedenen Arten der Leistung fortentwickelte und vervollkommnete. Die Ausbildung des Facettenauges nun, mit dem wir uns hier eigentlich allein zu beschäftigen haben, fällt jedenfalls zeitlich zusammen und steht auch sonst in der nächsten Verbindung mit der höheren Entwicklung des Locomotionsvermögens, bei den Insekten speciell des Flugvermögens. Kein geflügeltes Insekt entbehrt desselben; von den zum Fluge nicht befähigten Thieren dagegen (den Larven z. B.) sind nur äusserst vereinzelte Formen damit ausgestattet. Die Ursachen, warum dort eine besondere Ausbildungsform des Sehorganes erforderlich wurde, liegen auf der Hand: es ist nichts als die oben schon erwähnte Accommodationsunfähigkeit des Stemma (oder richtiger zu sprechen, die in den Eigenthümlichkeiten des Arthropodentypus begründete Unmöglichkeit, die hypothetische Urform zu einem accommodationsfähigen Sehorgan nach Art unserer eigenen Augen umzuschaffen) und der hierdurch bedingte geringe Werth desselben in Bezug auf die Auffassung der körperlichen Eigenschaften der Dinge und die Leitung rascher und ausgiebiger Bewegungsformen; ferner kommt hier im gleichen Sinne die kurze Lebensdauer der Insekten im vollkommenen geflügelten Zustande in Betracht, welche diesen Thieren nicht hinlänglichen Spielraum gewährt, sich mit der äusseren Erscheinung, der Gestalt und der absoluten Grösse der Gegenstände so weit vertraut zu machen, um allenfalls deren Abstand mit Hülfe des Schwinkels beurtheilen zu können. Höchst wahrscheinlich würden zu dieser Leistung die intellectuellen Fähigkeiten der in Rede stehenden Thiere auch gar nicht hinreichen.

Es könnte vielleicht bedenklich erscheinen, dass bis jetzt noch gar nicht von denjenigen besonderen Einrichtungen des zusammengesetzten Auges die Rede gewesen ist, welche die grosse Menge der von allen Theilen der Umgebung ausgehenden und unter sehr verschiedenen Winkeln auf die durchsichtige Hornhaut desselben auftreffenden Lichtstrahlen genau in der erforderlichen Weise zu sondern im Stande wären; so dass, nicht allein den Hauptgedanken der Lehre vom musivischen Sehen entsprechend, sondern noch darüber hinaus, gemäss unserem oben aufgestellten theoretischen Satze nur den wenigen, ungefähr im Centrum einer jeden Corneafacette und in der Richtung der optischen Axe des Angenelementes auftreffenden, unter einander genau parallelen Strahlen bis zu den lichtempfindlichen Theilen ungehindert vorzudringen gestattet würde, während die weit grössere Zahl der schädlichen, zum Theile übrigens

auch in radialem Sinne einfallenden Strahlen möglichst zu beseitigen wäre. Man hätte nun, denke ich, wohl das Recht, auf eine diesbezügliche Frage etwa Folgendes zu antworten. Dass das Facettenauge lichtsondernde Apparate in grosser Ausdehnung und allgemeiner Verbreitung, obschon wohl nicht überall in gleich hoher Ausbildung besitzt, dass dieselben einen seiner wesentlichsten Bestandtheile ausmachen, ist eine unzweifelhafte Thatsache. Es muss aber auch zugegeben werden, dass diese Theile jederzeit eine merkwürdige, mit Worten nicht genau zu beschreibende und sogar geometrisch nicht recht fassliche, und noch dazu im einzelnen sehr wechselnde Gestalt besitzen, dass mithin ihr Einfluss auf den Gang der Lichtstrahlen nicht so leicht zu übersehen und der Nachweis der Wirkungsweise und der Brauchbarkeit dieser dem Facettenauge eigenthümlichen Einrichtungen zu schwierig und zu unsicher erscheinen muss, als dass man von dem mehr oder minder vollkommenen Gelingen oder dem völligen Misslingen der Lösung der letztgenannten Frage zugleich das Stehen oder Fallen der obenaufgestellten Hypothese abhängig machen dürfte. Man bedenke andrerseits doch nur, dass von vorneherein überhaupt blos die zwei angegebenen, beide durch sehr grosse Einfachheit ausgezeichneten und nicht einmal beträchtlich von einander verschiedenen Modificationen in der Auffassung des Ganges der wirksamen Strahlen möglich sind; entweder nämlich können sämmtliche, das Sehorgan radial treffende Strahlen percipirt werden, oder nur ein Theil von denselben, und letzterer wird ganz natürlich als aus den centralen, die Richtung der optischen Axe des Augenelementes einhaltenden Strahlen bestehend gedacht werden müssen. Wenn nun aber der eine unter diesen beiden Fällen in vortrefflichster Weise mit vielen von den Thatsachen in Einklang steht, die wir von der Beobachtung der Lebensthätigkeit und der Lebensgewohnheiten der Insekten her kennen, während der andere von diesen leicht immer wieder auf's neue festzustellenden und anscheinend sehr auffallenden Zügen aus dem Verhalten dieser Thiere nicht das Geringste zu erklären vermag, ist das nicht hinreichend Grund genug, jener theoretischen Vorstellung über den Sehvorgang im Facettenauge den Vorzug zu geben, diese dagegen zu verwerfen? Und bedarf eigentlich diese Wahl noch einer weiteren Rechtfertigung, oder der zur Annahme empfohlene Satz, dessen rein hypothetisches Wesen ja nicht geleugnet werden soll, noch einer besonderen Stütze, die ihm etwa, und zwar nur ihm allein und mit Ausschluss des anderen, an sich selbst gleich möglichen Falles, der in allen Stücken gelingende Nachweis von einer gewissen thatsächlichen Beschaffenheit des in Rede stehenden Sehorganes zu gewähren vermöchte? Ein Nachweis, der übrigens sicherlich ebenso schwer für die eine, als für die andere der beiden Auffassungen, zwischen welchen man sich überhaupt zu entscheiden hat, in aller Strenge zu erbringen sein möchte. Wenn daher im Folgenden immerhin ein Versuch gemacht werden

soll, auf die Frage nach dem Zustandekommen der durch das Facettenauge vermittelten Gesichtswahrnehmungen im Besonderen und Einzelnen eine einigermaassen befriedigende Antwort zu geben, so möge man sich doch auf alle Fälle vergegenwärtigen, dass man dieser Darlegung durchaus nicht zustimmen braucht und doch deshalb die oben erörterte Ansicht in Bezug auf den Verlauf der wirksamen Strahlen noch nicht nothwendig ablehnen muss.

Ich denke allerdings, die auf die oben berührte Frage im Folgenden ertheilte Antwort dürfe wohl eine im Ganzen zufriedenstellende genannt werden, zumal sie nebenbei auf die eigenthümliche und bisher räthselhaft erscheinende Beschaffenheit derjenigen Theile des zusammengesetzten Auges der Insekten ein helles Licht wirft, deren besondere Ausbildung und dadurch bedingte physikalische Wirkungsweise wohl die Hauptveranlassung der so sehr langen Andauer des Streites über den Werth der Theorie vom musivischen Sehen geworden ist, indem man ihr auf der einen Seite eine allzu hohe Bedeutung beimass, auf der andern dagegen ihren Einfluss auf die physiologischen Vorgänge in dem mehrfach genannten Sehorgan etwas zu gering anzuschlagen geneigt war; ich meine die linsenartige Wölbung der Corneafacetten. Johannes Müller theilte diesen fast durchgängig am Insektenauge sich vorfindenden, mehr oder minder stark entwickelten, bald planconvexen, bald biconvexen Cornealinsen die Aufgabe zu, durch Lichtbrechung ¹⁾ »das in der Richtung der Axe einfallende Licht der Axe selbst zuzulenken und in der Tiefe des Auges zu grösserer Einigung zu bringen«, »wodurch die Bestimmtheit des Bildes sehr gehoben werden muss«. Ausserdem aber hielt er es für wahrscheinlich ²⁾, dass diese linsenartigen Wölbungen der Facettenoberflächen dahin wirken könnten, dass das von fernen Gegenständen ausgehende Licht mehr als einen Kegel durchleuchte, so dass also »jedem äusseren leuchtenden Punkte nicht so sehr ein innerer beleuchteter Punkt, als vielmehr ein kleiner Zerstreuungskreis« entsprechen würde; wodurch natürlich die Klarheit des Retinabildchens in etwas getrübt werden muss. Ich glaube jedoch, dass die Lichtbrechung zur Vermehrung der Lichtstärke der Retinabilder im zusammengesetzten Auge nur in einem sehr beschränkten, weiter unten noch näher festzustellenden Maasse mitwirkt, und dass vielmehr mit grösserem Rechte die wesentlichste Leistung der so allgemein verbreiteten Cornealinsen darin erblickt wird, dass sie nichtlichtsammelnd, sondern lichtsondernd zu wirken, d. h. die grosse Menge der schädlichen Strahlen von den tiefer im Inneren des Auges gelegenen lichtempfindlichen Theilen möglichst abzuhalten bestimmt sind. Ich möchte mich zur Rechtfertigung dieser nicht ganz neuen Auffassung ³⁾ hauptsächlich auf das Ergebniss einer

¹⁾ Zur Vergleich. *Physiol. des Gesichtssinnes* pag. 367. — ²⁾ *A. a. O.* pag. 365.

³⁾ Grenacher, *Untersuch. über das Sehorgan der Arthrop.* pag. 156.

vergleichenden Betrachtung einmal des Baues des Sehorgans und weiterhin der äusseren Lebensbedingungen der Insekten einer-, der Crustaceen andererseits berufen. Es soll jedoch hierbei von der Erörterung der genetischen Beziehungen gänzlich abgesehen werden, welche etwa zwischen den beiden, in vielen Einzelheiten ihres Baues fast identisch erscheinenden Formen des zusammengesetzten Auges bestehen; sondern es soll vielmehr blos untersucht werden, in welcher Weise und inwieweit die, trotz der überwiegenden grossen Aehnlichkeit beider Ausbildungsformen im Ganzen, doch, wie überhaupt im Einzelnen hier und da, so auch gerade in der äusseren Erscheinung der Cornea in besonders hervorstechender Weise sich zeigenden Verschiedenheiten auf die im Ganzen und Grossen allerdings in beiden Fällen identische, aber doch in einzelnen, geringeren Zügen vermuthlich hier oder da etwas abweichende Art des Sehvorganges modificirend einzuwirken im Stande sind; und inwiefern weiterhin die äusseren Lebensverhältnisse, insbesondere die Natur des umgebenden Mediums und die Art des Lokomotionsvermögens für einen etwas andersartigen Charakter der Gesichtswahrnehmungen bei beiden Klassen der Arthropoden zu sprechen scheinen.

Dass das zusammengesetzte Auge der Crustaceen, sowohl dasjenige mit facetirter, als auch das mit glatter Hornhaut ungefähr auf die gleiche Art fungiren wird, wie das Facettenauge der Insekten, dies geht wohl unzweifelhaft aus der in allen wesentlicheren Stücken ihrer Einrichtung sich wiederfindenden Uebereinstimmung zwischen beiden Arten von Sehorganen hervor. Ebenso ist schon daraus, dass bei den Crustaceen weder die Augenelemente erheblich kleiner sind (es ist vielleicht eher das Gegentheil, mitunter wenigstens, der Fall), noch auch die Augenkugel im Ganzen einen viel beträchtlicheren Umfang erreicht, als bei den Insekten, soviel zu schliessen, dass die Grenze des deutlichen Sehens hier nicht weiter vom Körper des Thieres entfernt verlaufen könne, als es bei der seither betrachteten Arthropodenklasse sich im Allgemeinen herausstellte. — Da mir kein hierhergehöriges Material gerade zu Gebote steht, so muss ich mich damit begnügen, an der von Grenacher gegebenen Abbildung des Augenquerschnittes von *Mysis vulgaris* (Tafel X, Fig. 110) nach der oben beschriebenen Methode den kleinsten Schwinkel zu messen. Die Zahl der Augenelemente beträgt dort 62; der Winkel, welchen die beiden äussersten jederseits noch mitgezählten Elemente einschliessen, beläuft sich auf 203°. Es erreicht folglich der kleinste Schwinkel dieses Auges die bedeutende Grösse von 3° 16'. Nun vermag ferner die durch Schwimmen bewerkstelligte Ortsveränderung der höheren Krebse zwar längst nicht in so ausgiebiger und rascher Weise von der Stelle zu fördern, als die durchschnittlich so sehr gewandte Flugbewegung der Insekten; sie ist jedoch immerhin behende genug, um eine weiter als etwa einen halben bis höchstens

einen ganzen Meter weit reichende, durch den Gesichtssinn vermittelte, hinlängliche Orientirung als sehr wahrscheinlich erscheinen zu lassen. Man wird wohl auch nicht fehlgreifen, wenn man, nach Analogie des Sehvorganges im Insektenauge, hier ebenso, wie dort die scheinbare Helligkeit der gesehenen Gegenstände als das hauptsächlichste Anzeichen und Merkmal der wechselnden Abstände derselben ansieht. Nun ist aber wohl zu berücksichtigen, dass das umgebende Medium hier nicht Luft, sondern Wasser ist und zwar an sich gefärbtes, in dickeren Schichten mithin, wie sie bei den in der Tiefe des Meeres lebenden Thieren in Betracht zu ziehen sind, das durchfallende Licht in höherem Grade absorbirendes, anserdem wohl auch meist ziemlich stark durch in ihm suspendirte Körpertheilchen getrübt^{es} Meereswasser.

Nehmen wir nun zunächst für einen Augenblick an, im zusammengesetzten Auge der Krebse würden ganz ebenso, wie in demjenigen der Insekten, ausschliesslich die central einfallenden und im strengsten Sinne unter einander parallel gerichteten Lichtstrahlen percipirt, so hätten wir schon hierdurch allein eine Abnahme der scheinbaren Helligkeit der gesehenen Objecte proportional dem Quadrate der wachsenden Entfernung; hierzu kommt nun aber noch der Einfluss der proportional der Entfernung an Dicke zunehmenden und in gleichem Maasse das sie durchdringende Licht abschwächenden Wasserschicht. Alles zusammengerechnet würde sich demnach die wahrgenommene Lichtstärke, unter sonst gleichen Umständen, umgekehrt verhalten müssen, wie der Cubus der Entfernung. Eine derartige Abnahme der Helligkeit wäre indessen doch wohl zu rasch, als es anzunehmen noch als wahrscheinlich erscheinen dürfte. Es ist vielmehr von vorne herein weit eher zu glauben, dass von den durch das Wasser hindurch wahrgenommenen Gegenständen im Allgemeinen mehr Licht ins Auge zugelassen werden müsse, als von den in der atmosphärischen Luft gesehenen; da ja im erstgenannten Medium durchschnittlich, besonders in grösseren Tiefen desselben, eine ziemlich düstere, etwa dem abendlichen Dämmerlicht vergleichbare Beleuchtung herrschen muss, und das Sehen in demselben demjenigen der nächtlichen Thiere wohl nicht unähnlich anzusehen ist, welche sich unter den Vertebraten durch weitere Oeffnung der Pupille, und unter den Insekten durch grössere Breite der Facettenflächen auszuzeichnen pflegen. Geben wir also, aus den angegebenen Gründen, dieses Mal der anderen von den beiden oben aufgestellten Hypothesen den Vorzug und denken wir uns nicht blos das central, sondern vielmehr sämmtliches radial einfallende Licht als zur Perception gelangend, so ergibt sich Folgendes. Die Lichtmenge, welche den kegelförmigen ein jedes Retinaelement erreichenden Strahlenbüschel bildet, würde zwar an sich für alle beliebigen Distanzen des Objectes den

gleichen Werth haben; allein bei dem Durchgang durch die getrübten und schwach gefärbten Wassermassen wird sie nothwendig der Entfernung proportional durch Absorption mehr und mehr vermindert werden. Wir haben also hier etwas der sogenannten *Luftperspective* ganz Aehnliches im Kleinen; und es ist auf diese Weise auch hier ein genauer Maassstab der Abstände der gesehenen Objecte vorhanden, ähnlich wie bei den Insekten, aber, aufs Schönste dem weniger gewandten Lokomotionsvermögen der Crustaceen entsprechend, von viel geringerer Schärfe und Feinheit, als dort. Bei jenen nämlich verhält sich die scheinbare Helligkeit dem Quadrat der Entfernung, hier dagegen nur der ersten Potenz der Entfernung selbst umgekehrt proportional.

Wir dürfen wohl erwarten, dass die etwas abgeänderte Funktionsweise des Sehorganes sich in wenn auch nur geringen Abweichungen des Baues und der Ausbildung der einzelnen jenes wesentlich zusammensetzenden Apparate darstellen werde und sich hieraus gleichsam ablesen lassen könne; dass sich, bestimmter ausgedrückt, gewisse Einrichtungen finden müssen, die sich in der Art müssen deuten lassen können und richtig allein so gedeutet werden dürfen, dass unter Berücksichtigung ihrer Mitwirkung die vom Insektenauge percipirte Lichtmenge, der Beschaffenheit des umgebenden, in ungleich höherem Grade lichtdurchlässigeren Mediums entsprechend, als an sich selbst einen geringeren Betrag erreichend erscheinen muss, als die das Crustaceenaug erregende. Nun sind bei den Insekten ganz allgemein die Facettenoberflächen, bald auf beiden Seiten, bald nur auf der einen, mehr oder minder stark vorgewölbt; bei den Crustaceen hingegen finden sich vorwiegend zusammengesetzte Augen entweder mit ganz glatter Hornhaut, oder nur schwach angedeuteter Facettirung und mit blos ganz unbedeutend über das Maass der durch die Augenrundung im Ganzen schon vorgezeichneten Krümmung noch hinausgehenden Facettenwölbung. Dass die im einen Falle sphärisch gekrümmte, im andern fast ebene Begrenzung der ziemlich stark lichtbrechenden Corneafacetten auf den Gang der einfallenden Lichtstrahlen einen wesentlich mitbestimmenden Einfluss ausüben muss, versteht sich wohl von selbst. Wie ungereimt wäre es jedoch, wenn man sich das Ergebniss dieser Einwirkung in der Art vorstellen wollte, dass man sagte: die Lichtbrechung in den zahllosen kleinen die Oberfläche des Insektenauges zusammensetzenden Cornealinsen dient zur Erhöhung der Helligkeit; bei den Crustaceen hingegen sind lichtbrechende Apparate überhaupt nicht oder kaum vorhanden, es ist also hier auch keine Vermehrung der Lichtstärke mit Hilfe der Lichtbrechung denkbar. Denn bedürfen nicht gerade umgekehrt die letzteren, in einem weit stärker absorbirenden Medium und an ohnehin schon sehr düsteren Orten lebend, zum deutlichen Sehen einer grösseren Menge von wirksamen Strahlen? Alles ist dagegen einfach

verständlich und die Uebereinstimmung zwischen dem Baue des Sehorgans und den äusseren Lebensverhältnissen erscheint aufs Beste hergestellt, wenn wir annehmen, im Auge der Insekten spiele die Lichtbrechung zwar eine grosse und wichtige Rolle, allein sie diene fast ausschliesslich zur Verminderung des die Aussenfläche des Organes treffenden Lichtes, zur Sonderung der zahlreichen schädlichen von den wenigen brauchbaren Strahlen; im Crustaceenaugē dagegen spiele sie überhaupt gar keine Rolle, es würden demnach hier keine Strahlen ausgeschieden (wenigstens nicht in dem ausgedehnten Maasse, wie dort), sondern sämtliche radial und zugleich senkrecht (wie es ja auf allen Stellen der einfach kugelförmig gekrümmten Hornhaut immer Beides zugleich der Fall sein muss) einfallende Strahlen würden zur Perception zugelassen. — Wenn auch die wasserbewohnenden und rasch schwimmenden Insekten (wie z. B. *Naucoris*, *Ranatra* und Andere) stark gewölbte Facetten besitzen ¹⁾, so ist doch dieser scheinbare Widerspruch gegen die obige Auseinandersetzung nicht von grosser Bedeutung; es beweist eben nur, dass die genannten Insekten dem Wasserleben weniger gut angepasst sind, als die Crustaceen. Ueberdies leben jene auch niemals in solchen finsternen Tiefen, wie die letzteren, sondern nur in ganz seichten Gewässern, bis auf deren Grund das helle Tageslicht fast ungeschwächt vordringen kann.

Um nun im Einzelnen zeigen zu können, wie die Lichtbrechung an den gewölbten Facettenoberflächen des zusammengesetzten Auges der Insekten im angedeuteten Sinne, nämlich lichtsondernd und die Helligkeit vermindernd, in den Verlauf der Strahlen einzugreifen vermag, müssen wir eine einfache und wahrscheinliche Hypothese machen, welche so lautet: Der Brennpunkt der lichtbrechenden Apparate (nämlich Cornealinsen und Krystallkörper) befindet sich jederzeit eine kleine Strecke vor der nach aussen zu gelegenen Endigung der Retinula. Ich weiss übrigens kaum, ob dieser Satz strenggenommen eine Hypothese genannt zu werden braucht. Es ist nämlich ganz zu Anfang dieser Abhandlung der Experimente, durch welche man den Ort der Bildentstehung im Facettenauge festzustellen sich bemühte und der schlecht mit einander in Einklang stehenden Resultate der einzelnen unter diesen schwierigen Untersuchungen gedacht worden. Ein Theil dieser Ergebnisse, diejenigen nämlich der an »verschiedenen Dämmerungs- und Nachtfaltern«, also an einer Mehrzahl von hierhergehörigen Thieren von einem so anerkannt zuverlässigen und geübten Beobachter, wie Grenacher angestellten Versuche, passt vortrefflich zu den hier vorgetragenen theoretischen Sätzen; denn, wie man sich vielleicht erinnern wird, konnte der ebengenannte Forscher in der Gegend der Spitze der Krystallkegel keine Spur von dem umgekehrten dioptrischen Bildchen bemerken und

¹⁾ Was näher zu untersuchen ich keine Gelegenheit hatte, was indessen gar nicht unwahrscheinlich ist.

erst tief im Innern des Kegels kam dasselbe allmählich mehr und mehr deutlich zum Vorschein. Ich wüsste aber nicht, warum die theoretische Bearbeitung sich nicht diejenigen von den, mit einander doch in keinem Falle ganz zu vereinenden Berichten des Beobachtungsbefundes zu Nutzen machen und einstweilen als die der Wahrheit am nächsten kommenden betrachten sollte, welche, als thatsächlich richtig vorausgesetzt, auf vieles sonst ganz unverständlich Erscheinende ein helles Licht zu werfen geeignet sind; und zumal dann, wenn die für den uns gegenwärtig beschäftigenden Zweck brauchbaren Fälle die Mehrzahl unter den wenigen überhaupt näher geprüften bilden.

Setzen wir also als thatsächlich gegeben voraus, dass der Brennpunkt des lichtbrechenden Systems vor der percipirenden Schicht gelegen ist, so ist klar, dass von den in Bezug auf die Augenkugel annähernd radial gerichteten und unter einander parallelen oder convergirenden die Oberfläche der Hornhautfacette treffenden Lichtstrahlen kaum viel mehr die Retinula erreichen kann, als die central und senkrecht einfallenden ungebrochen durchtretenden Strahlen. Nun sind aber schon die in verhältnissmässig geringen Abständen, nämlich in solchen, welche nicht mehr als einen gewissen Bruchtheil eines Meters betragen, von einem und demselben leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen bei der geringen Flächenausdehnung der Corneafacetten insofern als parallel zu betrachten, dass man annehmen darf, sie würden durch die Lichtbrechung wenigstens ganz in der Nähe des Brennpunktes des dioptrischen Apparates wieder in einen Punkt vereinigt; und nachdem sie sich hier durchkreuzt, müssen sie in ihrem weiteren Verlaufe auf die pigmentirten Seitenflächen der Krystallkörper treffen, um dort absorbirt zu werden. Ein bedeutsamer Unterschied besteht nun, in Bezug auf die Feinheit und Bestimmtheit der zur Beurtheilung der wechselnden Abstände der gesehenen Objecte gleichsam als Merkmal dienenden Abstufungen der scheinbaren Helligkeit, je nach den Dimensionen und der Gestalt des Krystallkörpers (gleichviel übrigens ob dieser als Krystallzellen-Complex oder als Krystallkegel vorhanden ist). Die schädlichen Strahlen, von welchen ein Minimum vielleicht in keinem Falle ganz auszuschliessen möglich ist, dürften nämlich hauptsächlich davon herrühren, (soweit ich die Sache zu übersehen vermag), dass von nicht genau in der Verlängerung der optischen Axe eines Augenelementes, sondern etwas seitwärts davon gelegenen Punkten ausgehende und als untereinander ungefähr parallel gerichtet anzusehende Strahlen durch die Brechung so abgelenkt werden, dass nach der Vereinigung im Brennpunkt ein Theil der gebrochenen Lichtstrahlen seinen Gang etwa parallel der optischen Axe fortsetzt; es wird aber ein solcher Strahl nicht genau in der Axe selbst enthalten sein können, sowenig als sein Ausgangspunkt in deren Verlängerung liegt; er wird vielmehr gleichfalls ein wenig seitlich und

Letzterem schräg gegenüber verlaufen. Wenn nun das Innerende des Krystallkörpers sehr schlank ist und in eine feine Spitze ausläuft, so vermögen derartige schädliche Strahlen den von Pigment freien und dem Licht ungehinderten Durchtritt verstattenden Punkt nicht zu treffen und werden von den convergirenden Seitenwänden des Kegels zum allergrössten Theile wenigstens noch aufgefangen und entweder sogleich von dem dunklen Pigmente absorbirt oder zuvor noch nach der gegenüberliegenden Seitenfläche reflectirt. Alsdann ist der in der scheinbaren Helligkeit der gesehenen Gegenstände gegebene Orientirungsmassstab in aller Reinheit vorhanden. Endigt hingegen der Krystallkörper nach Innen breit und stumpf, so tritt ein gewisser Antheil der nach der bezeichneten Richtung zu gebrochenen Strahlen zur Retinula hindurch und es ist in Folge hiervon, wenn wir die bei einem Abstände des gesehenen Objectes vom Auge = 1 Meter ungebrochen einfallende Strahlenmenge n , die Gesamtheit der schädlichen Strahlen dagegen a nennen, die den Entfernungen von 1, 2, 3 u. s. w. Metern entsprechende Lichtmenge nicht, wie oben angegeben wurde, gleich n , $\frac{n}{4}$, $\frac{n}{9}$ u. s. f., sondern gleich $n + a$; $\frac{n}{4} + a$; $\frac{n}{9} + a$ u. s. w. Es ist nämlich die Anzahl der schädlichen Strahlen, von der Grenze ab, von welcher an die von einem und demselben Punkte ausgehenden Strahlen als parallel betrachtet werden dürfen, für alle Distanzen etwa die gleiche, wie weiter auszuführen wohl nicht erforderlich ist. So lange nun a im Verhältniss zu n , getheilt durch das Quadrat der Entfernung, hinlänglich klein ist, wird sein störender Einfluss nicht allzu erheblich sein; es wird aber a im einzelnen Falle durch eine um so kleinere Zahl auszudrücken sein, je länger und schmaler der Krystallkörper und je weniger umfangreich der Querschnitt seiner inneren Endigung ist. Am geeignetsten möchte sich im Allgemeinen wohl eine etwa birnförmige Gestalt des Krystallkörpers erweisen. Die untere Grenze der überhaupt wahrgenommenen Helligkeit ferner wird in dem Falle, dass a nicht fast verschwindend klein ist, nicht gleich $\frac{n}{\infty}$ oder gleich der völligen Dunkelheit sein können, sondern diese Grenze wird alsdann durch a oder die Menge der schädlichen Strahlen selbst dargestellt werden.

Es bleibt noch übrig, Einiges über die divergirend auf die Oberflächen der Corneafacetten auffallenden Strahlen zu sagen. Hier muss natürlich die Lichtbrechung helligkeitsvermehrend wirken, da der Vereinigungspunkt der abgelenkten Strahlen um so weiter von dem lichtbrechenden Apparat entfernt liegt, je stärker die Strahlen vor der Brechung divergirt, oder je näher am Auge sich der gesehene Gegenstand befindet. Es muss also von einem gewissen Abstand des Letzteren an und für alle geringeren Distanzen desselben die Vereinigung

der gebrochenen Strahlen erst auf der Oberfläche der Retinula oder sogar ein wenig unterhalb derselben stattfinden. Wie wir übrigens oben schon gesehen haben, beträgt der Abstand, bei welchem die von einem Punkte des Objects ausgehenden Strahlen bereits in Bezug auf die Richtungsveränderung in Folge der Lichtbrechung als parallel angesehen werden dürfen, einen gewissen Bruchtheil eines Meters; und es kann mithin die Lichtbrechung nur in geringeren Distanzen die Helligkeit des wahrgenommenen Objectes etwas erhöhen. Es zeigt sich demnach ein merkwürdiger Zusammenhang, der wohl geeignet ist, die Richtigkeit der dargelegten Sätze zu bestätigen, zwischen den annähernd gleichen Dimensionen desjenigen Umkreises, innerhalb dessen die gesehenen Objecte mit Hilfe der Lichtbrechung in stärkerer Beleuchtung erscheinen, und des anderen, bis zu dessen Grenzen sich das Vermögen des Facettenauges deutlich wahrzunehmen, höchstens erstrecken kann. Es muss mithin scheinen, als ob die Fähigkeit des zusammengesetzten Auges, die Gestalten der gesehenen Dinge mit Bestimmtheit zu erkennen und wiederzuerkennen auf die kleine Strecke hin, innerhalb deren diese Leistung als jenem Organ zukommend angesehen werden darf, durch eine bedeutend vermehrte scheinbare Helligkeit unterstützt werden solle.

Auf Tafel II, Fig. 3 bis 7 ist unter Benützung einiger dem Werke Grenacher's (Taf. VIII, Fig. 63 und 71, Taf. XI, Fig. 117) entlehnter und blos in den Umrissen wiedergegebener Abbildungen von Augenelementen der Verlauf der Strahlen, wie er den vorgetragenen Sätzen zu Folge etwa zu denken wäre, nur beiläufig und ohne Anspruch auf ganz exacte Uebereinstimmung mit der Wirklichkeit zu machen, dargestellt worden. Es gehört Fig. 3 dem Auge von *Palaemon squilla* an und zeigt, wie auf jede einzelne Retinula im Sehorgan der Crustaceen ohne wesentliche Mitwirkung der Lichtbrechung ein ganzer Strahlenkegel auftritt. Für die Darstellung des Verlaufes der in das zusammengesetzte Auge der Insekten eindringenden Lichtstrahlen würde ich mich am liebsten der Augenelemente von Dämmerungs- oder Nachtschmetterlingen bedient haben; da indessen in Grenacher's Werk keine solchen vollständig abgebildet sind, so musste hierauf verzichtet werden. Gleichwohl aber war die Annahme aufrecht zu erhalten, dass der Brennpunkt des lichtbrechenden Systems tief im Innern des Crystallkörpers gelegen sei. — Fig. 4, 5 und 7 sind dem Auge von *Apis mellifica*, Fig. 6 demjenigen von *Musca vomitoria* entnommen. Fig. 4 soll den Verlauf der der optischen Axe des Augenelementes parallel einfallenden Strahlen versinnlichen und deutlich machen, wie blos ein kleiner ungebrochen durchgehender Theil derselben die Retinula zu erreichen vermag; das Gleiche würde mit convergirenden Strahlen der Fall sein. In den Fig. 5 und 6 sehen wir den Gang der schräg einfallenden Strahlen dargestellt. Bei *Musca vomitoria* vermögen die beiden mit

m und *n* bezeichneten Strahlen, und ebenso natürlich alle zwischen ihnen etwa in der gleichen Richtung verlaufenden das stumpfe, breite, durchsichtige Innerende des Krystallkörpers zu durchdringen; bei *Apis* hingegen wird dies durch den geringen Querschnitt der feinen Kegelspitze verhindert, es werden die mit *m* und *n* bezeichneten Lichtstrahlen vielmehr auf die in der Zeichnung angegebene Weise durch die dunkel pigmentirten Seitenwände des Kegels aufgefangen, und es vermöchte höchstens ein minimaler Antheil von den zwischen jenen beiden vorhandenen und ihnen parallelen Strahlen zu den inneren lichtempfindlichen Theilen des Augenelementes vorzudringen. Fig. 7 endlich erläutert den Gang der divergirend die Corneafacette treffenden Strahlen, von welchen mit Hilfe der Lichtbrechung eine bedeutendere Menge auf die Retinula geworfen wird.

So einfach und wahrscheinlich übrigens auch die oben aufgestellte Hypothese über den Gang der Lichtstrahlen im Facettenauge ist, so nahe sie sich den Thatsachen anschliesst und so vieles sonst Unbegreifliche sie auch zu erklären im Stande ist: man darf gleichwohl nicht vergessen, dass sie nichts mehr als eine, allerdings sehr einleuchtende Annahme ist. Es ist deshalb recht wohl möglich, dass sie vielleicht nur als der erste Schritt auf dem zur näheren Erläuterung des Schvorganges im Facettenauge einzuschlagenden Wege betrachtet werden darf, und dass der Verlauf der wirksamen Strahlen sehr viel verwickelter und mannichfaltiger ist und weniger einfachen und übersichtlichen Gesetzen gehorcht, als oben angenommen wurde. Hingegen ist wohl mit ausreichender Strenge, — soweit dies eben in solchen Dingen möglich ist und billiger Weise verlangt werden kann, — bewiesen worden, und darf demnach als feststehend betrachtet werden, dass das Facettenauge wesentlich nicht zum Erkennen und Wiedererkennen der Gegenstände, sondern vielmehr als Leiter der die Ortsveränderung bezweckenden Bewegungen dient und ferner, dass das Merkmal der wechselnden Distanzen in der jedesmal wahrgenommenen scheinbaren Helligkeit der gesehenen Objecte enthalten ist, welche zufolge ihrer verhältnissmässig raschen Abstufung einen sehr brauchbaren Maassstab zur Beurtheilung der Entfernungen abzugeben vermag.

Tafelerklärung.

Tafel I.

- Fig. 1—5. Zur Erläuterung der Herstellung der Netzhautbilder im zusammengesetzten Auge.
 Fig. 6 a. Ein Stück des Fiederblattes von *Ailanthus glandulosa*.
 Fig. 6 b. Netzhautbild desselben, construirt unter der (auch für alle folgenden Abbildungen geltenden) Voraussetzung, dass der Abstand zwischen Object und Sehorgan etwas weniger als einen Meter beträgt.
 Fig. 7, a. u. b. Blatt von *Sorbus aucuparia* und Netzhautbild desselben.

Tafel II.

- Fig. 1, a u. b. Theil eines Blattes von *Aesculus Hippocastanum* und Retinabild desselben.
 Fig. 2, a u. b. Blatt von *Ampelopsis hederacea* und Retinabild.
 Fig. 3—7. Veranschaulichung des Strahlenverlaufes im Innern der einzelnen Elemente des Facettenauges (mit Benutzung von Grenacher's Zeichnungen).

Tafel III.

- Fig. 1. Blatt von *Acer Pseudoplatanus*.
 Fig. 2. Blatt von *Platanus orientalis*.
 Fig. 3. Netzhautbilder der genannten beiden Blätter.
 Fig. 4. Gestalt und Grösse der Elementarsehfelder von *Apis mellifica* bei einem Abstand von 1 Meter.
 Fig. 5. Desgl. v. *Tabanus bovinus*.
 Fig. 6, a u. b. Schematisirte Blumenkrone und Retinabild ders. im Auge der Honigbiene.
 Fig. 7, a u. b. desgl. von *Tabanus*.

Inhaltsübersicht.

	Seite
Einleitung: Rückblick auf den Streit über die Theorie vom musivischen Sehen.	
Sehschärfe des zusammengesetzten Auges	40
Definition der Begriffe »kleinster Sehwinkel« und »Elementarsehfeld«	43
Berechnung der Ausdehnung der Elementarsehfelder für bestimmte Entfernungen	45
Messung des kleinsten Seh winkels	48
Messung der Facettenbreite	52
Feststellung des Augenhaltmessers.	58
Berechnung des kleinsten Seh winkels.	59
Vergleichung der Leistungen des Facettenauges mit denen des menschlichen Auges	62
Bildliche Veranschaulichung der Resultate dieser Vergleichung	69
Verzerrungen der Retinabilder	76
Locomotionsvermögen der Insekten	79
Schwierigkeiten, die Fluggewandtheit der Insekten mit ihrer geringen Sehschärfe zusammenzureimen	81
Exner's Annahme der Bewegungsempfindlichkeit des zusammengesetzten Auges	87
Ausweg aus den erörterten Schwierigkeiten durch strengere Fassung der Theorie	92
Verhalten des Insektenauges zum directen Sonnenlicht	98
Nähere Erläuterung der Funktionsweise des Facettenauges	104
Das zusammengesetzte Auge dient nicht zum Erkennen, sondern zum Orientiren	108
Vergleichung des zusammengesetzten Auges der Insekten mit demjenigen der Crustaceen	116

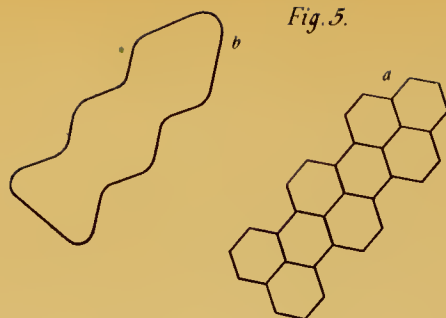
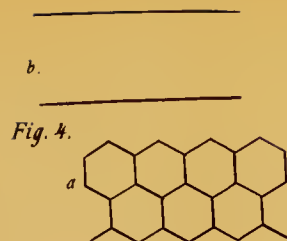
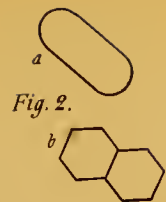
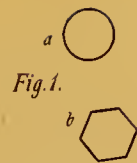


Fig. 6^a

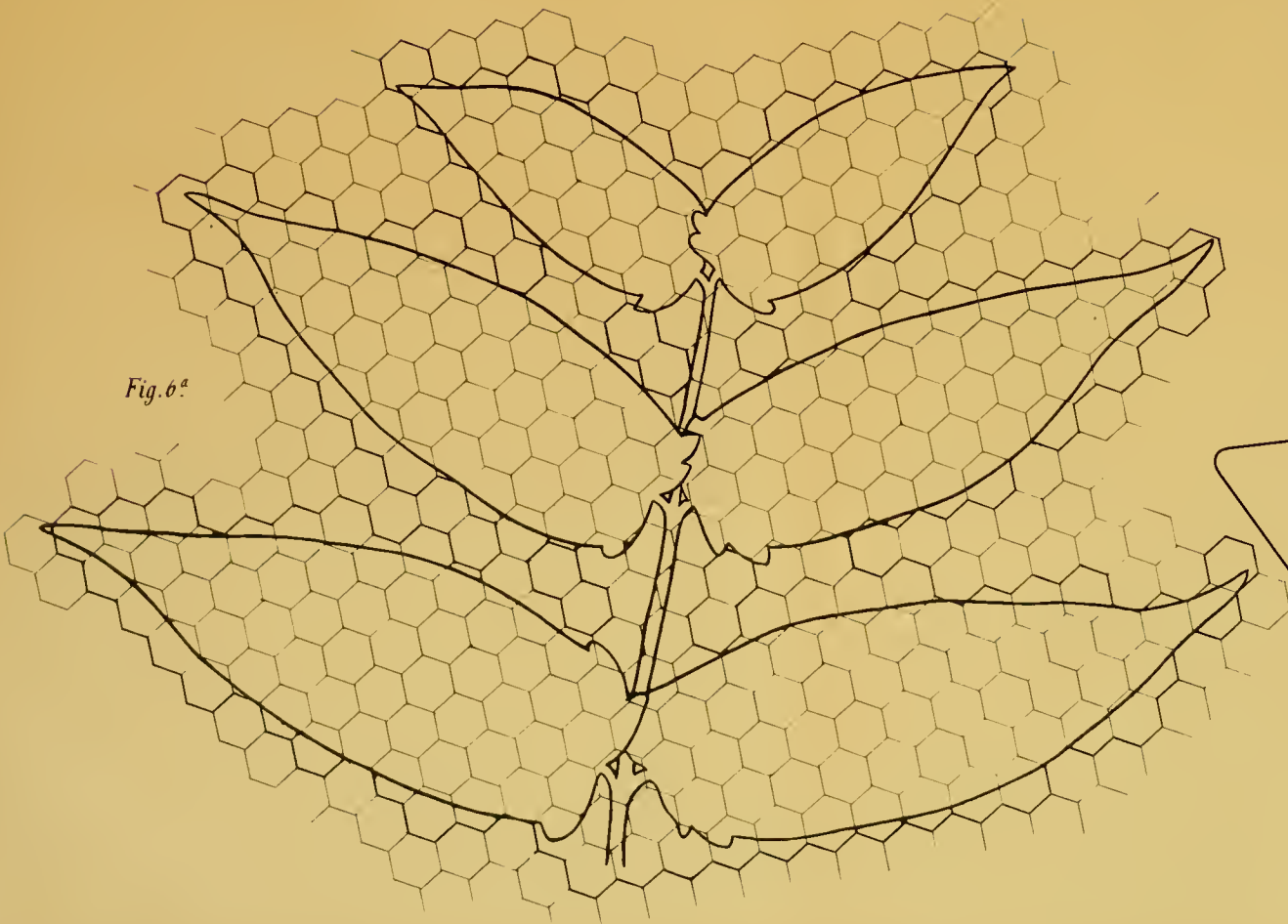


Fig. 6^b

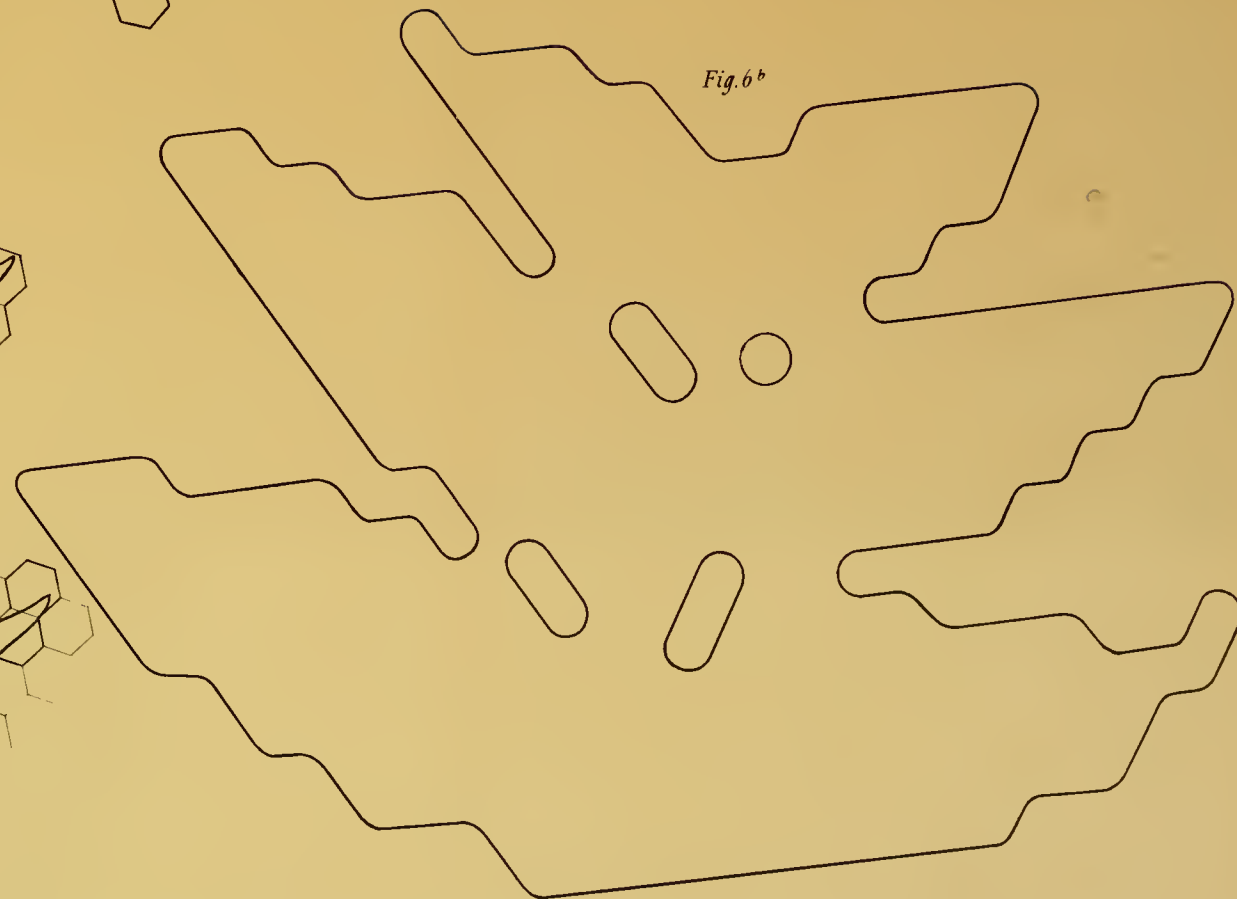


Fig. 7^b

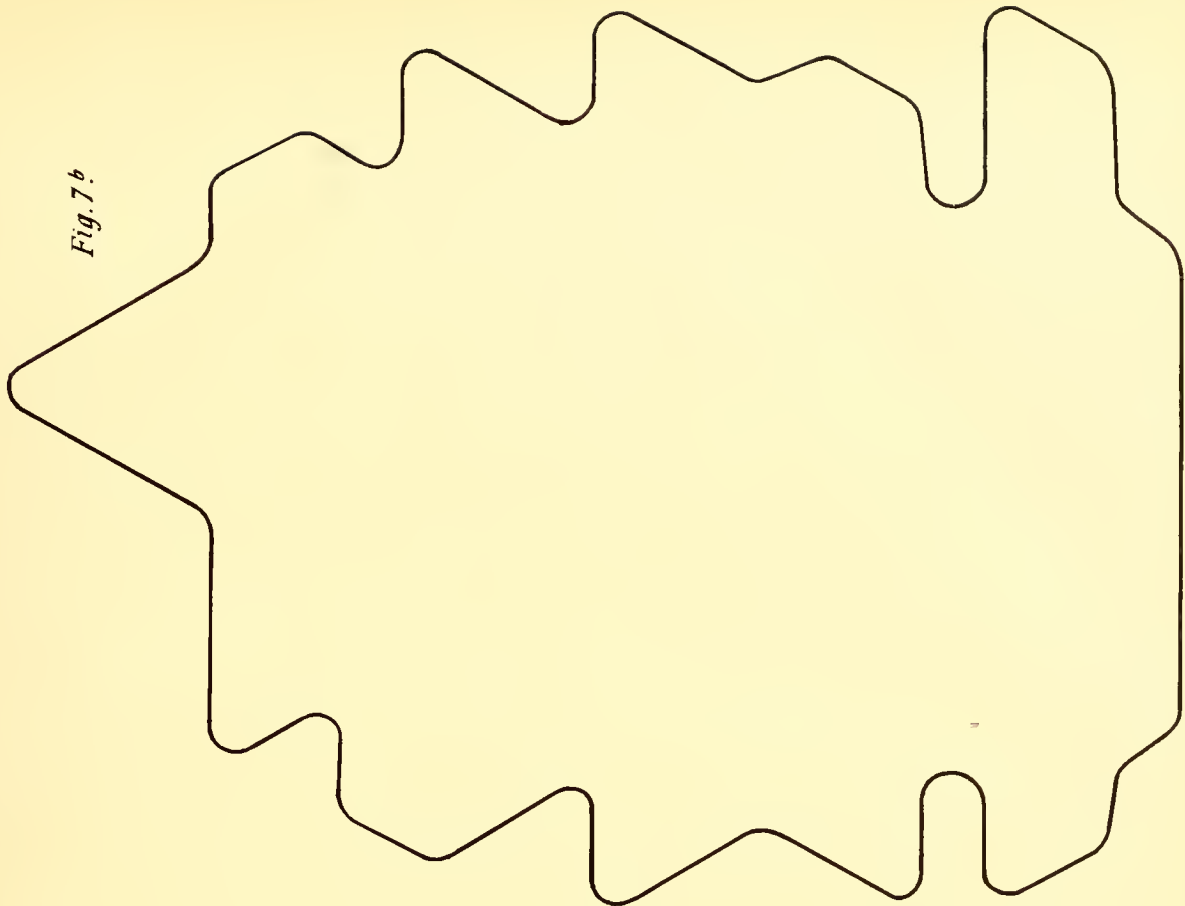


Fig. 7^a

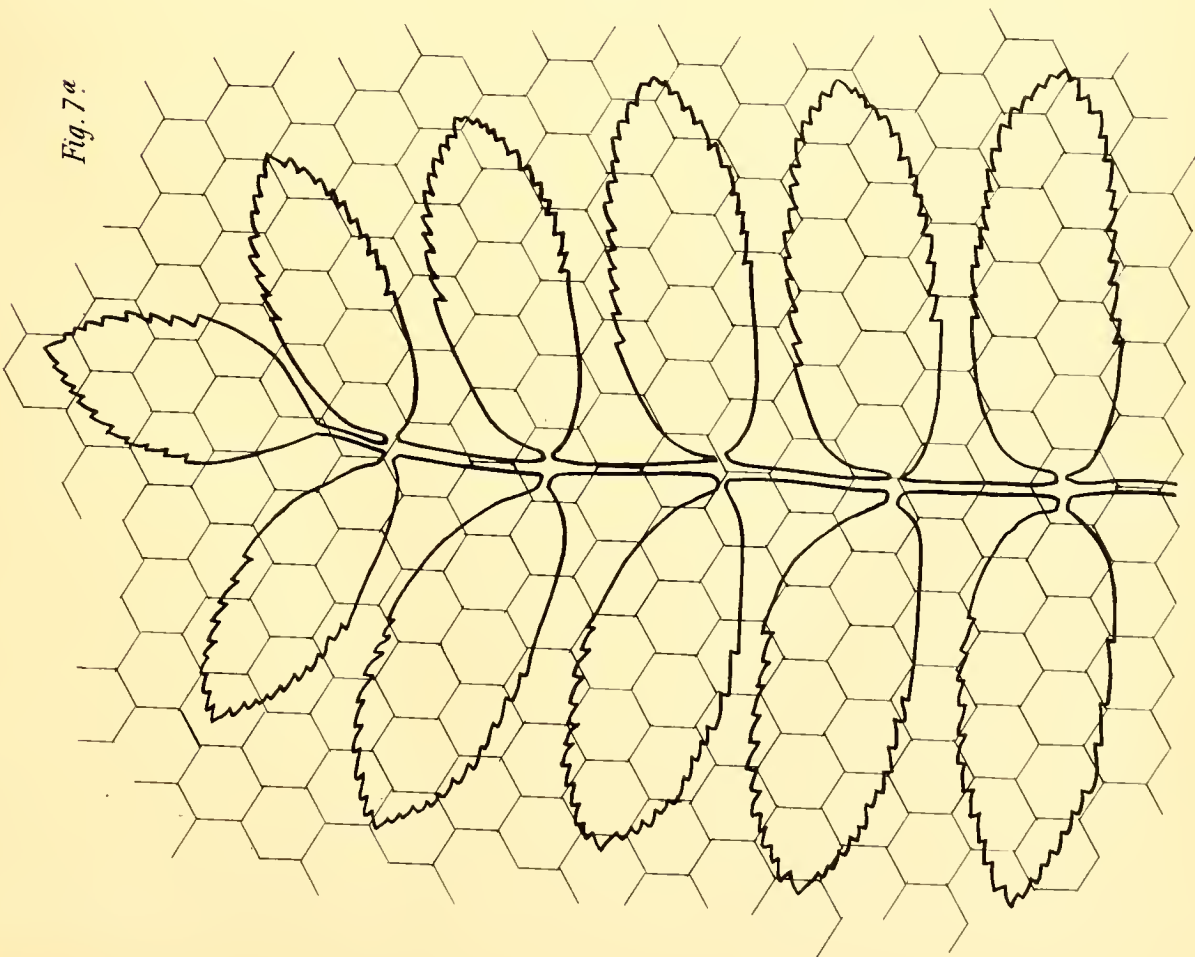


Fig. 1^b

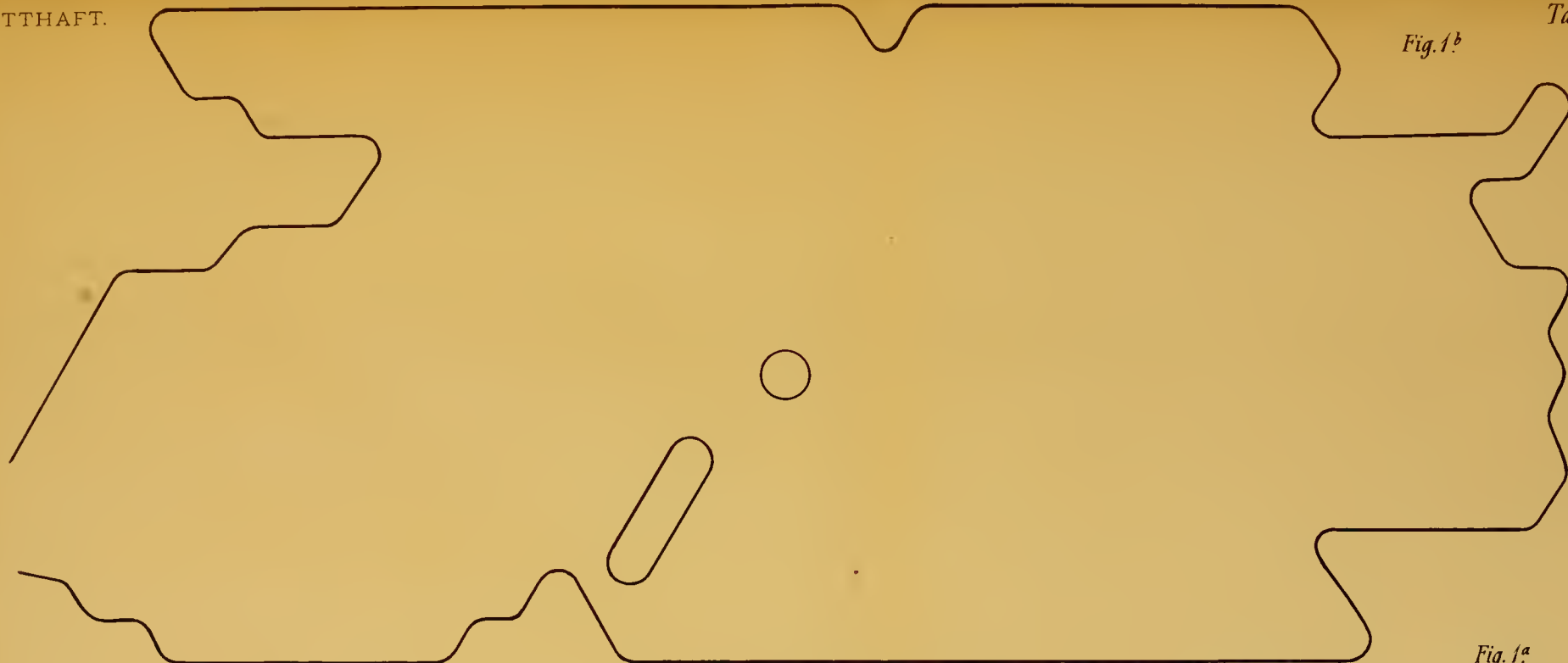


Fig. 1^a

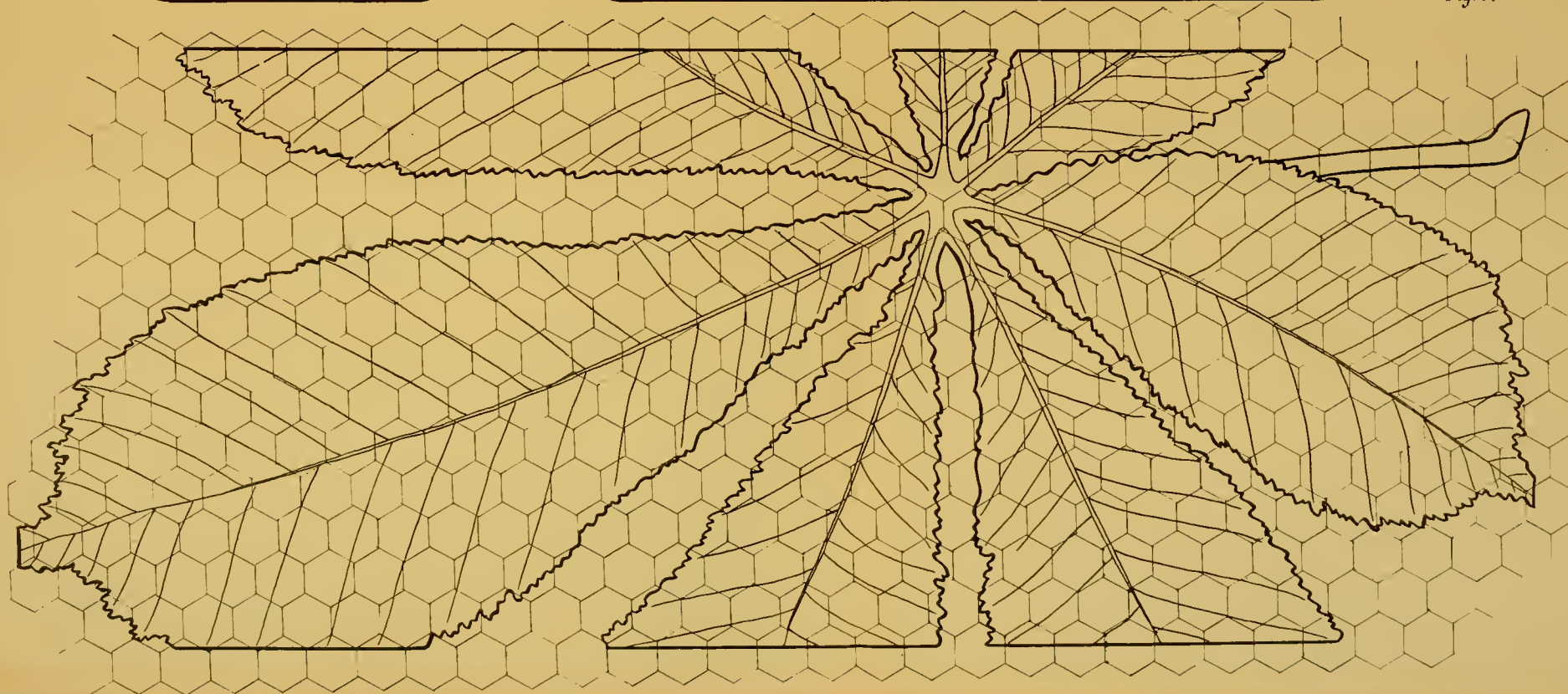


Fig. 5.



Fig. 6.

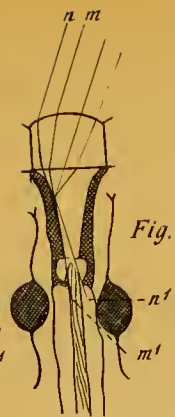


Fig. 2^b



Fig. 2^a

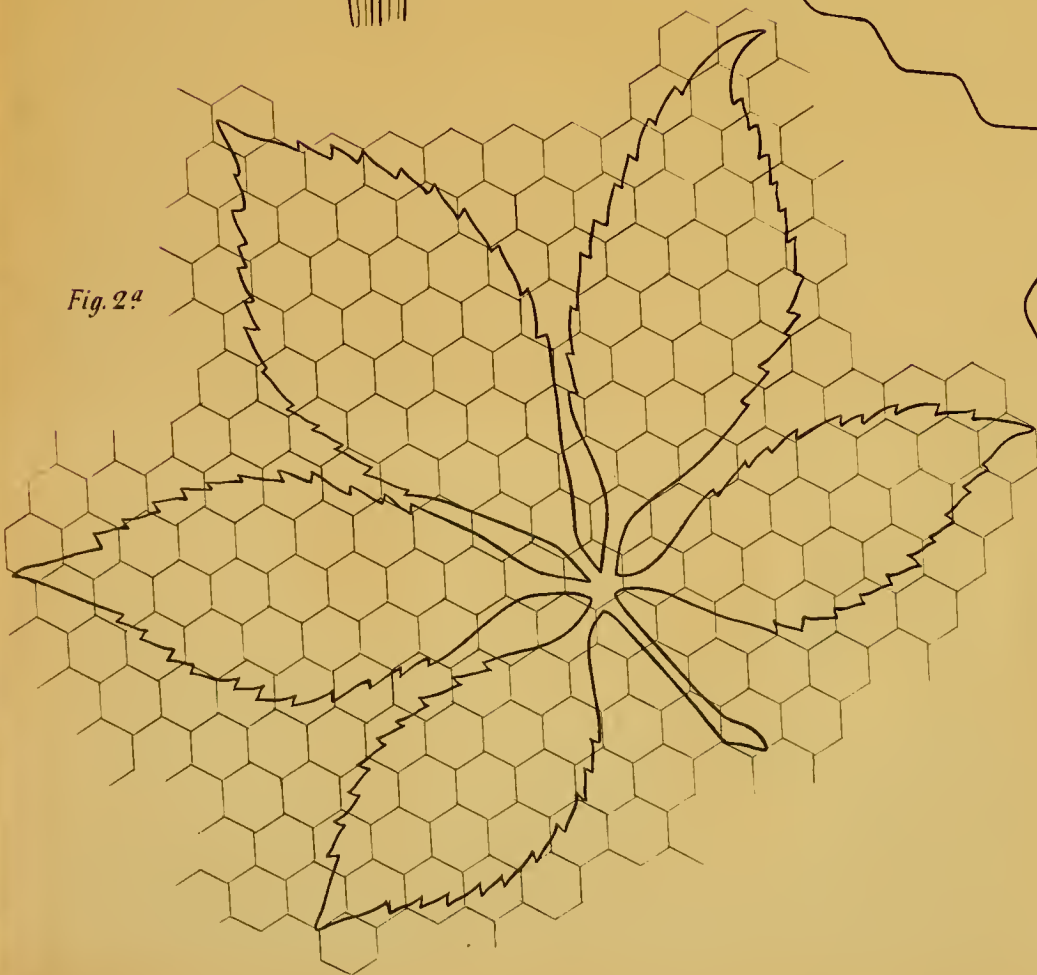


Fig. 7.

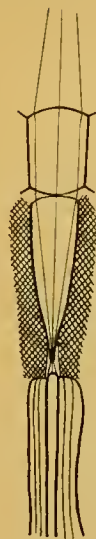


Fig. 4.

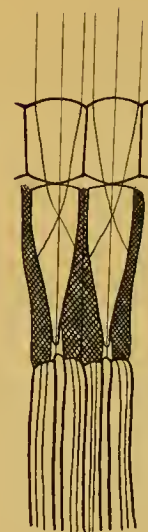


Fig. 3.



Fig. 1.

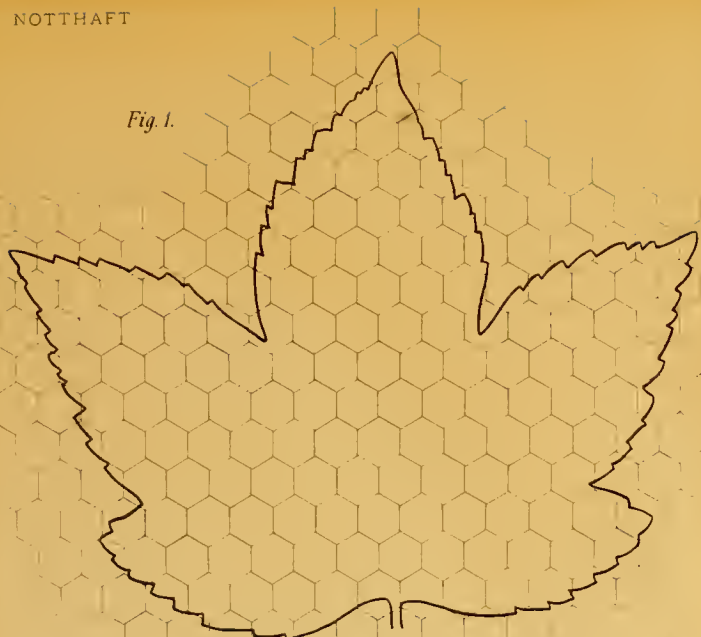


Fig. 7^b

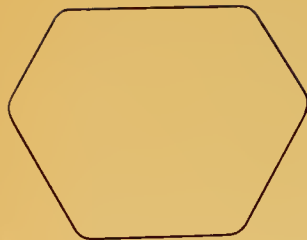


Fig. 3.

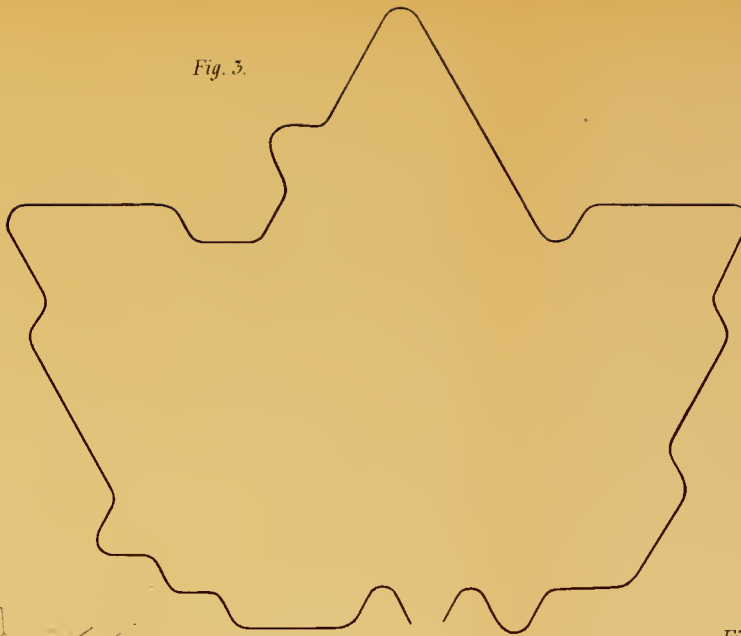


Fig. 2.



Fig. 6.



a



b.

Fig. 5.



Fig. 4.



Fig. 5.



Fig. 7^a

