

Die Optik der alten Griechen.

Von

J. HIRSCHBERG.

(Mit 3 Fig.)

Was die alten Griechen auf dem Gebiet der physikalischen und physiologischen Optik gewusst und gekonnt haben, vermögen wir nicht aus gelegentlichen Aeusserungen ihrer Philosophen, Dichter, Geschichtschreiber, sondern nur aus ihren Schriften über Optik zu erfahren. Leider hat uns der Zahn der Zeit von den letzteren nur wenig übrig gelassen, aber auch dieses ist bisher noch nicht genügend verwerthet worden.

Wir besitzen gute Darstellungen der altgriechischen Optik. Aber in einigen, wie bei A. HIRSCH¹, werden nur die Meinungen der Philosophen² erörtert, hingegen der Inhalt der optischen Schriften gar nicht erwähnt, abgesehen von den physiologischen des GALEN. Doch wer wird die Optik des 18. Jahrhunderts bei GOETHE und nicht eher bei NEWTON studiren?

Andere, wie POGGENDORFF³ und S. GÜNTHER⁴, mussten, bei

¹ Gesch. der Augenheilk., 1877, § 7 u. § 20.

² Wer sich für die griechischen Texte interessirt, findet eine Zusammenstellung derselben in SCHNEIDER, *Eclogae physicae*, Jena u. Leipzig, 1801, S. 329 ff.

³ Gesch. d. Physik, 1879, S. 18–30.

⁴ Abriss d. Gesch. d. Math. u. Naturwiss. i. Alterthum, im Handwörterb. d. Alterthumswiss. V, 1, 1894, S. 268–271. — Die Abhandl. von H. MAGNUS, Die Kenntniss der Sehstörungen bei den Griechen u. Römern (*Arch. f. O.* 23, 3, S. 24 ff.) erwähnt nur gelegentlich die optischen Schriftsteller der Alten, aber stets gründlich und kritisch.

der ihnen auferlegten Kürze der Darstellung, darauf verzichten, uns eine ausführliche Erörterung der optischen Schriften zu liefern. Diejenigen endlich, welche dies konnten und wollten, J. PRIESTLEY¹ im vorigen und WILDE² vor der Mitte unsres Jahrhunderts, hatten nur unkritische Ausgaben der alten Optiker zu ihrer Verfügung, während der wichtigste, PTOLEMAEUS, dem ersteren gar nicht, dem letzteren nur in einem ganz unvollkommenen Auszug vorlag.

Heutzutage besitzen wir neue, kritische Ausgaben von allen vier hauptsächlichsten griechischen Schriftstellern über Optik, die auf unsere Tage gekommen sind, von EUKLID, HERON, PTOLEMAEUS, DAMIANUS; wenn gleich HERON und PTOLEMAEUS nur in mittelalterlich-lateinischen Uebersetzungen, der letzte und wichtigste noch dazu verstümmelt uns überliefert ist. Da lohnt es sich doch schon, an der Hand der Quellen eine neue Darstellung der Optik der Griechen zu versuchen.

Ueber die Meinungen der altgriechischen Philosophen sollen wenige Worte genügen, zumal sie vielfach nicht aus ihren eignen Schriften, sondern aus denjenigen anderer Schriftsteller, wie des ARISTOTELES, oder späterer Sammler, wie PLUTARCH und DIOGENES LAERTIUS, geschöpft sind.

Nach EPIKUR erfolgt das Sehen durch Ausströmen des Lichts aus den Augen. Es ist das die sogenannte Fühlfadentheorie. DEMOKRIT nahm an, dass vom Gegenstand ähnliche, farbige Bilder sich ablösen und zum Auge gelangen. EMPEDOKLES und PLATO lassen die Strahlen des Gegenstandes und des Auges einander begegnen. (Synaugie). Das vernünftigste war noch die Anschauung des ARISTOTELES: das Licht ist eine Bewegung, die von dem leuchtenden Körper ausgeht und durch durchsichtige Mittel hindurch der durchsichtigen Augenfeuchtigkeit sich mittheilt, wodurch die Wahrnehmung des leuchtenden Körpers erfolgt.

¹ The history and present state of discoveries, relating to vision, light and colours. London 1777. Das erste Werk dieses Inhalts und darum sehr wichtig, trotz zahlreicher Ungenauigkeiten und Unrichtigkeiten, die von dem deutschen Uebersetzer zum grossen Theil berichtigt sind. (Gesch. d. Optik, v. J. PR., übersetzt von SIMON KLÜGEL, Leipzig 1776.)

² Gesch. d. Optik von Dr. EMIL WILDE, Prof. d. Math. u. Physik am Berlinischen Gymn. z. grauen Kloster, Berlin 1838—1843. II Bände. Bei weitem das beste Werk.

Aber grade diese Theorie hat bis zum Wiedererwachen der Wissenschaften weder bei Aerzten noch bei Optikern irgendwelchen Einfluss erlangt.

Somit wollen wir sogleich dem Inhalt der optischen Schriften aus der Zeit der alten Griechen näher treten und versuchen, daraus gewissermaassen ein photographisches Bild von ihren Kenntnissen auf diesem Gebiet uns zu verschaffen.

1. Euclidis Opera omnia ed. J. L. HEIBERG et H. MENGE. Vol. VII. EUCLIDIS Optica, Opticorum recensio Theonis, Catoptrica, cum scholiis antiquis ed. J. L. HEIBERG, Prof. Dr. phil. Lipsiae, in Aed. B. G. Teubneri. MDCCCXCV.

Eine werthvolle Gabe für den Liebhaber der Geschichte. Ist es nicht rührend, das erste, noch jugendliche Stammeln derjenigen Wissenschaft zu hören, deren vollkommnere Ausbildung uns mit dem Augenspiegel, dem Vergrößerungsglas, dem Fernrohr beschenkt hat?

Als ich meine ersten Studien machte, galt es für ziemlich ausgemacht, dass die unter dem Namen des EUKLIDES uns überlieferten *Ὀπτικά* und *Κατοπτρικά* so unvollkommen und nachlässig geschrieben seien, dass sie unmöglich für echte Schriften des berühmten Vaters der Geometrie¹ gehalten werden könnten. Diese Ansicht hat auch der Verfasser der ersten Geschichte der Optik², JOSEPH PRIESTLEY, nachdrücklich vertreten. Aber, obwohl damals das eigentliche Werk des EUKLIDES uns unbekannt war, und nur die Ausgabe des THEON gedruckt vorlag; waren doch andere, der Optik und des Griechischen mehr kundige Männer für die Echtheit mit Wärme eingetreten: so schon der

¹ Er lebte um 300 v. Chr. zu Alexandria in Aegypten am Hofe des Ptolemaeus Lagi. Nach unsren heutigen Begriffen wird der Grieche von den Barbaren (Aegyptern) viel gelernt haben, ehe er es unternehmen konnte, die Welt mit den Anfangsgründen der Geometrie zu beschenken und die Grundsteine zu einer neuen Wissenschaft, der Optik, zu legen. Uebrigens sollen schon vor ihm Schriften über Optik verfasst worden sein, z. B. eine Aktinographia von DEMOKRITOS (geb. 460 v. Chr.); doch ist uns nichts davon erhalten.

² Deutsch von G. S. KLÜGEL. Leipzig 1777. S. 7. — Aehnlich POGGENDORFF (Gesch. d. Physik S. 23) und die neueren Encyclopädien.

berühmte J. KEPLER¹, so unser gelehrter Landmann E. WILDE, Verfasser der zweiten Geschichte der Optik.²

Heutzutage besitzen wir nun auch die echte Schrift des EUKLID über Optik, welche J. L. HEIBERG aus Kopenhagen zuerst aus einer Wiener Handschrift 1882 herausgegeben und in dem Bande, der hier besprochen wird, wieder abgedruckt hat; zusammen mit der von THEON (gegen Ende des 4. Jahrh. n. Chr., zu Alexandrien) besorgten Ausgabe desselben Werkes, die seit dem Wiedererwachen der Wissenschaften allein bekannt gewesen; und mit einer lateinischen Uebersetzung des erstgenannten Textes aus dem Mittelalter, des letztgenannten aus der Renaissance-Zeit; endlich mit der Katoptrik, die nach HEIBERG wegen sachlicher Irrthümer und wegen der Sprache, dem THEON zuzuschreiben ist; und mit alten (griechischen) Scholien zu den genannten Schriften.

Der griechische Text ist verständlicher, als die lateinische Uebersetzung; einmal weil die griechische Sprache zu solchen Erörterungen geeigneter ist, sodann weil der Verfasser des Griechischen seine Sprache besser beherrschte.

EUKLID beginnt mit Begriffserklärungen (*ὄροι*), die er als Erfahrungssätze hinstellt:

1. Ὑποκείσθω τὰς ἀπὸ τοῦ ὀμματος ὄψεις κατ' εὐθείας γραμμὰς φέρεσθαι διάστημα τι ποιούσας ἀπ' ἀλλήλων.³

Wir müssen annehmen, dass die vom Auge ausgehenden Sehstrahlen fortziehen in geraden Linien, die gewisse Zwischenräume zwischen sich lassen.

2. Καὶ τὸ μὲν ὑπὸ τῶν ὀψεων περιεχόμενον σχῆμα εἶναι κῶνον τὴν κορυφὴν μὲν ἔχοντα πρὸς τῷ ὀμματι, τὴν δὲ βάσιν πρὸς τοῖς πέρασι τῶν ὄρωμένων.

Die von den Sehstrahlen gebildete Figur ist ein Kegel, dessen Spitze am Auge liegt, die Grundfläche aber auf den Grenzen der sichtbaren Gegenstände.

¹ Euclidis Catoptrica *νοθεύειν* arguis, meo iudicio perperam. (Epistol. ad J. Keplerum, von HANSCH. Epist. CLII.)

² Gesch. d. Optik von Dr. E. WILDE, Prof. d. Math. u. Physik, I, Berlin 1838. Vgl. auch CHRIST, Geschichte der griechischen Literatur. München 1890, S. 719; GÜNTHER, G. d. Naturwiss. i. Alterthum. München 1894, S. 269.

³ Ich kann nicht umhin, hier die Lesart der THEON'schen Bearbeitung

3. Καὶ δρᾶσθαι μὲν ταῦτα, πρὸς ἃ ἂν αἱ ὄψεις προσπίπτωσιν, μὴ δρᾶσθαι δέ, πρὸς ἃ ἂν μὴ προσπίπτωσιν αἱ ὄψεις.

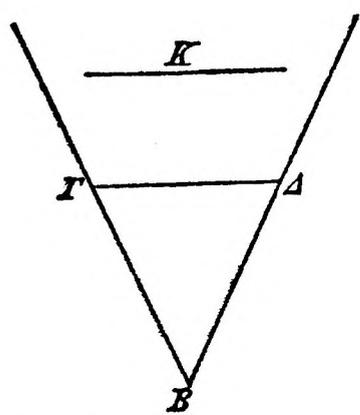
Wir sehen nur das, worauf Sehstrahlen fallen; wir sehen aber das nicht, worauf keine Sehstrahlen fallen.

Was unter höheren Sehstrahlen gesehen wird, erscheint höher; was unter tieferen, tiefer; was unter rechtseitigeren, mehr rechts; was unter linksseitigeren, mehr links. —

Wenn der Grieche annimmt, dass die einzelnen Sehstrahlen in dem kegelförmigen Bündel Zwischenräume zwischen sich lassen und nicht ununterbrochen (*οὐ συνεχεῖς*) den Raum des Kegels ausfüllen; so ist das derselbe Gedanke, als wenn wir heute sagen, das Netzhautbild ist musivisch und besteht aus einzelnen Punkten, die den lichtauffangenden Endorganen (Zapfen und Stäbchen) entsprechen: das musivisch zusammengesetzte Auge der Insekten würde allerdings noch eher den Gedanken des Griechen ausdrücken, da er von Lichtbrechung nichts versteht, als das dioptrisch gebaute Auge der Wirbelthiere. Nur wenn man dies erwägt, wird man verstehen, wie EUKLID das Vorhandensein eines kleinsten Unterscheidungswinkels oder vielmehr eines Minimum visibile (eines physiologischen Netzhautpunktes nach AUBERT) zu beweisen unternimmt. Es lautet nämlich der dritte Lehrsatz folgendermaassen:

Ἐκαστον τῶν δρωμένων ἔχει τι μῆκος ἀποστήματος, οὗ γεγόμενον οὐκέτι δρᾶται.

Für jeden sichtbaren Gegenstand giebt es eine gewisse Entfernung vom Auge, in welcher er aufhört, sichtbar zu sein.



ἔστω γὰρ ὄμμα μὲν τὸ B, δρῶμενον δὲ τὸ ΓΔ. φημι δὴ, ὅτι τὸ ΓΔ ἔν τινι ἀποστήματι

B (Fig. 1) sei das Auge, ΓΔ der sichtbare Gegenstand. Ich behaupte nun, dass ΓΔ in einem bestimmten Abstände vom Auge nicht mehr sichtbar bleibt.

γεγόμενον οὐκέτι δραθήσεται.

vorzuziehen, der ursprünglichen *διάστημα μεγεθῶν μεγάλων*, d. h. bis in unendliche Ferne, die HEIBERG selber für verdorben hält (l. c. S. XXIX). Denn, dass die Sehstrahlen Zwischenräume zwischen sich lassen, wird in der dritten Erklärung nothwendig gefordert, muss also in der ersten

γεγενήσθω γὰρ τὸ $\Gamma\Delta$ ἐν τῷ μεταξὺ διαστήματι τῶν ὀψεων ἐφ' οὗ τὸ K . οὐκοῦν πρὸς τὸ K οὐδεμία τῶν ἀπὸ τοῦ B ὀψεων προσπεσεῖται κ. τ. λ.

Man bringe $\Gamma\Delta$ in den Zwischenraum der [zwei benachbarten] Sehstrahlen, wo K liegt: dann wird kein von B ausfahrender Strahl auf K treffen u. s. w.

Hiermit in Uebereinstimmung erklärt EUKLID, dass von zwei gleichen und gleichlaufenden Längen die nähere genauer erscheint, da sie unter mehr Sehstrahlen (ὑπὸ πλειόνων ὀψεων) oder unter mehr kleinsten Winkeln (ὑπὸ πλειόνων γωνιῶν) gesehen wird.

[Beiläufig sei erwähnt, dass in einer freien lateinischen Uebersetzung von EUKLID's Optik (die Handschrift ist aus dem Jahre 1359 n. Chr.) folgendes steht: Sit igitur dbg. minimus angulus determinatus visui.]

Es sei hier gleich angeführt, dass die Messung des kleinsten Gesichtswinkels, den EUKLID unzweifelhaft zuerst betrachtet hat, erst 2000 Jahre später (durch HOOKE 1674 n. Chr.) ausgeführt wurde, als dies durch die Erfindung des Fernrohrs nothwendig geworden. (Vgl. m. Notiz, *Opth. Hosp. Reports*, 1877.)

In Uebereinstimmung mit EUKLID's Vorstellungen von den getrennten Sehstrahlen steht auch der Satz, den er als ersten an die Spitze der Erörterung gestellt hat:

Kein sichtbarer Gegenstand wird gleichzeitig ganz gesehen. Es bleiben eben Lücken, auf welche Sehstrahlen nicht auffallen. Wir glauben aber das Ganze gleichzeitig zu sehen, da die Sehstrahlen rasch zur Seite bewegt werden.¹ Offenbar liegt diesem Satz die Ungenauigkeit des excentrischen Sehens und ihre Ausgleichung durch Seitwärtsbewegung der Blickachse zu Grunde.²

Das Weitere enthält solche Sätze, wie die folgenden:

Von gleichen Grössen erscheint diejenige grösser, die dem Auge näher ist. Gleiche Grössen, die vom Auge ungleich ent-

gesetzt sein. Ausserdem steht im ersten Lehrsatz des EUKLID (S. 4) ἐπεὶ ἐν διαστήματι φέρονται αἱ προσπίπτουσαι ὀψεις, was nicht so angeführt werden konnte, wenn es nicht schon in den Erklärungen stände.

¹ WILDE's Uebersetzung, „wegen der Schnelligkeit, mit welcher die Lichtstrahlen sich bewegen“, ist ungenau.

² PTOLEMAEUS, fast 500 Jahre später, bekämpft EUKLID's Ansicht von den Zwischenräumen zwischen den Sehstrahlen und kommt der Wahrheit näher.

fernt sind, erscheinen nicht ihren Entfernungen proportional. Von Ebenen, die unter dem Auge liegen, erscheinen die ferneren Theile höher. Die Aufgabe, eine Höhe zu messen, wird in doppelter Weise gelöst: 1. mit Hilfe des Schattens, 2. mit Hilfe eines ebenen Spiegels. Es wird untersucht, wie viel das Auge von einer Kugel, einem Cylinder, einem Kegel überschaut; wie bei gleichförmiger Bewegung nähere und fernere Gegenstände sich gegeneinander verschieben, u. A. m.

Kurz, es werden die Hauptaufgaben der sogenannten Linear-Perspektive abgehandelt. EUKLID'S Buch enthält die Orthoptik, aber nichts von Katoptrik oder Dioptrik. Obwohl vom Fixationspunkt mehrfach die Rede ist, wird er nicht ausdrücklich erwähnt, auch die Grösse des Gesichtsfeldes nicht besprochen. Doch erläutert THEON die Lehre vom Fixirpunkt durch das Beispiel der am Boden liegenden Nadel und erwähnt auch (nach EUKLID'S Vorlesungen), dass gleichzeitig immer nur einige Buchstaben einer Seite erkannt werden, worauf im vorigen Jahrhundert EULER (in seinen Briefen an eine Prinzessin) wieder zurückgekommen ist.

An vielen Stellen ist der neugefundene Text wesentlich verständlicher. Man könnte sich wundern, dass diese griechischen Optiker nicht nachdrücklicher gegen die Annahmen der Philosophen über die vom Auge ausgehenden Sehstrahlen aufgetreten sind.

Nun, EUKLID selber macht uns gar keine Bekenntnisse über seine philosophischen Glaubenssätze. Er behandelt die Sehstrahlen als geometrische Linien zwischen Pupille und Lichtpunkt. Die Richtung dieser geraden Linien (ob vom oder zum Auge) ist ihm und kann ihm für seine Konstruktionen gleichgiltig sein. Uebrigens wussten die griechischen Optiker ganz gut, dass von dem leuchtenden Körper Strahlen ins Auge dringen; sie meinten aber, dass zur Wahrnehmung noch eine Thätigkeit des Auges (oder des Gehirns) hinzukommen müsse. So heisst es in der erläuternden Vorlesung des THEON (S. 146): „*Ἐναργοῦς οὖν ὄντος τοῦ, ὅτι πᾶν φῶς κατ' εὐθείαν γραμμὴν φέρεται, καὶ πᾶσι προδήλου μεταβαίνειν εἰς τὴν ὄψιν ἡξίου . . .* Da es eine Thatsache ist, dass jedes Licht geradlinig sich ausbreitet, so stellte er es als Axiom auf, dass dasselbe in die Pupille eindringe, (und dass auch die aus dieser ergossenen Strahlen geradlinig und in Zwischenräumen sich ausbreiten).“

Wir werden ja sogleich sehen, dass, wenn wir die Seh-

strahlen der Griechen so wie unsere Projektionslinien behandeln, die griechische Konstruktion mit der unsrigen genügend übereinstimmt.

Allerdings sucht THEON zu beweisen, dass der Sehakt in einem Ausfluss von Sehstrahlen aus dem Auge bestehe, da dem letzteren ein solcher Hohlraum zur Aufnahme, wie ihn das Ohr besitze, abgehe.

Die der Optik des EUKLID angehängte Katoptrik entwickelt die Hauptsätze von der Zurückwerfung des Lichts, von dem Ort und der Stellung der Bilder ebener wie gekrümmter Spiegel. (Wir brauchen diese Sätze nicht auszuführen, da sie zeitlich nach PTOLEMAEUS, wohl von THEON, verfasst sind und wir ja sogleich in des ersteren Werk dieselben Sätze besprechen werden.¹ Dass in dieser Katoptrik der Verfasser dem Brennpunkt der Hohlspiegel nicht die richtige Lage gegeben, wird derjenige verzeihen, der berücksichtigt, wie selbst ein KEPLER hierin noch irrte; und anerkennt, wie schwer es war, die ersten Bausteine der Optik zu begründen.

2. Ptolemaei liber de speculis, das in einer lateinischen, aus dem griechischen Text, 1269 (wahrscheinlich von WILHELM VON MOERBECK) angefertigten Uebersetzung auf uns gekommen, 1518 zu Venedig gedruckt und durch V. ROSE's kritische Ausgabe (Anecdota graeca et graecolatina, II. 317 ff., 1870) uns erst bequem zugänglich gemacht ist, scheint nach der Ansicht von VENTURI, MARTIN, V. ROSE selber u. A. von dem Mechaniker HERON aus Alexandrien verfasst zu sein, der im 2. Jahrh. v. Chr. unter PTOLEMAEUS EVERGETES gelebt hat. Dem Charakter des Verfassers entsprechend, enthält es hauptsächlich einige Winke zur Anfertigung von Vervielfältigungs-, Neck- und sogenannten Zauber-Spiegeln; aber doch auch einen theoretisch wichtigen Satz, den schon das Alterthum dem HERON zugeschrieben², und den die Neuzeit³ fruchtbringend für die Darstellung der Spiegelung und Brechung verwerthet hat.

¹ Ich möchte bemerken, dass WILDE in den Grundsätzen der Katoptrik τοῦ τόπου καταληφθέντος irrig übersetzt „vom Auge eingenommen wird“; es heisst, „wenn der Ort zugedeckt wird“.

² DAMIAN'S Optik § 14 (Ausgabe von R. SCHÖNE, Berlin 1897, S. 20).

³ FERMAT (1601—1665) und HELMHOLTZ, Physiol. Optik, erste Aufl. S. 238, 1867, u. *Wissensch. Abh.* II, 147—182, Leipzig 1883.

Dieser Satz lautet (a. a. O. S. 320, Z. 20 ff.): quoniam autem et refractiones faciant in angulis equalibus in speculis planis et circularibus, per eadem demonstrabimus, celeritate enim incidentie et refractionis. necessarium est enim rursum per ipsas minimas rectas conari. dico igitur, quod omnium incidentium et refractorum in idem radiorum minimi sunt, qui secundum equales angulos in speculis planis et circularibus, si autem hoc, rationabiliter in angulis equalibus refringuntur.

Der Gedankengang des Verfassers ist der folgende: Alles, was mit grosser und ununterbrochener Geschwindigkeit sich fortbewegt, thut es in gerader Linie. So die Sehstrahlen. Wegen der Augenblicklichkeit des Einfalls und der Rückstrahlung müssen sie den kürzesten Weg wählen. Von allen auf dieselbe Fläche einfallenden und zurückgeworfenen Strahlen (zwischen Auge und Gegenstand) sind die kürzesten die, welche unter gleichen Winkeln zurückgeworfen werden.

3. Die Lichtbrechung ist in den echten Schriften des EUKLIDES, welche wir besitzen, nicht abgehandelt; in den Vorbemerkungen zu der unechten Katoptrik findet sich zum Schluss ein weiter nicht erörtertes Einschiebsel: „Wenn ein Gegenstand in ein Gefäss geworfen und soweit abgerückt wird, bis man ihn nicht mehr sieht; so wird er bei derselben Entfernung, wenn Wasser eingegossen wird, sichtbar werden.“ Nun die Thatsache der Lichtbrechung konnte natürlich auch den älteren Griechen nicht verborgen bleiben. Aber ihre Erklärung gelang ihnen nicht. Vergeblich fragt ARISTOTELES, warum ein in Wasser getauchter Stab uns gebrochen erscheine. Darum darf man die Erwähnung des Brennglases bei ARISTOPHANES¹ (444—388 v. Chr.) nicht als ein Zeichen von Kenntniss der Lichtbrechung auffassen. Denn die Griechen wussten nicht, dass diese Brennwirkung auf Lichtbrechung beruhe.

Die erste wissenschaftliche Erwähnung der Lichtbrechung finden wir bei dem Astronomen CLEOMEDES (im 1. Jahrh. n. Chr.), der hauptsächlich die Schriften des POSIDONIUS (aus dem 1. Jahrh. v. Chr.) benutzte. Es heisst in des ersteren Werk, *κνκλικῆς θεωρίας μετεώρων βιβλία δύο*, welches uns heutzutage in

¹ Wolken V. 766 ff.

der trefflichen Ausgabe von ZIEGLER (Leipzig, Teubner 1891) vorliegt, II, c. 6, S. 224:

„Es könnte der von den Augen ausgehende Sehstrahl, auf dunstige und feuchte Luft treffend, herabgeknickt (*κατακλᾶσθαι*) werden und die Sonne treffen, wenn sie schon unter dem Horizont verborgen ist. Eine ähnliche Thatsache kann auch in unserer Nähe beobachtet werden.“ — Und nun folgt der Versuch mit dem Ring im Gefäss, der erst durch Eingiessen von Wasser sichtbar gemacht wird.

Ich kann mich denen nicht anschliessen, welche hierin eine wissenschaftliche Behandlung der Lichtbrechung erblicken; oder gar irrthümlich den Fund des PTOLEMAEUS dem CLEOMEDES zuschreiben: möchte aber zwei Worte über die griechischen Kunstausdrücke beifügen.

CLEOMEDES gebraucht für die Zurückwerfung des Licht- oder Seh-Strahles das übliche Wort *ἀνάκλασις*, d. h. Emporknickung; und für die Brechung das Wort *κατάκλασις*, d. h. Herab-Knickung.¹ Später wurde für das letztere *διάκλασις*, d. h. Durch-Knickung, üblicher.²

4. Brauchbare Messungen über die Lichtbrechung hat zuerst PTOLEMAEUS³ geliefert. Seit Kurzem besitzen wir sein lange als verloren betrautes Werk⁴, zwar nur in einer lateinischen Uebersetzung aus der arabischen, aber diesen Text doch in guter, kritischer Ausgabe: *L'ottica di Claudio TOLEMEO*, da Eugenio

¹ Allerdings lesen wir schon in den Problemen des ARISTOTELES (Ausg. d. Berl. Akad. II, S. 901, 23): *ἢ ὅτι (φωνῆς) ἀνάκλασις ἐστίν, ἀλλ' οὐ κατάκλασις*; Im Thesaurus ling. Graec. fehlt *κατάκλασις* nach CLEOMEDES und *διάκλασις* nach DAMIAN.

² Vgl. DAMIAN'S Optik, Ausg. v. R. SCHÖNE, S. 2: *ὅτι τὰ ὁρώμενα ἦτοι κατ' ἰθυφάνειαν* (in gradliniger Erscheinung) *ὁρᾶται ἢ κατὰ ἀνάκλασιν ἢ κατὰ διάκλασιν τῆς ὀψεως τῆς ἡμετέρας*. Auch wurde der *ἰθυφάνεια* die *ἀντιφάνεια* (Gegenschein) und die *διαφάνεια* (Durchschein) entgegengestellt. Die Biegsamkeit des Griechischen tritt klar zu Tage. Im Lateinischen wimmelt es von Ungenauigkeiten in der Sprache der Optik.

³ Er lebte im 2. Jahrh. n. Chr. zu Alexandrien und verfasste auch eine Astronomie, die in der arabischen Uebersetzung (Almagest) auf uns gekommen ist.

⁴ Die Geschichte der Trauer kann man bei WILDE I, 51ff., die des freudigen Wiederfindens in der Vorrede der Ausgabe von Govi nachlesen.

Ammiraglio di Sicilia, scittore del Sec. XII, ridutta in latino¹, sopra la traduzione araba di un testo greco imperfetto, opere per la prima volta . . . pubblicata da Gilberto Govi, Torino 1885. (169 Seiten, 98 Figuren).

Auch PTOLEMAEUS lässt das Sehen sich vollziehen durch Sehstrahlen, die vom Auge ausgehen und die Punkte des Gegenstandes treffen. Doch kannte er (mit EUKLID und den anderen Optikern) auch die von den leuchtenden Körpern ausgehenden Strahlen und liess beide nach denselben Gesetzen zurückstrahlen und sich brechen.

Die Brechungswinkel, die er gemessen, sind nicht ganz genau, kommen aber der Wahrheit schon nahe.

A. Uebergang des Lichts aus Luft in Wasser.

Einfallswinkel.	Brechungswinkel, von PTOLEM. gemessen.	Brechungswinkel berechnet, $n = 1,3335$.
0°	0°	0°
10°	8°	7° 29'
20°	15° 30'	14° 51'
30°	22° 30'	22° 1'
40°	29°	28° 49'
50°	35°	35° 3'
60°	40° 30'	40° 30'
70°	45° 30'	44° 48'
80°	50°	47° 36'
(90°		48° 34').

¹ Die Sprache ist schrecklich, schwer verständlich und wegen des arabischen Originals überaus schleppend. Das Lesen des Werks ist eine wirkliche Qual, trotz des merkwürdigen Inhalts.

B. Uebergang des Lichts aus Luft
in Glas.

Einfallswinkel.	Brechungswinkel, von PTOLEM. gemessen.	Brechungswinkel berechnet, $n = 1,5289$.
0°	0°	0°
10°	7°	6° 31′
20°	13° 30′	12° 56′
30°	19° 30′	19° 5′
40°	25°	24° 51′
50°	30°	30° 4′
60°	34° 30′	34° 30′
70°	38° 30′	37° 55′
80°	42°	40° 5′
(90°)		41° 48′

Im ersten Buch des Werkes, das nicht erhalten ist, war, wie im Anfange des zweiten erläutert wird, von der Aehnlichkeit und dem Unterschied zwischen dem Sehen und dem Licht die Rede, also wohl von der Theorie des Sehens, die uns leider verloren gegangen ist.

Im zweiten Buch heisst es, das Sehen erkennt den Körper, seine Grösse, Farbe, Gestalt, Lage, Ruhe oder Bewegung. Was gesehen wird, muss leuchtend sein und körperhaft (*spissa*). Tastgefühl und Sehen sind ähnlich, aber die Farbe dem letzteren eigenthümlich. Ein Gegenstand scheint uns an einem anderen Ort, wenn wir ihn mit einem Auge ansehen, als wenn mit beiden. Das Sehen mit zwei Augen dient dazu, dass wir besser fixiren, und dass unser Blick geordnet und begrenzt sei.¹

Wenn wir einen Gegenstand *a* beachten und mit beiden Augen einen merklich näheren oder ferneren *b* fixiren; so erscheint *a* doppelt, und eines von den beiden Bildern ver-

¹ *natura ideo posuit visum duplicem, ut magis aspiciamus, utque sit visus noster ordinatus et terminatus.* Das erinnert sehr an die Horopter-Linie des AGULONIUS (*Optic. l. VI, Antwerpen 1613, S. 110*): *Haec visum finit ac terminat.*

schwindet, wenn wir eines der beiden Augen verdecken: und zwar verschwindet das Bild auf der Seite des geschlossenen Auges, wenn wir einen näheren Punkt fixirten; dagegen das Bild auf der anderen Seite, wenn wir einen ferneren Punkt fixirten. Ein schwarzer und ein weisser Zylinder werden zum Versuch benutzt und die Erklärung ganz richtig gegeben.¹

Wenn wir, parallel zur Basallinie,² gerade vor dem rechten Auge den weissen Zylinder senkrecht aufstellen und vor dem linken den schwarzen; so erscheint durch die gekreuzten Strahlen ein dritter Zylinder in der Mitte, dessen Farbe aus den beiden zusammengesetzt ist.³

Ueberhaupt wird ganz richtig angegeben, dass alle diejenigen Punkte beim Sehen mit zwei Augen einfach gesehen werden, zu denen von beiden Sehpyramiden symmetrisch, z. B. unter gleichen Winkeln nach rechts von den Achsen, belegene Sehstrahlen hinziehen. Hier (und nicht bei GALEN) ist eine Andeutung von JOH. MÜLLER'S Lehre von den identischen Punkten gegeben.

Bei den Seitenbewegungen der beiden Augen können wir willkürlich bis zu einem gewissen Grade die Achse der einen Sehpyramide ablenken, bis sich beide auf dem fixirten Punkt treffen (d. h. Doppeltsehen vielfach vermeiden). Aber nach oben und unten drehen sich beide Achsen immer nur gemeinschaftlich. Die scheinbare Grösse des gesehenen Gegenstandes hängt ab vom Sehwinkel in der Spitze der Sehpyramide. Mit Schärfe wendet sich P. gegen die (oben in 1, nach EUKLID, vorgetragene) Ansicht, dass die Sehstrahlen von einander getrennt seien, und darum kleine Gegenstände in einer gewissen Entfernung aufgehört sichtbar zu sein. Die Sehstrahlung ist zusammenhängend und nicht getrennt, sonst müsste der ferne Gegenstand durchlöchert erscheinen.

Von den Sinnestäuschungen sind erst solche zu erwähnen,

¹ GALEN irrte in ähnlichen Versuchen.

² Das Wort gebraucht PTOLEMAEUS nicht, aber den Begriff: die Linie, welche die Spitzen der Sehpyramiden vereinigt. Pt. spricht von Sehpyramiden, nicht von Sehstrahlenkegeln.

³ Diese Art der stereoskopischen Verschmelzung zweier Bilder ohne stereoskopischen Apparat ist in HELMHOLTZ' Physiol. Optik (II. Aufl. S. 784) beschrieben. Aber dass PTOLEMAEUS schon derartige Versuche gemacht, scheint man bisher noch nicht beachtet zu haben.

die mehreren Sinnen gemeinsam sind und auf ein mehr oder minder oder auf einen Vergleich zwischen zwei Grössen sich beziehen.

Die Eigenfarbe des Mondes erkennen wir erst bei der Verfinsterung. Wird eine Scheibe mit verschiedenfarbigen Sektoren rasch gedreht, so erscheint uns nur eine Mischfarbe¹; und ein Punkt auf der Scheibe, seitlich von der Achse, erscheint als Kreislinie. Ebenso erscheinen Sternschnuppen als Lichtlinien wegen der Schnelligkeit der Bewegung.

Täuschungen entstehen auch, nicht vom Sehakt, sondern vom Urtheil aus.

Entfernte Gegenstände, die sich bewegen, scheinen still zu stehen. Sehr ferne Gegenstände, am Himmel, scheinen, wenn wir uns bewegen, mit uns sich zu bewegen.

Von gleich schnell bewegten Körpern scheinen die näheren schneller sich zu bewegen.

Dann giebt es Täuschungen aus dem Sehakt selber, z. B. über die Farbe eines Gegenstandes, durch die Wirkung eines andren Gegenstandes. Haben wir lange auf eine leuchtende Farbe geblickt, und blicken dann auf einen andren Gegenstand; so scheint dieser etwas von der erst angeschauten Farbe zu besitzen, weil der Eindruck glänzender Farben lange im Sehorgan verharret. Dies Nachbild rechnet P. zur *coloratio praecedens*.

Eben dazu rechnet er die Rothfärbung eines Gegenstandes, der durch einen dünnen, rothen Schleier hindurch betrachtet wird. Endlich die Färbung eines in einem gefärbten Spiegel betrachteten Gegenstandes.

Wenn die untergehende Sonne über leicht bewegtem Wasser steht, so erscheint darin ein langer Lichtstreif, und jedem Beobachter, von seinem verschiedenen Standpunkt aus, ein verschiedener.

Nach der Zurückwerfung und nach der Brechung erscheint uns der Gegenstand in der Richtung des letzten Strahles zum Auge hin belegen zu sein.

Ferner sollen ragende Inseln vom Meere aus niedriger erscheinen, weil die in das Meer fallenden Strahlen nach oben zurückgeworfen werden. Ich weiss nicht, ob hier vom Spiegel-

¹ Apparent enim omnes colores per totum trocum in eodem tempore quasi unus et quod sit similis coloris qui vere fieret ex commixtis coloribus.

bild der Insel die Rede ist, oder vielmehr von der scheinbaren Erhebung ferner Inseln über den Wasserspiegel¹; denn über die Kugelgestalt der Erde und ihre Wirkung konnte ein PTOLEMAEUS doch einer Täuschung sich nicht hingeben.

Ebenso kann durch Zurückstrahlung derselbe Gegenstand an mehreren Orten erscheinen, wie bei den concaven oder den Winkel-Spiegeln. Das eingetauchte Ruder erscheint gebrochen, der eingetauchte Theil der brechenden Fläche angenähert.

Alle diese Täuschungen entstehen, wenn der Sehakt von den gewöhnlichen Bedingungen abweicht.

Ein beständiges Hin- und Herdrehen des Sehstrahls erzeugt eine Empfindung, als ob der gesehene Gegenstand gedreht würde; aber dies entsteht wahrscheinlich im Hauptorgan des Sehens (*in principio visus*), z. B. beim Schwindel, der zum Auge emporsteigt. Wenn die (ruhig gehaltene) Sehstrahlung schnell auf immer andere Gegenstände fällt, so scheint sie selber bewegt zu werden. So ist es bei bewegtem Wasser. Sie scheint bewegt zu werden, weil mit der Bewegung der Wasseroberfläche ihr immer wechselnde Orte angewiesen werden.²

Was die Täuschungen hinsichtlich der Lage anlangt, so scheinen die glänzenden Gegenstände näher zu sein, und umgekehrt. Sonne und Mond scheinen näher. Die Landschaftsmaler geben den entfernten Gegenständen unbestimmte Luftfarben (*colores aëreos latentes*).³ Darum unterschätzen wir auf hohen Bergen die Entfernungen.⁴

Ebenso täuschen wir uns über die Grösse.

Von Dingen, die gleiche Winkel umspannen und gleich weit entfernt sind, erscheint uns dasjenige grösser, das mindere Farbe besitzt.

Es giebt auch eine ähnliche Täuschung über die Gestalt der Dinge, wenn man die Art ihrer Oberfläche nicht unmittelbar zu

¹ MÜLLER, Kosm. Physik, III. Aufl. S. 396. — Ich habe die Erscheinung recht häufig im Süden, z. B. im rothen Meer, beobachtet. Ursache ist Brechung des Lichts; Bedingung, dass unmittelbar über dem Wasser eine dichtere, kühlere Luftschicht steht. — Vielleicht ist hier der Text verdorben.

² Es ist der scheinbare Schwindel gemeint, den der auf einen Wasserfall oder Strudel Starrende empfindet.

³ Luftperspektive, HELMHOLTZ, Physiol. Opt. II. Aufl. S. 774.

⁴ HELMHOLTZ, ebendasselbst.

kennen vermag. Wegen der Art der aufliegenden Farben erscheinen die Oberflächen bald erhaben, bald ausgehöhlt. Der Maler legt helle Farbe auf den Theil, den er als hervorragend angesehen wissen will. Ein concaves Segel erscheint uns aus der Ferne convex, wenn die Mitte leuchtet, der Rand dunkler bleibt, weil so ein convexer Gegenstand erscheinen würde. Wenn wir ein Glas (-Prisma), das auf der einen ebenen Endfläche ausgraviert ist, von der andren, nicht bearbeiteten her betrachten; so erscheint uns diese Oberfläche nicht eben: sondern erhaben erscheint uns, was über der Aushöhlung der anderen Fläche liegt, und ausgehöhlt, was über der Erhabenheit liegt.¹

Aehnliches ereignet sich bei Bewegungen. Dinge, die nicht schnell sich bewegen, aber schnell aus unserm Blick verschwinden, scheinen eine schnelle Bewegung zu besitzen, wie erlöschende Feuerfunken, und bewegte Dinge, die wir durch enge Löcher erblicken. Dinge, welche die ganze Sehpyramide in kurzer Zeit durchlaufen, scheinen uns eben schnell bewegt zu sein.

Und hinwiederum, wer vom verankerten Schiff auf die Ebene des ruhig aber rasch dahinströmenden Flusses blickt, glaubt, dass dieser still steht, und das Schiff sich rasch in entgegengesetzter Richtung bewege (*ascendere*), da er wegen der Gleichheit der Theile der Wasseroberfläche deren Bewegung nicht wahrnimmt. Visirt er aber von einem Schiffstheil auf das Land, so erkennt er, dass das Schiff still steht und das Wasser fließt. Fahren wir in der Dunkelheit zu Schiff an der Küste entlang, so scheint es uns, dass die Bäume am Lande sich bewegen.

Im Spiegelbild ist rechts mit links vertauscht; wenn wir die rechte Hand bewegen, zeigt das Auge die gerade gegenüberliegende Hand des Bildes bewegt, die Vorstellung aber die linke des gespiegelten Bildes. Da die untere Luftschicht dicker ist, glauben wir einen Himmel zu sehen. Von einem tiefen Brunnen² aus erblicken wir die Sterne, da wir den erhellen Raum darum nicht sehen. Aber, wenn wir uns beim Tageslicht im Freien befinden, sehen wir die Sterne nicht, weil das Licht, das zwischen ihnen und dem Auge sich befindet, sie auslöscht.

¹ Aehnlich erscheint uns die ausgehöhlt Schrift des Petschafts erhaben, wenn wir ungewöhnlicherweise das umgekehrte Bild derselben mit Hülfe eines Convexglases entwerfen.

² Allerdings steht nur in *tenebroso loco*.

Das dritte Buch handelt von der Spiegelung.

Drei Grundgesetze werden angeführt:

1. Der gespiegelte Punkt erscheint in Richtung des Sehstrahls, der nach der Spiegelung zwischen Spiegel und Pupille liegt.¹ 2. Der gespiegelte Punkt erscheint in der von ihm auf die Spiegelfläche gefällten und verlängerten Lothlinie. 3. Der Strahl vom Lichtpunkt zum Spiegelpunkt und der vom Spiegelpunkt zur Pupille schliessen mit der Lothlinie am Spiegelpunkt gleiche Winkel ein.

I. a) In allen Spiegeln finden wir, dass, wenn wir auf der Oberfläche den Punkt markiren, wo (dem unverrückten Auge) der gespiegelte Gegenstand erscheint, und dann diesen Punkt bedecken, sofort der gespiegelte Gegenstand verschwunden ist. b) Wenn man an dem markirten Punkt des Spiegels einen dünnen, nicht zu langen Gegenstand senkrecht zur Spiegelfläche aufsetzt, so erscheinen Gegenstand und sein Spiegelbild auf derselben geraden Linie. Aus a und b zusammen folgt c): der gespiegelte Gegenstandspunkt erscheint in dem Punkt, wo der Sehstrahl zwischen Spiegel und Pupille einerseits und die Lothlinie vom Gegenstandspunkt auf die Spiegelfläche andererseits einander schneiden.

Somit vermag ein Auge das andere zu erblicken, wenn jedes von beiden gleichzeitig denselben markirten Punkt des Spiegels fixirt.² Der einfallende und der gespiegelte Strahl können ihre Rolle tauschen.³ Hieraus folgt auch mit Nothwendigkeit, dass die Rückstrahlung unter gleichen Winkeln geschieht.

Das bisherige und, dass einfallender, zurückgeworfener Strahl und Einfallslot in derselben Ebene liegen, wird mittelst eines in Grade getheilten Kreisquadranten und eines Diopters für den ebenen, den erhabenen und ausgehöhlten Kugelspiegel durch Versuch erwiesen und auch theoretisch erläutert.

Ehe aber die schwierige Aufgabe der von Kugelspiegeln entworfenene Bilder in Angriff genommen wird, muss noch, was

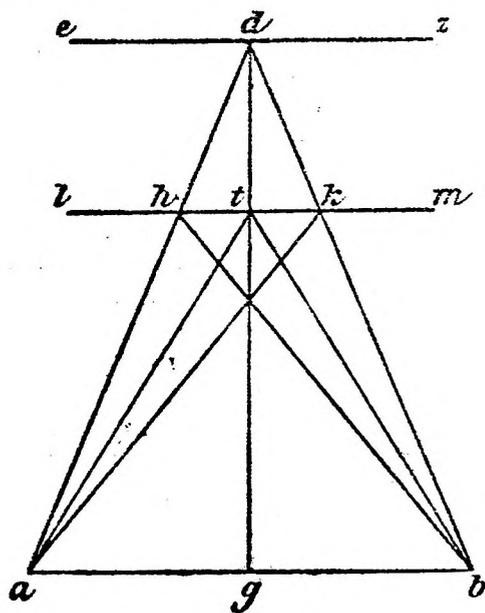
¹ P. hat eine leicht abgeänderte Fassung, wegen der Ausfluss-Theorie.

² Man sieht dann zweiäugig ein Cyklopen-Auge über der Nasenwurzel, und daneben noch einäugig sein rechtes Auge mit dem rechten und sein linkes mit dem linken.

³ Gelahrter ausgedrückt, sie sind reciprok. *Radii visus refracti* (geknickt) *sunt ad invicem*.

im 2. Buch ausgelassen ward, der scheinbare Ort des mit beiden Augen betrachteten Gegenstandes allgemein erörtert werden.¹

Wenn a und b (Figur 2) die Spitzen der beiden Sehstrahlpyramiden sind, so wird der Schnittpunkt d der beiden Pyramiden-Achsen einfach gesehen



Figur 2.

und an seinem Ort, und ebenso jeder Punkt der (kleinen) Geraden edz . Aber von der Geraden htk wird t doppelt gesehen, von dem in b befindlichen Auge (in der Richtung) nach h verschoben, von dem in a befindlichen Auge (in der Richtung) nach k verschoben.

Zwei Punkte, welche durch symmetrische Strahlen der beiden Augen gesehen werden, erscheinen in einem Punkte. Ein

Punkt, der nicht durch symmetrische Strahlen beider Augen gesehen wird, erscheint an zwei Orten. Ein Gegenstand in d erscheint uns in der Richtung gd , das ist die gemeinschaftliche Achse zwischen den beiden Pyramiden-Spitzen². Im Centralorgan sind die beiden Pyramiden-Achsen verbunden (*utriusque axes ... conjuncti a principio*).

Aber die Auseinandersetzungen über die Bilder der gekrümmten Spiegel wollen wir übergehen, da der Grieche zu einer befriedigenden Lösung dieser Aufgabe nicht gelangt ist.

Im 5. Buch wird die Lichtbrechung abgehandelt. Zuerst die Thatsache, durch Versuch mittelst der Münze im Gefäss, die erst nach dem Zugiessen von Wasser sichtbar wird. Die Messung wird mit einer halb in Wasser getauchten, ehernen Platte gemacht, auf der ein Kreis gezogen, in 4 Quadranten getheilt ist, und diese wieder in je 90 Theile, — genau so, wie es uns noch im Gymnasium gezeigt wurde! Bei senkrechtem Lichteinfall findet keine Brechung statt. In allen übrigen Fällen findet Brechung statt, stets ist der Einfallswinkel e (des Strahles in Luft, mit dem Loth,) grösser, als der Brechungswinkel b (des

¹ Dies scheint mir nächst der Bestimmung der Brechungswinkel der wichtigste Theil des Werkes zu sein.

² Fixationslinie des imaginären Cyklopen-Auges, HELMHOLTZ, Phys. Opt. II. Auflage, S. 756.

Strahles in Wasser, mit dem Loth). Ist $e = 10^\circ$, so wird $b = 8^\circ$; ist $e = 20^\circ$, wird $b = 15\frac{1}{2}^\circ$ u. s. w.

Eine merkliche Verschiedenheit (in Beziehung auf Dichtigkeit) zwischen den verschiedenen Arten des Wassers konnte nicht gefunden werden. (Die Genauigkeit der Versuche ist zu loben.)

Um den Uebergang des Lichtes aus dem dichteren in das dünnere Mittel zu messen, wurde aus reinem Glas ein Halbcylinder gefertigt, mit einem Durchmesser des Halbkreises¹, der nur wenig kleiner, als der des Messkreises; und die Mittelpunkte, Hauptdurchmesser und Peripherie beider aneinander gelegt: und nun die Versuche wiederholt. Bei senkrechtem Lichteinfall findet wieder keine Brechung statt; bei schrägem ist der Winkel des Strahles im Glas mit dem Loth kleiner, als der des Strahles in Luft mit dem Loth. Die Unterschiede sind jetzt grösser, als bei dem vorigen Versuch; denn es entsprechen sich

$$7^\circ \quad \text{und} \quad 10^\circ,$$

$$13\frac{1}{2}^\circ \quad \text{und} \quad 20^\circ \quad \text{u. s. f.}$$

Schliesslich wurde der Uebergang des Strahles von Glas in Wasser, zwischen denen der Unterschied der Dichtigkeit geringer ist, als zwischen Glas und Luft, gemessen durch Vereinigung der Anordnung 1 und 2. Es wurden gefunden

$$9\frac{1}{2}^\circ \quad \text{und} \quad 10^\circ,$$

$$18\frac{1}{2}^\circ \quad \text{und} \quad 20^\circ \quad \text{u. s. f.}$$

Auch an der Grenzfläche zwischen Luft und Aether findet Lichtbrechung statt. Die stets sichtbaren Gestirne haben einen geringeren Abstand vom Nordpol, wenn sie in der Mittagslinie nahe dem Horizont sind. Ist der Stern im Zenith, so findet keine Strahlenbrechung statt.

Beim Uebergang in ein dichteres Mittel wird immer der Strahl nach dem Loth zu, umgekehrt beim Uebergang von einem dichteren Mittel in ein dünneres vom Loth abgelenkt. Der Unterschied ist um so grösser, je grösser der Einfallswinkel, und je grösser der Unterschied zwischen den beiden Mitteln.

Ist die Grenzfläche eben, so kann der gebrochene Strahl im zweiten Mittel (mag dieses dichter oder dünner sein, als das erste,) nicht mit dem verlängerten Loth vom Augenpunkt auf die Grenzfläche sich schneiden. Ist aber die Grenzfläche kuglig,

¹ Es ist wunderbar, dass PTOLEMAEUS nicht die Vergrösserungslinse erfunden! Wahrscheinlich waren die Vorrichtungen zum Schleifen des Glases ungenügend.

so kann der gebrochene Strahl im zweiten Mittel, wenn dieses dichter ist, mit dem verlängerten Loth vom Augenpunkt auf die Grenzfläche sich schneiden.

An den Gestirnen wird die Abweichung durch Brechung schwer erkannt, weil der Unterschied zwischen Aether und Luft gering ist. Schwer ist es auch, Unterschiede zu erkennen, wenn man das Auge unter Wasser öffnet. Deshalb ist es am besten, das Auge in ein dünneres Mittel zu stellen, und den Gegenstand in ein dichteres. Man nimmt drei Körper aus Glas, einen Würfel, einen Cylinder und einen Hohlcylinder, der in einen Würfel eingeschliffen ist.

Ein in Wasser befindlicher Punkt 1 wird da gesehen, wo das von ihm auf die Grenzebene gefällte Loth den in das Wasser hinein verlängerten Einfallstrahl trifft, also in kleinerem Abstand, als dem wahren; und ein in Wasser auf dem gebrochenen Strahl merklich ferner liegender Punkt 2 wird nicht bloss ferner als 1 gesehen werden, sondern auch im Verhältniss von $\overline{2b} : \overline{1b}$ ferner.¹ Ist das Auge in einem dichteren Mittel, so wird der scheinbare Abstand des durch Brechung gesehenen Punktes grösser sein, als der wahre.

Es folgt auch leicht, dass ein in Wasser gesehener Gegenstand grösser erscheint; und ein in einem dünneren Mittel, als das Auge, befindlicher kleiner. Die Gestalt bleibt ähnlich, wird aber doch gesetzmässig abgeändert.

Mit einer Betrachtung über die Brechung bei kugliger Grenzfläche bricht das Buch ab, — bei weitem das wissenschaftlichste und wichtigste über Optik, das uns vom griechischen Alterthum überliefert ist, — ein Werk, dessen unvollständige Erhaltung der Freund der Wissenschaft beklagen muss.

Trotz der drei Mängel, dass 1. PTOLEMAEUS die Sehstrahlung vom Auge ausgehen lässt; dass er 2. die allgemeine und richtige Lösung der die Kugelspiegel betreffenden Bilder nicht gefunden; dass er 3. aus seinen leidlich richtigen Messungen der Brechungswinkel das Brechungsgesetz nicht abzuleiten vermochte, ist doch sein Werk als eine hochbedeutende Leistung des menschlichen Scharfsinnes zu bezeichnen.

Nach PTOLEMAEUS folgt ein fast tausendjähriger Stillstand der Forschung, bis die Araber die Neubearbeitung der Optik übernehmen. Ueber die optische Unwissenheit der Römer zu reden, verlohnt nicht der Mühe.

¹ Wenn b Schnittpunkt zwischen einfallendem Strahl und Lothlinie.

Anhangsweise wollen wir die berühmte Frage erörtern, warum der Mond nahe dem Horizont grösser erscheint, als nahe dem Scheitelpunkt des Himmels, — eine Frage, die ja auch in der II. Auflage von HELMHOLTZ' *Physiol. Optik* (S. 774) gründlich erörtert wird, aber nicht mit völliger Genauigkeit in geschichtlicher Hinsicht.¹

PTOLEMAEUS hat zwei verschiedene Vermuthungen aufgestellt. Im *Almagest* wird als Ursache der Vergrößerung der Gestirne in der Nähe des Horizontes die Brechung der Strahlen durch die Dünste angegeben.

In seiner *Optik* hingegen heisst es: *Quae sunt prope horizontem videntur diverso modo secundum consuetudinem; res autem sublimes videntur parvae extra consuetudinem, et cum difficultate actionis.*

Eine dritte Ansicht ist die, dass die Phantasie die Gestirne im Horizont, wegen der Menge der dazwischen gelegenen Gegenstände, in grössere Entfernung setze, als wenn sie im Zenith stehen; und so müsse, da der Sehwinkel in beiden Fällen derselbe bleibt, der Durchmesser im Horizont grösser erscheinen: diese Ansicht gehört allein dem ALHAZEN an.

5. DAMIANOS' Schrift über Optik. Mit Auszügen aus Geminus griechisch und deutsch herausgegeben von RICHARD SCHÖNE, Berlin 1897. (*Δαμιανοῦ φιλοσόφου τοῦ Ἡλιοδώρου Λαρισσαίου κερφάλεια τῶν ὀπτικῶν.*)

Ueber die Lebenszeit des Verf. wissen wir nichts, GOVI hält ihn für einen jüngeren Zeitgenossen des von ihm selber citirten PTOLEMAEUS,² während TANNERY ihn wohl richtiger für einen Zeitgenossen des Mathematikers PROKLOS (415—485 n. Chr.) ausgiebt.³

Obwohl die Schrift nur kurz ist und nicht bloss den bekannten Fehler der griechischen Optiker gegen die Physiologie, sondern auch einen sehr groben gegen die Geometrie enthält; so ist sie doch immerhin von Wichtigkeit, da sie namentlich eine bedeutsame Messung des PTOLEMAEUS, die älteste über die Aus-

¹ WILDE ist hier genauer, als PRIESTLEY.

² EUKLID, HERON, PTOLEMAEUS, die drei namhaftesten Optiker der Griechen, lebten zu Alexandrien in Aegypten. Das giebt denn doch zu denken. Die Befruchtung des griechischen Geistes durch die uralte Wissenschaft der sogenannten Barbaren dürfte vielleicht grösser gewesen sein, als man gemeinhin anzunehmen geneigt ist.

³ Ich meine, dass er längere Zeit nach PTOLEMAEUS gelebt hat, denn er selber sagt c. 12: *καὶ λέγειν ἔθος τοῖς παλαιοῖς.* So redeten nur die späteren Griechen.

dehnung des Gesichtsfeldes¹, die leider mit dem ersten Buch des PTOLEMAEUS uns verloren gegangen, aufbewahrt hat; und ferner ein gleichfalls in der Urschrift für uns verlorenes Theorem des berühmten HERON von Alexandrien, dass das Licht bei der Spiegelung den kürzesten Weg einschlägt, der zwischen Gegenstand, Spiegel und Auge möglich ist.

DAMIAN beginnt mit den folgenden Grundsätzen und Voraussetzungen.²

ὅτι προβολῆς τινος ἀφ' ἡμῶν
γινομένης ἐπιβάλλομεν τοῖς ὁρωμέ-
νοις.

Dass wir vermöge einer von uns ausgehenden Ausstrahlung (Projektion) die Gegenstände treffen, die wir sehen.

ὅτι τοῦτο τὸ προβαλλόμενον ἀφ'
ἡμῶν φῶς ἐστίν.

Dass das, was von uns ausstrahlt, Licht ist.

ὅτι τὸ προβαλλόμενον φῶς ἐπ'
εὐθείας φέρεται.

Dass das ausstrahlende Licht in gerader Linie sich bewegt.

ὅτι καὶ ἐν σχήματι κωνικῶ.

Und zwar in Gestalt eines Kegels.

ὅτι καὶ ἐν ὀρθογωνίῳ φέρεται
τῷ κώνῳ.

Und dass rechtwinklig der der Kegel ist, in dem es sich bewegt.

ὅτι ὁ τῆς ὕψεως κώνος οὐκ ἐστὶ
πλήρης ὁμοίου φωτός.

Dass der Sehstrahlenkegel nicht gleichmässig von Licht erfüllt ist.

ὅτι τὰ ὁρώμενα καθ' ὀρθῆς ἢ
κατ' ὀξείας ὁρᾶται γωνίας.

Dass wir die Gegenstände, die wir sehen, nur unter rechten oder spitzen Winkeln sehen.

διὰ τί τὰ ὑπὸ μείζονος γωνίας
ὁρώμενα μείζονα φαίνεται.

8. Weshalb die Dinge, die unter einem grösseren Winkel gesehen werden, grösser erscheinen.

ὅτι τῷ περὶ τὸν ἄξονα τοῦ κώνου
φωτὶ μάλιστα καθορῶμεν.

9. Dass wir hauptsächlich mit dem axialen Theil der Lichtstrahlung des Kegels genau sehen.

¹ Vgl. HIRSCHBERG, *Centralbl. f. A.* 1890, S. 350.

² Die Uebersetzung von R. SCHÖNE ist so vortrefflich, dass ich einige Male von meinem Grundsatz, eigene Uebersetzungen zu liefern, abgehen musste.

ὅτι ἡ ὀπτικὴ δύναμις πρὸς τὰ ἔμπροσθεν μάλιστα πέφυκεν ἐνεργεῖν.

ὅτι ἡ τοῦ τῆς ὀψεως κώνου κορυφὴ ἐντὸς ἐστὶ τῆς κόρης καὶ κέντρον ἐστὶν σφαιράρας, εἶπερ¹ τεταρτημόριον ἀποτείνεται ὁ κύκλος τῆς κόρης.

ὅτι τὰ ὁρώμενα ἴτοι καθ' ἰσχυράνειαν ὁρᾶται ἢ κατὰ ἀνάκλασιν ἢ κατὰ διάκλασιν τῆς ὀψεως τῆς ἡμετέρας.

περὶ τῆς πρὸς τὸν ἥλιον ὁμοιότητος τῆς ἡμετέρας ὀψεως.

ὅτι κλωμένη ἡ ἡμετέρα ὀψις ἴσας ποιεῖ γωνίας τὰς πρὸς ὃ κλᾶται· ὁμοίως δὲ καὶ αἱ ἀκτῖνες τοῦ ἡλίου.

Von der weiteren Ausführung dieser Sätze, welche das Schriftchen enthält, wollen wir nur einiges Wenige hervorheben.

3. Dass das, was wir von uns nach aussen projeciren und Sehstrahlung nennen, geradlinig sich fortpflanzt und zwar in Gestalt eines rechtwinkligen Kegels, hat auch schon der berühmte PTOLEMAEUS durch Instrumente (d. h. durch Experimente) bewiesen in seinem Lehrbuch der Optik.²

5. Vom Himmel, der eine Kugeloberfläche darstellt, überschauen wir auf einmal (ohne Bewegung des Blicks) den vierten Theil, und auch vom Horizont, der eine Kreislinie darstellt, sehen

¹ Ich möchte ἤσ lesen.

² "Ὅτι δὲ τὸ προβαλλόμενον τοῦτο ἀφ' ἡμῶν, ὃ δὴ καὶ ὄψιν ἔθος καλεῖν, ἐπ' εὐθείας τε φέρεται καὶ ἐν σχήματι κώνου ὀρθογωνίου, καὶ ὁ Πτολεμαῖος δι' ὀργάνων ἀπέδειξεν ἐν τῇ αὐτοῦ ὀπτικῇ πραγματείᾳ."

10. Dass die Sehkraft von Natur hauptsächlich nach vorn wirkt.

11. Dass die Spitze des Sehstrahlenkegels weiter nach innen (im Auge) liegt, als die Pupille, und den Mittelpunkt jener Kugeloberfläche darstellt, von der der Pupillen-Umkreis $\frac{1}{4}$ abschneidet.

12. Dass wir die sichtbaren Gegenstände sehen entweder mit geradliniger Ausbreitung unsrer Sehstrahlung oder mit Zurückwerfung oder mit Brechung derselben.

13. Ueber die Verwandtschaft unsres Sehorgans mit der Sonne.

14. Dass bei der Reflexion unsre Sehstrahlen gleiche Winkel mit der reflektirenden Fläche bilden. Dasselbe gilt von den Sonnenstrahlen.

wir gleichzeitig den nämlichen Theil, d. h. $\frac{1}{4}$. . . Dies wäre nicht möglich, wenn nicht der der Sehstrahlenkegel ein rechtwinkliger wäre.

Bald überschauen wir die sichtbaren Gegenstände in ihrer Gesammtheit, bald sehen wir (etwas) mit möglichster Genauigkeit. [Die Ausdehnung des Gesichtsfeldes wird der Schärfe des centralen Sehens gegenübergestellt.]

Mit den axialen Strahlen sehen wir am schärfsten. Wenn wir etwas genau sehen wollen, richten wir immer die Mitte der Grundfläche des Sehstrahlkegels auf den zu sehenden Gegenstand.

Die Sehkraft hat ihre grösste Kraft gerade nach vorn, nach den Seiten zu ist sie von Natur nicht in gleicher Weise entwickelt.

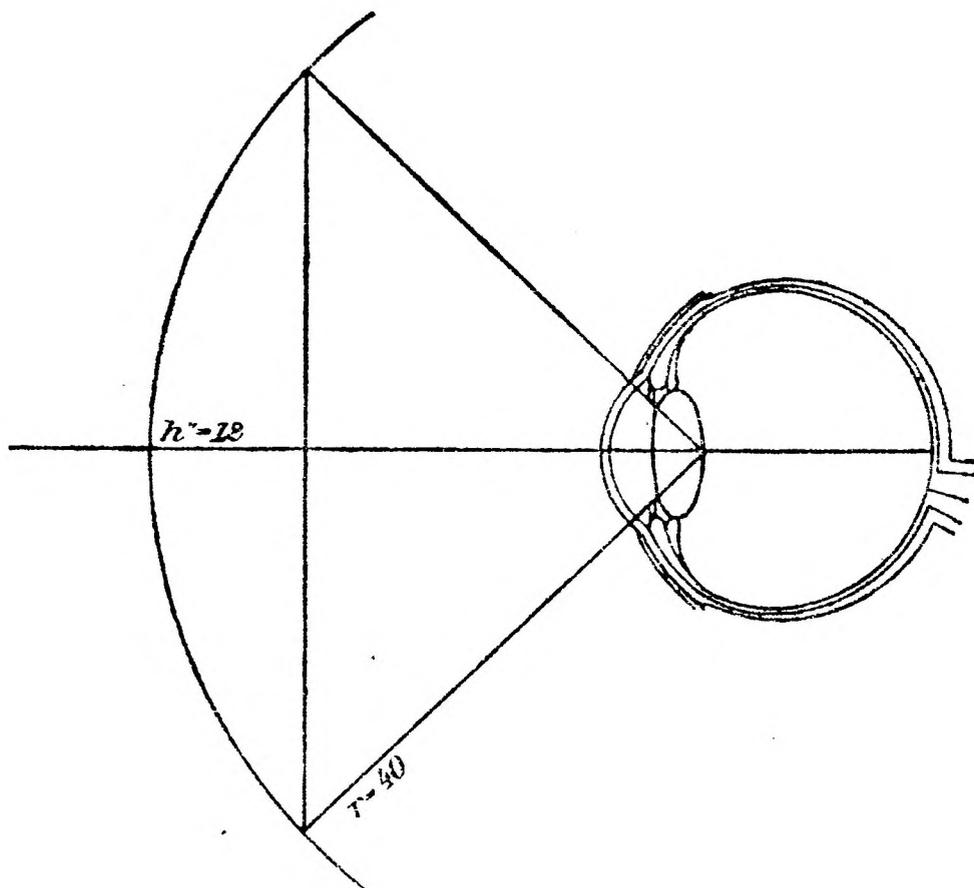
11. Es ist klar, dass die Spitze des Sehstrahlenkegels nicht auf der Pupillenfläche des Auges sich befindet. Denn sonst würden wir gewiss nicht von jedem Punkt der Pupillenfläche aus sehen. Vielmehr befindet sich die Kegelspitze weiter nach innen und mehr in der Tiefe des Auges. Die erste und kleinste Grundfläche des Kegels ist die Kreisfläche, deren Grenze die Umkreislinie der Pupille. Denn die Pupille selber ist keine Kreisebene, sondern eine (krumme) Fläche (vom Werth) des Viertels einer Kugeloberfläche, insofern ja der Sehstrahlenkegel, wie wir nachgewiesen, rechtwinklig ist.¹

Was DAMIANOS sich vorstellt, ist einleuchtend, da er es klar ausdrückt, allerdings kurz und in streng mathematischen Worten. Aber seine geometrische Rechnung ist ganz falsch, da er wohl Planimetrie, aber nicht Stereometrie versteht, trotzdem er aus EUKLID'S Elementen, wie auch aus des ARCHIMEDES Schrift von der Kugel und vom Cylinder Sätze anführt, und mit Benutzung dieser Schriften den Fehler hätte vermeiden können. DAMIANOS sagt also Folgendes:

1. Die Spitze des Sehstrahlenkegels liegt hinter der Pupillenfläche.

¹ δῆλον δὲ ὅτι ἡ τοῦ τῆς ὀψεως κώνου κορυφή οὐκ ἔστιν ἐπὶ τῆς τοῦ ὀφθαλμοῦ κόρης· οὐ γὰρ ἂν ποτε ἀπὸ παντὸς μέρους τῆς κόρης ἐωρῶμεν· ἀλλ' ἔστιν ἐντὸς καὶ ἐν τῷ τοῦ ὀφθαλμοῦ βάθει. βάσις δὲ ἔστιν ἡ τοῦ κώνου ἡ πρώτη καὶ ἐλαχίστη ὁ κύκλος, οὗ πέρασ ἔστιν ἡ τὴν κόρην περιγράφουσα περιφέρεια. αὐτὴ γάρ τοι ἡ κόρη οὐ κύκλος, ἀλλὰ τεταρτημορίου σφαιρας ἔστιν ἐπιφάνεια, εἴπερ γε ὀρθογώνιος ἔστιν ὁ τῆς ὀψεως κώνος, ὡς ἐδείξαμεν.

Das ist ganz richtig. Der Knotenpunkt des Auges liegt ungefähr 3,6 mm hinter dem Mittelpunkt des Pupillenkreises.



Figur 3.

2. Der rechtwinklige Kegel der Sehstrahlung schneidet von der Kugelfläche, welche der Pupillenkreis umgrenzt, und ebenso, weiter fortgesetzt, von der Kugelfläche des Himmels den vierten Theil aus.

Das ist falsch.

Die Oberfläche O der Kugel ist gleich $4 r^2 \pi$
also $\frac{1}{4} O = r^2 \pi$.

Die Grösse einer Kugelhaube H ist $2 r \pi h$.

$$h' = \frac{r}{2} \text{ bedingt } H' = r^2 \pi = \frac{1}{4} O.$$

h'' für den vom Mittelpunkt der Kugel bis zu ihrer Oberfläche fortgesetzten rechtwinkligen Kegel ist fast gleich $\frac{r}{3}$; folglich ist für diesen Fall

$$H'' \text{ fast gleich } \frac{1}{6} O. \left[h'' = r \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = 0,3 \cdot r. \right]$$

Es ist merkwürdig, dass dieser Fehler bisher übersehen worden, sogar von einem ARAGO und HANKEL.

Es heisst in ARAGO's Astronomie I, 145, bzw. in der genau damit übereinstimmenden Uebersetzung von HANKEL, I, 122:

„PTOLEMAEUS behauptete, durch Versuche gefunden zu haben, dass das Sehfeld, d. h. der Raum, den das unbewegte Auge gleichzeitig übersieht, durch einen rechtwinkligen Kegel begrenzt wird, nämlich durch einen Kegel, dessen Scheitel in¹ der Pupille liegt, und dessen diametral gegenüberstehende Seiten aufeinander senkrecht sind. Diese Angabe hat uns HELIODOR aus Larissa überliefert, denn das erste Buch der Optik des PTOLEMAEUS ist nicht mehr vorhanden. Die neueren Schriftsteller haben diese Behauptung zur ihrigen gemacht. Es folgt daraus, dass man, um einem Blick Horizont und Zenith zu übersehen, die Augenachse auf 45° Höhe richten muss, und dass man niemals, ohne das Auge zu drehen, mehr als den 4. Theil des Himmelsgewölbes (surface du ciel, im Original) gleichzeitig übersehen kann.“

In dieser Form wird die Gesichtsfeldmessung des PTOLEMAEUS in ärztlichen Schriften citirt, z. B. von LANDOLT, in WECKER u. L., I, 611.

14. Bewiesen hat der Mechaniker HERON in seiner Katoptrik, dass die unter gleichen Winkeln geknickte Gerade (zwischen Auge, Spiegel und Lichtpunkt) stets die kleinste Länge hat gegenüber allen unter ungleichen Winkeln geknickten Geraden.

Der griechische Text² ist nur scheinbar unklar; er stimmt mit dem genaueren und ausführlichen (oben angeführten) der lateinisch erhaltenen Schrift Ptolemei de speculis (Anecdota graecolatina, ed. V. ROSE, II, 320), die wohl mit Recht als HERON'S Katoptrik anzusehen ist.

Zum Schluss lesen wir, dass nach dem vorliegenden Text auch die Lichtbrechung unter gleichen Winkeln geschehen soll: *ὁμοίως δὲ δειχθήσεται ὅτι καὶ ἡ διάκλασις τῆς ὀψεως τῆς ἡμετέρας πρὸς ἴσας ἐπιτελεῖται γωνίας*. Herr R. SCHÖNE bemerkt, dass dieser wunderliche Irrthum keineswegs dem HERON

¹ ARAGO hat noch eine kleine Ungenauigkeit: un cône ayant son sommet à la pupille.

² *ἀπέδειξε γὰρ ὁ μηχανικὸς Ἡρων ἐν τοῖς αὐτοῦ κατοπτρικοῖς, ὅτι αἱ πρὸς ἴσας γωνίας κλωμέναι εὐθεῖαι ἐλάχισται εἰσι τῶν μέσων* (ein Minimum darstellen im Vergleich zu den mittleren) *τῶν ἀπὸ τῆς αὐτῆς καὶ ὁμοιομεροῦς* (homogenen) *γραμμῆς πρὸς τα αὐτὰ κλωμένων πρὸς ἀνίσους γωνίας*.

zuzutrauen sei. Ich vermuthe, nicht einmal dem DAMIAN, sondern — einem Abschreiber, der das Obige schrieb für ἴσως πρὸς ὁμοίας. Denn so drückt sich auch PTOLEMAEUS über die Lichtbrechung aus: quod nulla fit in eis flexio ad aequales angulos, sed habent similitudinem quandam et quantitatem, quae sequitur habitudinem perpendicularium.

6. GALEN¹ muss zu den Schriftstellern über physiologische Optik gerechnet werden. Im X. Buch seiner Schrift vom Nutzen der Theile des menschlichen Körpers² spricht er in seiner ausführlichen³, rednerischen Art, leider mit zu starker Betonung des teleologischen Standpunkts, über Anatomie und Physiologie des Sehorgans. Folgendes ist in aller Kürze der Hauptinhalt seiner Auseinandersetzung.⁴

Die Sinnesorgane sind zwiefach angelegt⁵ und mit einander verwachsen. Aus dem Gehirn kommt jederseits ein Nerv hervor, gelangt zum Auge, geht über eine dünne (Netz-)Haut, welche den Glaskörper umgiebt und (schliesslich am Rande) der Krystall-Feuchtigkeit⁶ anwächst. Die Krystall-Feuchtigkeit ist das Hauptorgan des Sehens.⁷ So vermag das Gehirn die Affekte der

¹ Geb. 131 n. Chr. zu Pergamos, lebte dort, in Alexandrien, in Rom und starb 210 n. Chr. Es ist hier nicht der Ort, von seiner Bedeutung zu sprechen. Der heutige Arzt hat die Begriffe und Worte, mit denen er operirt, von GALENUS. GALEN spricht auch ganz klar von den eigenartigen Reizmitteln der verschiedenen Sinnesorgane. (Vom Nutzen der Theile VIII, c. 6, Ausg. v. KÜHN, Band III, S. 641 u. 769.)

² Ausgabe von KÜHN, Band III, S. 759—841. Leider ist der Text recht verdorben. Von der kritischen Ausgabe von MARQUARDT, IWAN MÜLLER, HELMREICH sind erst 3 Bändchen, welche die kleineren Schriften enthalten, erschienen. Möchte dies wichtige Werk recht bald zum Abschluss gelangen!

Vgl. Oeuvres de GALIEN par DAREMBERG (II B.), Paris 1854.

³ Unser Gelehrter von WILLAMOWITZ-MÖLLENDORFF nennt ihn (im Isyll) einen Seichbeutel.

⁴ Vgl. auch die unter meiner Aufsicht angefertigte Dissert. von OTTO KATZ (Berlin 1890), Ueber die Augenheilk. des GALEN, I. Ueber Anatomie und Physiologie des Sehorgans. (124 S.) Enthält den (einigermaassen verbesserten) griechischen Text des X. Buches der Schrift und die deutsche Uebersetzung.

⁵ διφυῆ καὶ συμφυῆ γίνεσθαι τὰ τῶν αἰσθησέων ὄργανα. Ich lernte als Student auf deutscher Universität: Das Sehorgan ist bilateral-symmetrisch.

⁶ Das Wort Linse ist den Alten fremd, — weil sie keine geschliffenen Glaslinsen kannten.

⁷ αὐτὸ τὸ κρυσταλλοειδὲς ὑγρὸν τὸ πρῶτόν ἐστιν ὄργανον τῆς ὄψεως.

Krystalllinse zu erkennen.¹ Der Sehnerv ist für die Affekte des Krystalls ein guter Bote zum Gehirn.²

Durch seine reine Durchsichtigkeit ist der „Krystall“ befähigt, von den Farben verändert zu werden. Ernährt wird der Krystall von der Glasfeuchtigkeit und diese von der Netzhaut, beide Feuchtigkeiten gefässlos, durch Endosmose.³ Durch die harte, aber durchsichtige Hornhaut wird das Innere geschützt, und der Lichtstrahl doch durchgelassen. Zwischen Hornhaut und Krystall liegt der mit Pigment geschwärzte, von dem Sehloch durchbohrte Fortsatz der Aderhaut, die beerenartige Haut⁴, um die Zerstreung des Lichtes zu verhindern, und den Krystall mehr zu beschatten. Durch das Sehloch wird die Begegnung und Mischung der äusseren Lichtstrahlen mit den aus dem Innern kommenden ermöglicht.⁵ Zwischen Hornhaut und Krystall ist Feuchtigkeit, in der Pupille Luft⁶ (!).

Die vordere Hälfte des Krystalls ist mit einem Häutchen überzogen, feiner und durchsichtiger als Spinnweben, die hintere ist nackt.⁷ Auf der ersteren entsteht auch das bekannte Bild des Püppchens, wie in einem Spiegel.⁸

Zum Schluss kommt GALEN auf die Theorie des Sehens. Diese wollte er zuerst ganz auslassen, da er hierbei die Mathematik berühren musste, die den Meisten von denen, welche sich für gebildet ausgeben, ganz unbekannt ist, so dass sie sogar

¹ Das steht, worauf hier verwiesen wird, schon an einer früheren Stelle der nämlichen Schrift, nämlich B. VIII, c. 6, S. 642: ἄπεινε γοῦν τι ἑαυτοῦ μέρος ὁ ἐγκέφαλος ἐπὶ τὸ κρυσταλλοειδὲς ὑγρὸν ἕνεκα τῆς γνώσεως τῶν κατ' αὐτὸ παθημάτων.

² ἢ ἄνωθεν ἀπόφυσις . . . δύναται τῶν κατ' αὐτὸ (το κρυσταλλοειδὲς) παθημάτων ἄγγελος ἀγαθὸς ἐγκεφάλῳ γίνεσθαι.

³ διάδοσις.

⁴ Unsere Regenbogenhaut. Bei GALEN ist ἴρις die Ciliarkörpergegend.

⁵ ἢ τῆς ἑνθὸν ἀύγης πρὸς τὴν ἔξω κοινωνία καὶ κρᾶσις γίνεται.

⁶ Mit Leichtigkeit, wie in einem Märchen, setzt sich der Grieche über die Naturgesetze hinweg, wenn nur die Darstellung geordnet scheint. Die Luft (πνεῦμα) ist ihm dasselbe, wie die vom Hirn kommende Innervation, auch nach dem Wortlaut.

⁷ In der That ist die vordere Hälfte der Linsen-Kapsel bis 0,018 mm dick; die hintere misst nur 0,005.

⁸ das ja allerdings wirklich an der Hornhaut gespiegelt wird! καὶ δὴ καὶ τὸ τῆς κόρης εἶδωλον οἶον ἐν κατόπτρῳ τινὶ τούτῳ συνίσταται. DAHREMBERG übersetzt „et fixe l'image de la pupille“. Das scheint mir nicht richtig.

die darin Kundigen vermeiden und verabscheuen.¹ Aber ein Traum zwang ihn, das Werk nicht unvollendet zu lassen.

Die beiden Sinnesnerven, welche zu den beiden Augen gehen und am deutlichsten von allen Nerven den Kanal der Innervation erkennen lassen², entstehen an getrennten Stellen des Hirns, nähern sich dann einander, vereinigen sich³ und gehen wieder auseinander. Sie überkreuzen sich dabei nicht, sondern vereinigen nur ihre Kanäle.

Die Sehstrahlung ist nun ein geradliniger Kegel, dessen Spitze die Pupille⁴, dessen Grundfläche der Sehkreis. Jeder Gegenstand wird in gerader Linie gesehen. Nichts wird für sich allein gesehen, ohne die Umgebung. Ein Gegenstand, der von dem rechten Auge allein gesehen wird, wenn er näher liegt, wird mehr nach links zu gesehen; wenn er ferner liegt, mehr nach rechts zu. Das entsprechende gilt für das linke Auge. Ein einfach gesehener Punkt erscheint doppelt, wenn die Pupille, durch Druck gegen das Auge, nach oben oder nach unten verschoben wird. Obwohl GALEN auch dies, wie das vorige, durch Versuche beweist; so irrt er sich, der Theorie zu Liebe, indem er bei nach unten verschobener Pupille das Nebenbild nach unten versetzt.

Die Achsen der Sehkegel liegen in derselben Ebene. Sie nehmen ihren Anfang von den Kanälen, die vom Hirn her kommen.

Zwei Gerade, die sich in einem Punkte schneiden, liegen in einer Ebene, nach EUKLID, IX. Auf diesen Geraden liegen auch die Pupillen(-Mitten). Das Gehirn nimmt alle Empfindungen auf. Die Nervenbahnen müssen an sich getrennt verlaufen. Der Hauptzweck der Vereinigung der beiden Sehnerven ist das Einfachsehen mit beiden Augen.

Wie man sieht, entbehrt die Darstellung der Folgerichtigkeit⁵, obwohl zahlreiche Einzelbemerkungen ganz interessant

¹ Obwohl ein Lehrer der Heilkunde ihm nachfühlen kann, so ist es doch geziert vom guten GALEN, da das Wenige, was er vom Kreis und Kegel schliesslich vorbringt, ebenso gut damals, wie heute, jedem gebildeten Jüngling bekannt sein müsste.

² Den mittleren Kanal mit der Schlagader!

³ Chiasma.

⁴ κορυφήν δὲ αὐτῶ νοεῖ τὴν κόρην. DAMIANUS ist genauer.

⁵ Und wir werden auch nicht klüger, wenn wir die andren gelegent-

sind. Bald wird angenommen, dass die lichtaussendenden Gegenstände den Krystall affiziren, dessen Aenderung durch die Netzhaut und den Sehnerven dem Hirn mitgetheilt wird. Bald wiederum fliesst die Innervation vom Hirn zum Auge und die Sehstrahlen von der Pupille zu den Gegenständen.

Wer zum Schluss noch einen hübschen Roman lesen will, nehme zur Hand meines leider kürzlich verstorbenen Freundes ANAGNOSTAKES *μελεται περί τῆς ὀπτικῆς τῶν ἀρχαίων, ἐν Ἀθήναις, 1878*, eine Schrift der schönsten Schreibart, des grössten Fleisses, natürlich auch der grössten Liebe für die alten Griechen, in der aber nicht eine Behauptung erweislich richtig ist.

NERO soll durch einen gefärbten, hohlgeschliffenen Smaragd in die Ferne geblickt haben, obwohl doch schon LESSING unwiderleglich nachgewiesen, dass hier nur von einem Spiegel die Rede ist.¹ Keiner der alten Aerzte, welche von der Kurzsichtigkeit handeln (von GALEN und Oribasius bis zu Aëtius und Paullus und bis zu Joannes im XIII. Jahrh. n. Chr.), erwähnt ein Mittel gegen diesen Zustand (der Kurzsichtigkeit), der unheilbar sei, weil er auf Schwäche der optischen Ausströmung oder Innervation beruhe².

Ein in den Ruinen von Tyrus gefundener halbkugliger Knopf aus Bergkrystall, den ich selber zu Athen gesehen, soll eine Vergrösserungslinse sein.³

GALEN soll gewusst haben, dass Bilder der leuchtenden Gegenstände auf der Nervenhaut entworfen werden, als deren Fortsetzung er allerdings die Linsenkapsel betrachtet habe, — in dem A. für τὸ τῆς κόρης εἶδωλον schlank liest διὰ τῆς κόρης εἶδωλον.

lichen Bemerkungen über den Sehakt in GALEN'S so zahlreichen Schriften zu Hilfe nehmen, z. B. von den Meinungen des HIPPOCRATES u. PLATO, VII, c. 5; Band VII, 618. Das hier Vorgetragene ist eine verfeinerte Fühlfaden-Theorie, indem der Sehstrahl vom Auge her die umgebende Luft ändert, — etwa wie heutzutage das Telegraphiren ohne Draht von einem Laien aufgefasst wird.

¹ Plin. n. hist. XXXVII, S. 84 (Ausg. v. SILLIG). — LESSING, Antiquar. Briefe, 45. — HIRSCHBERG, Einführung in die Augenheilk. 1892, S. 93.

Vgl. auch HIRSCH, S. 307, der irrthümlich sich auf die Seite von ANAGNOSTAKES stellt, und die richtige, gründliche Auseinandersetzung von MAGNUS, A. v. GRAEFE'S Arch. 23, 3, S. 37. (1877.)

² ὑπὸ ἀσθενείας γινόμενη τοῦ ὀπτικοῦ πνεύματος.

³ Allerdings hatte auch BREWSTER bezüglich eines Fundes aus den Ausgrabungen zu Ninive dieselbe Ansicht. ARAGO, Astron. I, 143 (deutsche Ausg.)

Die Akkommodation soll GALEN gekannt haben, weil er sagt, dass die Greise enge Pupillen besitzen.¹

GALEN soll die von JOHANNES MÜLLER entwickelte Lehre von den identischen Punkten des gemeinschaftlichen Sehfeldes, die bei zweiäugiger Betrachtung einfach erscheinen, gekannt haben, weil er von zusammengeordneten Sehstrahlen (*ὄψεις ὁμοταγεῖς*) spricht. Aber GALEN spricht daselbst (vom Nutzen der Theile, X, 12) ausdrücklich von dem Sehstrahlenkegel eines Auges, während das andre geschlossen ist, und nennt alle die Sehstrahlen, die gleich weit von der Achse des Kegels abstehen und dieselbe beliebige Ebene treffen, zusammengeordnet. Uebrigens ist gerade dieser Theil der physiologischen Optik, wie wir bei PTOLEMAEUS gesehen haben, den Alten einigermaassen bekannt gewesen. Und GALEN hat unzweifelhaft eine Vorstellung davon gehabt, dass die Vereinigung der beiden Sehnerven im Chiasma dem Einfachsehen diene.

Das Gesammtergebniss der geschichtlichen Untersuchung über die Optik der alten Griechen ist das folgende:

In der Lehre von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichts haben sie das Wesentliche richtig aufgefasst und die geradlinige Linearperspektive geometrisch richtig dargestellt. Das Gesetz von der Spiegelung des Lichtes war ihnen geläufig, aber die Construction der Bilder von Kugelspiegeln gelang ihnen nur für einzelne Fälle. Die Lichtbrechung haben sie durch brauchbare Versuche erforscht, aber die mathematische Gestaltung des Gesetzes nicht gefunden.

In der physiologischen Optik kannten sie solche Begriffe, wie Fixirpunkt und Gesichtsfeldausdehnung. Sie fanden schon mit einer gewissen Annäherung das Gesetz vom zweiäugigen Einfachsehen und Doppeltsehen. Ueber Gesichtstäuschungen machten sie gute Beobachtungen und gaben nicht üble Erklärungen.

Aber das Wesen unsres Sehaktes mit dem dioptrisch gebauten Auge musste ihnen verborgen bleiben und wurde erst, nach SNELLIUS-DESCARTES, durch KEPLER (und SCHEINER) klargelegt.

¹ Eine wirkliche Beschreibung der Akkommodation für die Nähe konnte A. bei LUCREZ finden (IV, 805—807).
