Alhazen.

Ein Beitrag zur Geschichte der Physik

von

Leopold Schnaase.

Mit Tafel IV.

Als Quellen für das Folgende dienten besonders:

Risner: Opticae Thesaurus Alhazeni Arabis.

Baarmann: Uebersetzung der Abhandlung Ibn al Haitams über das Licht (Zeitschrift der orientalischen Gesellschaft für 1882).

Wiedemann: „Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften bei den Arabern" in Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie.

W. von Bezold: „Beiträge zur Geschichte der physiologischen Optik". (Pogg. Annal. VIII. 1878).

Woepcke: „L'Algèbre d'Omar Alkhayyami. Paris 1851.

Wüstenfeld: „Geschichte arabischer Naturforscher und Aerzte" und „Die Uebersetzungen arabischer Werke in das Lateinische".

Sédillot: „Matériaux pour servir à l'histoire comparée des sciences mathématiques chez les Grecs et les Orientaux. Tome I. et II.

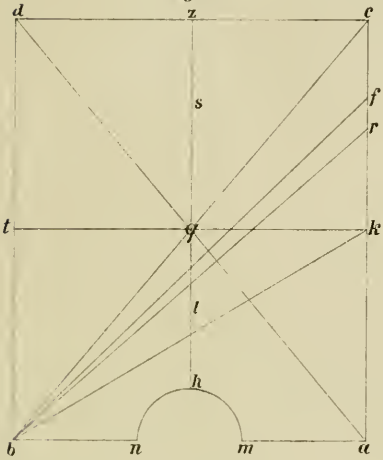
Cantor: „Vorlesungen über Geschichte der Mathematik". Band 1. 1880.

Im Jahre 1572 erschien zu Basel unter dem Titel Opticae Thesaurus von Risner neu herausgegeben die lateinische Uebersetzung eines arabischen Werkes, welches bereits vor mehr als einem halben Jahrtausend entstanden war und welches seit seinem Erscheinen einen sehr bedeutenden Einfluss auf die Entwicklung der Optik ausgeübt hatte. Als Verfasser des Werkes bezeichnete Risner den Araber Alhazen, ohne indes nähere Angaben über denselben zu machen. Da auch andere Quellen keine weiteren Mittheilungen über diesen Gelehrten enthielten, so blieb man lange im Unklaren, welcher Schriftsteller dieses Namens eigentlich der Verfasser der Optik gewesen sei, und erst in neuster Zeit ist es gelungen, das Dunkel zu lichten, welches seine Persönlichkeit umgab.

Alhazen, arabisch Al Hasan, ist im Mittelalter unter seinem weiteren Namen Ibn al Haitam bekannt gewesen. Während es nun eine ganze Reihe von Sprachgelehrten des Namens Al Hasan mit anderen Zunamen zu verschiedenen Zeiten unter den Arabern gegeben hat, führten von Naturforschern nur zwei den Namen Al Hasan ibn al Haitam, in deren einem man demnach den Verfasser des im Eingange genannten Werkes vermuten musste. Diese waren der Mediciner Abd el Rahman ben Ishak ben al Haitam, welcher Arzt in Cordova war und

Fig. 1.

Fig. 3.



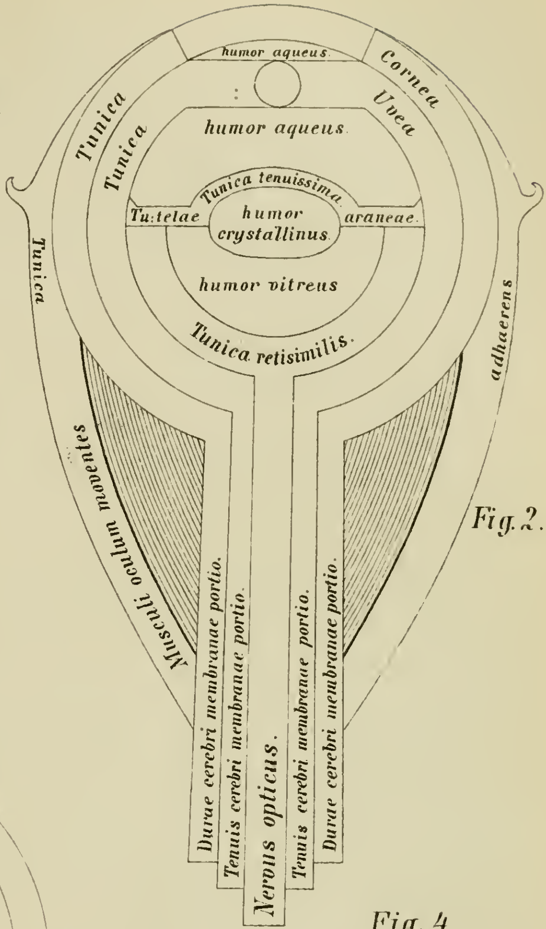


Fig. 2.

Fig. 6.

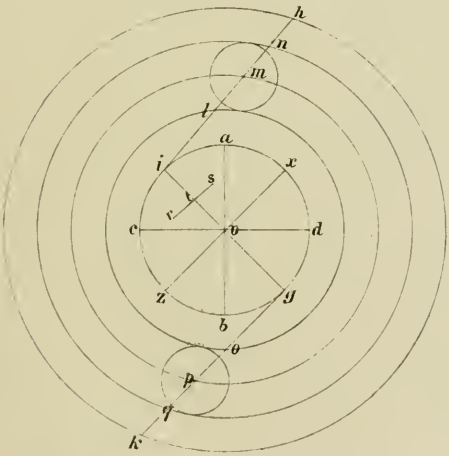


Fig. 4.

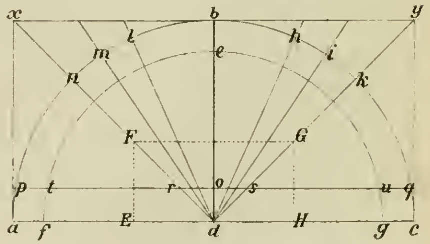


Fig. 5.

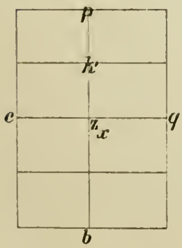


Fig. 8.

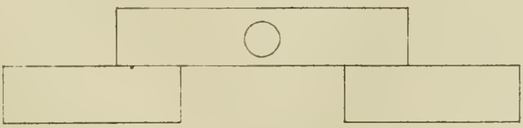
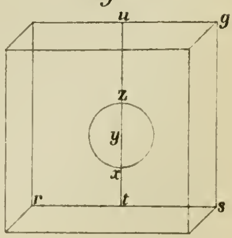


Fig. 7.



Lith. v. R. Emmendoerffer Danzig

wahrscheinlich in der zweiten Hälfte des 5ten Jahrhunderts der Hedschra lebte, und der Mathematiker Abu Ali Muhammed ben al Hasan ibn al Haitam al Basri, welcher im Jahre 1038 gestorben ist. Erst Wiedemann ist es gelungen, bei einem Besuche der Leydener Bibliothek die Frage endgültig zu lösen, welcher von beiden der Verfasser des Opticae Thesaurus gewesen ist, und durch seine Untersuchungen die Richtigkeit einer Vermutung zu bestätigen, welche bereits vor Jahrzehnten von Caussin ausgesprochen worden war. Er fand in dem dort befindlichen Codex 201 der Goliusschen Sammlung arabischer Handschriften das Original eines Commentars von Kamal ed-din Abul Hasan al Farisi zu einem grossen optischen Werke von Abu Ali al Hasan ibn al Haitam al Basri. Wie stets bei den arabischen Commentatoren, waren satz- oder capitelweise die Worte des behandelten Autors angeführt und dann besprochen. Eine Vergleichung der Worte des Hasan ibn al Haitam mit der Risnerschen Uebersetzung ergab fast vollkommene Uebereinstimmung und bewies, dass der berühmte Mathematiker auch der Verfasser des grossen optischen Werkes sei. Von diesem wissen wir, dass er im Jahre 354 der Hedschra zu Al-Basra geboren und erst im Mannesalter in Aegypten eingewandert ist. Hier wurde er nicht wegen seiner theoretisch-wissenschaftlichen Leistungen, sondern um praktischer Dinge willen von dem Khalifen Al-Hákim (996—1021) nach Cairo berufen. Er hatte nämlich geäussert, er halte es für leicht, die Ueberschwemmungen des Nils so zu regeln, dass sie unabhängig von den Witterungsverhältnissen würden. Diese Behauptung wahr zu machen, liess Al-Hâkim ihn kommen, ging ihm bis zur Vorstadt von Cairo entgegen und empfing ihn mit der grössten Auszeichnung. Ibn al Haitam zog hierauf mit zahlreichen Gefährten stromaufwärts bis zu den ersten Nilfällen bei Syene. Hier erkannte er, dass er zu voreilig gewesen und die Ausführung seines Planes unmöglich sei. Er musste sich bei dem Khalifen zu entschuldigen suchen, so gut es ging, und wurde nun mit der Besorgung anderer Staatsgeschäfte beauftragt. Als er sich auch hier wieder Fehler zu Schulden kommen liess, stellte er sich aus Furcht vor dem Zorne Al-Hâkims närrisch und verbarg sich. Erst nach der Ermordung des Khalifen kam er wieder zum Vorschein. Danach erhielt er auch sein eingezogenes Vermögen wieder zurück, schlug seinen Wohnsitz in der Nähe der Moschee Al Azhar auf und führte im übrigen ein frommes, Gott geweihtes Leben. Im Jahre 430 der Hedschra (1038 n. Chr.) ist er dann zu Cairo gestorben.

Während des grössten Teils seines Lebens ist Alhazen in zweifacher Weise thätig gewesen: Einerseits war er bestrebt, um nicht die Hilfe anderer in Anspruch nehmen zu dürfen, sich die zu seinem Lebensunterhalte nöthigen Mittel selbst zu erwerben, und zu diesem Zwecke schrieb er, wie berichtet wird, in jedem Jahre[1]) drei mathematische Werke ab, eine Arbeit, deren Erlös —

[1]) Man vergleiche über diesen Punkt Wüstenfeld: „Die Uebersetzungen arabischer Werke in das Lateinische" in den Abhandlungen der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. 1877.

150 aegyptische Dinare — ausreichte, um ihn für den gleichen Zeitraum vor Mangel zu schützen; andrerseits und zwar vorzugsweise widmete er seine Zeit ausgedehnten wissenschaftlichen Forschungen, deren Frucht die grosse, mehr als hundert betragende Anzahl von Werken gewesen ist, welche fast sämmtlich dem Gebiete der mathematischen Wissenschaften angehören, leider aber meistens nicht erhalten zu sein scheinen. Diese Schriften sind, soweit wir aus den von Ibn Usaibia angeführten Titeln schliessen können, zum Teil Bearbeitungen von Werken älterer, namentlich griechischer Mathematiker und Astronomen, geeignet die Kenntnis dieser zu verbreiten, zum Teil sind es selbstständige Arbeiten, bezweckend die Erweiterung mathematischer Wissenschaften.

In die erste Reihe haben wir zu rechnen Werke wie die Bearbeitungen der Arithmetik und Geometrie des Euklid und des Apollonius, der Kegelschnitte des letzteren, des Almagests des Ptolemaeus, der Optik des Euklid und des Ptolemaeus, sowie eine Schrift über das Universalinstrument, welche einen Auszug aus einer Arbeit des Ibrahim ben Henan bildet. In die zweite Reihe gehören weitaus die meisten der Werke Alhazens hinein, soweit wir über dieselben zu urteilen vermögen. Unter ihnen finden wir Schriften über die Kegelschnitte, über die Lösung geometrischer und arithmetischer Probleme, über die Teilung der Linie, über die Construction des dem Kreise eingeschriebenen Siebenecks, des dem Quadrate eingeschriebenen Fünfecks, über harmonische Zahlen, über Bestimmung der Seite des Cubus, über die Höhe der Dreiecke, über die Eigenschaften und über die Quadratur des Kreises, über die gegebenen Dinge, über die Bewegung in einer Ebene, über complexe Bewegung (?), über den indischen Calcul, über die Algebra des Diophant, Beantwortung von sieben Fragen, welche die Gelehrten zu Bagdad gestellt haben, und andere. Ausser diesen rein mathematischen Schriften seien erwähnt von solchen optischen und astronomischen Inhaltes die Abhandlungen über die Optik in sieben Büchern (die von Ibn Usaibia erwähnte Schrift ist vielleicht nur ein Commentar des grossen Opticae Thesaurus), die Abhandlungen über Brennspiegel, über die Brennkugel, über Wasseruhren, über die Bestimmung des Azimuths, des Meridians, der Polhöhe, der Entfernung zweier Orte auf der Erdoberfläche, über astronomische Beobachtungen und über Beobachtungsfehler, über Regenbogen und über Mond- und Sonnenhöfe, über das Licht des Mondes, über die Gestalt des Neumondes, über die Milchstrasse. An diese schliessen sich noch Schriften über Baukunst, über Ethik und über Politik.

Die genannten Schriften werden hinreichen, um einen Begriff zu geben von der ausserordentlichen wissenschaftlichen Thätigkeit, welche Alhazen entfaltet hat. Sie zeigen ihn bewandert in allen Zweigen der reinen wie auch der angewandten Mathematik und bestrebt, auf alle die verschiedenen Gebiete mathematischer Wissenschaft fördernd einzuwirken. Es ist daher sehr zu bedauern, dass von allen diesen Werken nur wenige auf uns gekommen und dass auch diese nicht einmal alle vollständig untersucht worden sind.

Meines Wissens sind von Alhazens Werken durch Uebersetzungen bekannt geworden 1) von mathematischen: „die zwei Bücher gegebener Dinge“ so wie die Lösung einer Aufgabe von Archimed über die Teilung einer Linie und 2) von optischen der Opticae Thesaurus, die Abhandlung über das Licht und diejenige über die Brennkugel. Es sei gestattet, auf diese hier näher einzugehen.

Die „zwei Bücher gegebener Dinge“ sind von Sédillot in seinen „Matériaux pour servir à l'histoire comparée des sciences mathématiques“ übersetzt und auch an anderer Stelle besprochen worden. Ihr Inhalt wird von Alhazen als besonders wichtig bezeichnet und zugleich wird betont, dass von keinem Geometer vor ihm diese Dinge besprochen worden seien, dass das erste Buch sogar Dinge enthalte, von denen früher nicht einmal die Gattung bekannt gewesen sei. Als Proben des Jnhaltes mögen die folgenden Sätze dienen.

Aus Buch I: 1) Zieht man von einem gegebenen Punkt eine Gerade von gegebener Länge, so liegt ihr Endpunkt auf einem bekannten Kreise. — 2) Zieht man vom Mittelpunkt eines Kreises eine Gerade nach der Peripherie und trägt man unter einem bekannten Winkel an dieselbe eine Gerade von gegebener Länge an, so liegt das Ende derselben auf einem bekannten Kreise. — 6) Wenn man von zwei Punkten zwei gerade Linien derart zieht, dass sie in ihrem Schnittpunkt immer einen Winkel von gegebener Grösse bilden, so liegt ihr Schnittpunkt auf einem Kreise. — 8) Wenn man von zwei Punkten zwei sich schneidende, gleiche Gerade zieht, so ist der Ort ihres Schnittpunktes eine der Lage nach bekannte Gerade. — 9) Zieht man von zwei gegebenen Punkten aus zwei gerade Linien, deren Länge bis zum Schnittpunkt ein vorgeschriebenes Verhältnis hat, so liegt ihr Schnittpunkt auf einer der Lage nach bekannten Kreislinie. — 19) Zieht man an einen Punkt der kleineren von zwei sich innerlich berührenden Kreislinien eine Berührungslinie bis zum Durchschnitt mit der umgebenden Kreislinie und verbindet man diese Durchschnittspunkte durch gerade Linien mit dem Berührungspunkte der beiden Kreise, so ist das Verhältniss der beiden Strecken gegeben. — 23) Wenn man von zwei Punkten zwei sich unter spitzem Winkel schneidende gerade Linien zieht, von welchen die Summe ihrer Quadrate bekannt ist, so liegt ihr Schnittpunkt auf einem bekannten Kreise. — 24) Wenn das Produkt der beiden Teile der Sehne eines Kreises bekannt ist, so liegt der Teilpunkt auf einem bekannten Kreise.

Aus Buch II: 1) Die Gerade, welche, von einem Punkte ausserhalb an einen Kreis gezogen, diesen so schneidet, dass das Verhältnis ihres äusseren und innern Theiles bekannt ist, ist der Lage nach bekannt. — 2) Die Gerade, welche von einem gegebenen Punkte aus gezogen, von einem gegebenen Kreise ein der Grösse nach gegebenes Stück abschneidet, ist der Lage nach gegeben. — 6) Wenn man von zwei gegebenen Punkten nach einer Geraden von gegebener Lage zwei Linien zieht, welche sich auf dieser Geraden unter spitzem Winkel schneiden, so sind diese beiden Linien der Grösse und Lage nach bekannt. — 10) Kennt man eine Gerade der Grösse und Lage nach und die zwei Winkel an ihren Endpunkten, so kennt man auch die Schenkel bis zu ihrem Durchschnittspunkt. —

14) Zieht man durch einen zwischen zwei Parallelen gelegenen Punkt eine gerade Linie, von welcher man das Product ihrer Teile kennt, so ist die Gerade der Lage nach bekannt. — 21) Werden auf der Peripherie eines Kreises zwei Punkte angenommen und durch diese gerade Linien gezogen, die sich in einem andren Punkte der Peripherie schneiden, und verbindet man ausserdem die beiden gegebenen Punkte, so werden, wenn die Grösse des gebildeten Dreiecks bekannt ist, auch die beiden gezogenen Linien der Grösse und Lage nach bekannt sein. — 24) Sind zwei Kreise gegeben, so ist die Tangente an beide der Grösse und Lage nach bekannt.

Wie aus dem Mitgetheilten ersichtlich, handelt es sich also um geometrische Oerter und zwar sind die in Frage kommenden die einfachsten, welche es giebt, nämlich Kreise und gerade Linien. Wenn Alhazen von ihnen behauptet, sie seien von keinem älteren Geometer untersucht worden, so ist diese Behauptung wenigstens der Sammlung des Pappus (*Συναγωγαὶ μαθηματικαί*) gegenüber nicht richtig, und wir müssen mit Cantor aus derselben schliessen, dass diese Sammlung bei den Arabern allmählich in Vergessenheit geraten sein muss wegen der Schwierigkeiten, die sie den Gelehrten bereitete, und dass Alhazen sie auch nicht gekannt hat, denn einen so bedeutenden Mathematiker dürfen wir um so weniger absichtlicher Unwahrheit zeihen, als er häufig genug Werke anderer Gelehrten citiert, sobald er ihre Untersuchungen benutzt hat.

Die eben besprochene Schrift ist die einzige mathematische, welche wir vollständig kennen. Ausser ihr ist nur noch eine im Auszuge von Woepcke in: L'Algèbre d'Omar Alkhayyami (Paris 1851) mitgeteilt. Es ist dies die Lösung der von Archimed gestellten Aufgabe: Auf einer Geraden (Figur 1) DZ sind die Punkte B und T derart gegeben, dass man die Entfernungen DB und BZ so wie das Verhältnis BZ : ZT kennt. Es soll der Punkt H derart bestimmt werden, dass

$$HZ : ZT = BD^2 : DH^2.$$

Alhazen löst diese Aufgabe, indem er in D, T und Z die Lote DA, TE und ZC errichtet, welche sämmtlich gleich BD sein sollen. Dann legt er durch E eine Hyperbel mit den Asymptoten CZ und ZD und construiert eine Parabel, deren Axe DA, deren Scheitel D und deren Parameter DB ist. Fällt man dann vom Durchschnittspunkt dieser beiden Linien ein Lot auf die gegebene Gerade, so ist der Fusspuukt desselben der gesuchte Punkt H. Es ist also diese Aufgabe mit Hilfe geometrischer Construction gelöst. Würde man der Reihe nach DB, TZ, DZ und DH bez. mit a, b, c und x bezeichnen, so würde sich herausstellen, dass die vorgelegte Aufgabe gleichbedeutend ist mit derjenigen x zu bestimmen aus der Gleichung

$$c - x : b = a^2 : x^2 \text{ oder aus}$$
$$x^2 (c - x) = a^2 b.$$

Würde man ferner D zum Anfangspunkt des Coordinatensystems wählen, so würde man nach der heute üblichen Schreibweise als Gleichung der Hyperbel erhalten:

$$y(c - x) = ab$$

und als Gleichung der Parabel:

$$x^2 = ay.$$

Die Combination beider Gleichungen würde wiederum auf die Gleichung:

$$x^2(c - x) = a^2b$$

führen, welche ja in der That diejenige ist, um deren geometrische Lösung es sich handelt.

Wir ersehen aus dieser Arbeit — und das ist das bemerkenswerte an ihr —, dass auch Alhazen zu denjenigen arabischen Mathematikern gehört, welche zuerst arithmetische Aufgaben auf geometrischem Wege gelöst haben, und wir dürfen mit ziemlicher Sicherheit schliessen, dass auch die Schrift über die Bestimmung der Seite des Cubus ähnlichen Inhaltes gewesen ist wie die vorliegende, dass es sich also auch in jener um die Lösung cubischer Gleichungen mit Hilfe der Geometrie handelt.

Unter den Schriften Alhazens erwähnten wir eine über die Quadratur des des Kreises. Nach Cantor befindet sich ein Manuscript derselben in der Bibliothek des Vatican, dasselbe ist aber bisher noch nicht bearbeitet worden, und doch wäre dies sehr wünschenswert, denn die Alhazensche Schrift ist die erste ihres Inhaltes seit Archimed und bei der Bedeutung ihres Verfassers dürfen wir wohl erwarten, in derselben interessante Versuche zur möglichst genauen Bestimmung des Inhaltes der Kreisfläche zu finden.

Im allgemeinen sind nur spärliche Reste der grossen Zahl rein mathematischer Schriften auf uns gekommen, besser steht es mit den optischen. Auch von diesen kennen wir zwar nicht alle, aber doch wenigstens die wichtigsten, so dass wir ein ziemlich vollständiges Bild der Thätigkeit unsres Autors auf diesem Gebiete erhalten. Die dem Inhalte und auch dem Umfange nach bedeutendste Schrift ist der Opticae Thesaurus (kitab al manazir), welcher im Jahre 1572 neu herausgegeben wurde unter dem Titel: Opticae Thesaurus Alhazeni Arabis libri VII, nunc primum editi. Ejusdem liber de crepusculis et nubium ascensionibus. Item Vitellonis libri X, ed. a. F. Risnero. Basileae 1582. Die erste Uebersetzung dieser Schrift ist von Vitello auf Anregung seines Freundes Guilielmus de Morbeka (gestorben im Jahre 1300 als Erzbischof von Korinth) begonnen und i. J. 1269 vollendet worden. Später ist diese Optik in das Italienische übersetzt und endlich mit Anmerkungen von Risner neu heraus gegeben worden mit einer Widmung an Katharina von Medici. Die Uebersetzung des Anhanges rührt von Gerardus Cremonensis her (gestorben im Alter von 73 Jahren zu Cremona i. J. 1187).

Von geringerer Bedeutung sind die „Abhandlung über das Licht", übersetzt von Baarmann in der Zeitschrift der deutschen morgenländischen Gesellschaft für 1882 und die „Abhandlung über die Brennkugel", bisher nur durch einen von Wiedemann veröffentlichten Commentar bekannt. Gegen den Opticae Thesaurus kommen diese beiden Schriften erst an zweiter Stelle in Betracht, und wir können demnach Alhazens Optik in die folgenden drei Teile zergliedern: in die Lehre vom Sehen (O. Th. I—III), die Lehre von der Reflexion (O. Th. IV—VI) und die Lehre von der Brechung (O. Th. VII). Das Buch „über die Dämmerung und über die Höhe der Atmosphäre" bildet zu denselben gewissermassen einen Anhang.

I. Die Lehre vom Sehen.

Alhazen beginnt seine Optik mit einigen allgemeinen Bemerkungen über die Eigenschaften des Lichtes: Starkes Licht schwächt die Fähigkeit des Auges, die Gegenstände zu erkennen, in mehr oder minder hohem Grade, es wirkt auf das Auge auch insofern ein, als diesem, wenn es einen farbigen Gegenstand längere Zeit betrachtet hat, andere gleich darauf betrachtete Gegenstände in der Farbe des eben betrachteten erscheinen. Starkes Licht endlich macht häufig Gegenstände unsichtbar, welche bei schwächerem deutlich gesehen werden können, und umgekehrt, wie an mehreren Beispielen nachgewiesen wird.

Wichtig für den weiteren Ausbau der Optik ist es, dass Alhazen zuerst eine anatomische Beschreibung des Auges geliefert hat, und wenn diese auch der heutigen Kenntnis gegenüber keinen Anspruch auf Vollständigkeit machen kann, so ist doch der Umstand allein, dass überhaupt der Bau des Auges berücksichtigt wurde, von hohem Werthe für das Verständnis vieler Erscheinungen auf dem Gebiete der Optik gewesen.

Nach Alhazen besteht das Auge (Fig. 2) aus drei Feuchtigkeiten und vier Häuten (I, 4 und I, 33—36). Die ersteren sind der humor albugineus (h. aqueus der Figur), der h. crystallinus (h. glacialis des Textes, welche Bezeichnung ursprünglich für h. crystallinus und h. vitreus zusammen gebraucht wird) und der h. vitreus, letztere beiden durch die tela aranea eingeschlossen und von dem vorderen Theile des Auges getrennt. Von den letzteren sind im Texte nur wirklich angeführt die tunica consolidativa (sclerotica neuerer Bezeichnung), die cornea und die uvea, die vierte ist nicht ausdrücklich genannt, doch soll nach dem Zusammenhange offenbar die tunica retisimilis als solche gelten. Weitläufige Betrachtungen über die Lage der Mittelpunkte der einzelnen Teile und die Richtung ihrer Verbindungslinien vervollständigen die gegebene Beschreibung.

Die Erfahrung, dass die Zerstörung der Krystallinse jedesmal die Vernichtung der Sehkraft herbeiführe, während Verletzungen anderer Theile des Auges eine derartige Wirkung nicht haben, veranlasst Alhazen, die Krystallinse als das eigentlich empfindende Organ des Auges anzusehen, ohne welches die Thätigkeit des Sehens nicht zustande kommen kann, und gegen welches selbst der Sehnerv an Bedeutung zurücktritt. Die Empfindung selbst verlegt er an die vordere Fläche dieser Linse.

Die landläufige Darstellung in den Werken über Geschichte der Physik erweckt den Glauben, Alhazen habe selbt den Bau des Auges entdeckt. Es ist hervorzuheben, dass dies nicht der Fall ist, und er hat diese Meinung auch durchaus nicht erwecken wollen, wie seine eigenen Worte am Schlusse der Beschreibung des Auges beweisen (I, 13): „Et omne quod diximus de tunicis oculi et compositione earum, jam declaratum est ab anatomicis in libris anatomiae."

Wie kommt das Sehen zu Stande? Bei Beantwortung dieser Frage sehen wir Alhazen sich mit aller Entschiedenheit gegen die Ansichten der alten Griechen wenden, welche bis dahin allgemein als richtig angesehen worden waren. Er spricht es mit voller Bestimmtheit aus, dass deutliches Sehen nur dann möglich ist, wenn das Auge durch das Object gereizt wird und zwar so, dass jedem Punkte des Auges ein und nur ein gereizter Punkt des Sehorgans entspricht. Nach seiner Ansicht wird das deutliche Sehen bewirkt durch Strahlen, welche von dem Gegenstande ausgehen, sich geradlinig fortpflanzen und senkrecht zur Oberfläche des Auges stehen, also ungebrochen durch die verschiedenen Häute desselben hindurchgehen bis zum Mittelpunkte des Auges, welcher letztere mit dem Centrum der Cornea und der Krystallinse zusammenfallend gedacht wird.[1]) Für jeden Punkt des Gegenstandes existiert nur ein Strahl von der gedachten Beschaffenheit, die vordere Fläche der Krystallinse wird von diesem natürlich nur in einem Punkte geschnitten werden, und so wird durch jeden Punkt des Objectes nur ein Punkt der Krystallinse gereizt werden. Die Gesammtheit dieser Strahlen bildet die sogenannte Sehpyramide (pyramis optica), deren Spitze der Mittelpunkt des Auges und deren Grundfläche die Oberfläche des sichtbaren Gegenstandes selbst ist. Bei dieser Annahme werden die einzelnen Punkte des Gegenstandes auf der Oberfläche des Auges ihre Lage gegen einander unverändert beibehalten, und jeder Punkt des Auges wird einen bestimmten Punkt des Gegenstandes erblicken. Dass auch andere Strahlen als diese zum Sehen beitragen, wusste Alhazen, er beschäftigt sich hier indes immer nur mit der visio distincta. Welche Rolle die Brechung im Auge spielt, ist ihm wohl nicht ganz klar geworden, jedoch führt er im siebenten Buch (VII, 37) den Versuch an, dass man einen feinen Gegenstand, z. B. eine Nadel, dicht vor das Auge zwischen dies und einen andern Gegenstand bringen kann, ohne den letzteren dadurch unsichtbar zu machen, so dass die Nadel gleichsam durchsichtig erscheint, und stellt den Satz auf: „Visio omnis fit refracte" dessen Wichtigkeit er mit den Worten hervorhebt: „Hoc autem, quod, quidquid comprehenditur a visu, comprehenditur refracte, a nullo antiquorum dictum est."

---

[1]) Unter dieser Annahme wird die beigegebene Abbildung verständlich, in welcher die Krystallinse genau die Mitte des Auges einnimmt. Dennoch bleibt dieselbe auffällig, da sie eine willkürliche Aenderung in der Lage der Teile des Auges enthält. Es scheint, als sei diese der im Folgenden gebrachten Theorie wegen vorgenommen worden, denn sicherlich haben die arabischen Anatomen das Auge des Menschen selbst untersucht trotz des Koranverbotes.

Die Ansicht, dass das Sehen bewirkt werde durch Strahlen, welche vom Auge ausgehen, verwirft Alhazen als vollkommen irrig und bekämpft sie in längerer Auseinandersetzung (I, 23): „Dicamus ergo, si visio fit ex re exeunte ex visu ad rem visam, ista res est corpus aut non corpus. Si est corpus quando aspexerimus coelum et viderimus stellas, quae sunt in eo, oportet quod in illa hora exeat a visu nostro corpus et impleat illud quod est inter coelum et terram et quod nihil diminuatur a visu et hoc est falsum. Visio ergo non est per corpus exiens a visu ad rem visam. Et si illud quod exit a visu, non est corpus, illud non sentiet rem visam: sensus enim non est nisi in corporibus. Nihil ergo exit a visu ad rem visam sentiens rem illam etc." Er beseitigt damit eine Anschauung der Griechen, die nur zu sehr geeignet war, jeden Fortschritt in der Optik zu hemmen. Nicht unerwähnt mag es bleiben, dass bereits an dieser Stelle die Einheit der Bilder in beiden Augen begründet wird durch die Annahme, dass die entstandenen Bilder sich in dem gemeinsamen Sehnerven vereinigen und daher auf die Seele den Eindruck eines einzigen machen. In den letzten Abschnitten des ersten Buchs werden noch die Bedingungen aufgestellt, deren Erfüllung erst das Sehen ermöglicht: „Distantia inter visum et visibile, collocatio visibilis ante visum directa, lux, magnitudo rei visibilis, perspicuitas corporis inter visum et visibile interjecti, densitas ac soliditas visibilis."

Die beiden folgenden Bücher sind im allgemeinen bisher unterschätzt worden. Sie enthalten freilich eine Menge minderwertiger Sätze, aber wir finden wiederum gerade in ihnen Versuche und Definitionen, welche die Aufmerksamkeit der Nachwelt in hohem Grade verdienen. So begegnen wir im zweiten Buche zunächst dem Begriffe der Axe der Sehpyramide. Unter dieser wird diejenige Linie verstanden, welche die Mittelpunkte der einzelnen Teile des Auges verbindet, sie ist also identisch mit der heute sogenannten Augenaxe. Diese Linie steht senkrecht zur gemeinsamen Schnittfläche der Krystallinse und des Glaskörpers, und deswegen gehen die Strahlen, welche in sie fallen, ungebrochen durch die einzelnen Teile des Auges hindurch. Gegenstände, welche sich in der Richtung der Augenaxe befinden, sind daher am deutlichsten sichtbar. Sie erscheinen um so weniger deutlich, je weiter sie von der Augenaxe entfernt sind. Im übrigen ist nach Alhazen das Auge nicht immer allein beim Sehen thätig, sondern auch der Geist des Menschen: Schlussfolgerungen und vorgefasste Meinungen beeinflussen die Beurteilung der Gesichtswahrnehmungen.

Den weitaus grössten Teil des zweiten Buches beanspruchen die Untersuchungen der 22 Eigenschaften, welche das Auge an den Körpern unterscheidet: „Lux, color, remotio, situs, corporeitas, figura, magnitudo, continuum, discretio et separatio, numerus, motus, quies, asperitas, levitas, diaphanitas, spissitudo, umbra, obscuritas, pulchritudo, turpitudo, consimilitudo et diversitas in omnibus intentionibus". (II, 15.) Im allgemeinen sind dieselben ohne grossen Wert, ausgenommen die Abschnitte über Licht und Farbe, soweit sie nicht Wiederholungen früherer sind, diese sind sogar durch die in ihnen enthaltenen Resultate von besonderer Bedeutung und mehr als ein halbes Jahrtausend musste vergehen, ehe die Nachwelt auf andrem Wege ihre Richtigkeit beweisen konnte. Wir finden hier nämlich zum ersten Male die Behauptung, dass Licht und Farbe zu ihrer Fortpflanzung Zeit bedürfen: „Essentia coloris percipitur in tempore, itaque essentia cujuslibet visibilis percipitur in tempore“ (II, 20) und: „Lux et color ex sese percipiuntur in tempore (II, 21). Als Beweise führt Alhazen den Versuch an, dass die Farben des Farbenkreisels bei schneller Bewegung nicht mehr vom Auge einzeln unterschieden werden können, sondern als eine einzige erscheinen, die gewissermassen aus allen übrigen gemischt ist. Er sieht diese merkwürdige Erscheinung also für eine Folge davon an, dass das Licht Zeit gebrauche, um von den einzelnen Punkten des Kreisels zum Auge zu gelangen. Wir deuten sie heute als eine Folge der Nachwirkung des Lichtes auf das Auge, dennoch ist die Auslegung Alhazens ein Zeugnis für den Scharfsinn, mit dem er aus Beobachtungen Schlüsse zieht. Noch eine andere Beobachtung dient ihm als Beweis: Erhält ein Gemach durch eine Oeffnung Licht, wird das Innere desselben dunkel sein, sobald die Oeffnung bedeckt wird. Zieht man die Hülle dann wieder von der Oeffnung fort, so dringt das Licht wieder ein. Der Augenblick aber, in welchem die Hülle gehoben wird, und derjenige, in welchem das Licht wieder in das Zimmer eindringt, sind nicht dieselben. Auch in diesem Falle braucht vielmehr das Licht Zeit, um sich durch die Oeffnung weiter fortzupflanzen, doch bleibt diese unsern Sinnen wegen der grossen Schnelligkeit der Bewegung verborgen.

Gegen diesen Satz, dessen Aufstellung um diese Zeit gewiss merkwürdig ist, tritt der übrige Inhalt des zweiten Buches an Bedeutung zurück; doch sind auch die Ansichten über die Beurteilung der Grösse entfernter Gegenstände nicht ohne Interesse, denn in ihnen wird klar hervorgehoben, dass nicht der Gesichtswinkel allein für unser Urteil massgebend ist, sondern dass auch die Länge der Sehpyramide in Rechnung gezogen wird, und dass zwischen Auge und Körper befindliche Gegenstände die Schätzung erleichtern.

Das dritte Buch behandelt die optischen Täuschungen. Aus den sieben Capiteln heben wir das zweite hervor mit der Ueberschrift: „De eis quae debent praeponi sermoni in deceptionibus visus“. In demselben wird die Frage nach der Einheit der Bilder im Auge (vergl. I, 27) behufs genauer Erörterung wieder aufgenommen und hier gelangt Alhazen, trotzdem er die Krystallinse als den Hauptteil des Auges ansieht, auf theoretischem Wege doch zu Resultaten, die denen der Lehre von den identischen Netzhautbildern sehr nahe kommen: In der That sind die Linien, welche von jedem Punkte eines Gegenstandes ausgehen, nichts anderes als die heute sogenannten Richtungslinien, und Alhazens Augenmittelpunkt entspricht dem Kreuzungspunkte in Listings reduciertem Auge. Die Richtungslinien schneiden aber offenbar jede um den Augenmittelpunkt geschlagene Kugel in einer ähnlichen Figur wie die Netzhaut, und so erklärt es sich, dass Alhazen durch Benutzung eines solchen

Schnittes zu ähnlichen Resultaten gelangt, wie wenn er die ihm unbekannten Netzhautbilder zum Ausgangspunkte seiner Betrachtung gewählt hätte. Dass ein Gegenstand deutlich und einfach nur erblickt werde, wenn beide Augenaxen auf ihn gerichtet werden, ist dann ohne weiteres klar. Convergieren nun die beiden Augenaxen in einem nahe gelegenen Punkte, so ist diese Bedingung für ferner gelegene Punkte nicht mehr vollständig erfüllt, sie können deshalb nicht mehr genau erkannt werden. Von den so gelegenen Objecten sagt Alhazen (III, 5): „Non omnes partes eorum erunt consimilis positionis in remotione a duobus axibus; nec forma erit certificata". Im Verfolg dieses Gedankens gelangt er zu dem Satz (III, 11): „Visibile intra axes opticos situm: vel uni visui recte, reliquo oblique oppositum videtur geminum", dessen Beweis er mit den Worten schliesst: „Et forma hujusmodi visorum instituitur in duobus visibus in duobus locis diversae positionis: et duae formae quae instituuntur in duobus visibus perveniunt ad duo loca diversa concavitatum communis nervi et erunt a duobus lateribus centri. Quapropter erunt duae formae et non superponentur sibi."

Die Richtigkeit dieser rein theoretischen Auseinandersetzungen wird in dem folgenden Capitel (12, cfr. auch 14) durch Versuche bewiesen. Zu diesen bedient sich Alhazen eines glatten rechteckigen Brettes (Fig. 3.)[1]) von einer Elle Länge (a c, bez. b d) und 4 Zoll Breite (a b, resp. c d), welches in der Mitte der kürzeren Seite a b einen Einschnitt n h m für den Nasenrücken besitzt. Die Diagonalen b c und a d, die Mittellinien h z und k t werden der Deutlichkeit halber gefärbt und zwar die Diagonalen gleich. Auf die Punkte k, t, q (Schnittpunkt der Diagonalen) werden dann verschiedenfarbige Säulchen von Wachs aufgesetzt, und das in q so befestigt, dass es unbeweglich bleibt, während die übrigen ihre Stellung ändern können. Bei den Versuchen wird das Brett horizontal vor die Augen gelegt, so dass der Nasenrücken genau in den Einschnitt desselben kommt. Die Art, wie nun die verschiedenen Linien dem Auge erscheinen, wenn der Punkt q genau fixiert wird oder einer der Punkte k und t, wie auch die Erscheinungen, welche sich ergeben, wenn die Säulchen aus k und t nach s, l, r, oder f gebracht werden, bestätigen die vorher aufgestellten Sätze über das Sehen mit beiden Augen.

Von den folgenden Abschnitten über die optischen Täuschungen bei dem directen Sehen verdienen am meisten Beachtung diejenigen, durch welche das im Eingange Gesagte zum Teil ergänzt wird: Bunte Körper erscheinen dem Körper in grösserer Entfernung einfarbig, da die eingestreuten kleinen Farbenteile in Folge der Entfernung nicht mehr von ihrer Umgebung unterschieden werden können. Verschiedene Farben, dem Auge schnell nach einander vorgeführt, machen den Eindruck einer einzigen (Begründung wie beim Farbenkreisel). Auch das Auge wird zuweilen Ursache von Täuschungen, denn wenn es von starkem Lichte getroffen wird, erscheinen ihm farbige Gegenstände zunächst dunkel und erst, wenn die „laesio visus" aufgehört hat, in ihrer eigentlichen Farbe.

[1]) Die Dimensionen sind in der Figur der Deutlichkeit halber stark geändert worden.

II. Die Lehre von der Reflexion.

Im Anfange des vierten Buches stellt Alhazen die Thatsache fest, dass Licht und Farbe von jedem Punkte einer polierten Fläche geradlinig zurückgeworfen werden. Erläuternd fügt er hinzu (IV, 3), dass von jedem Punkte einer farbigen leuchtenden Fläche zu jedem Punkte einer gegenüberliegenden polierten Fläche Strahlen gehen und dort reflectiert werden.

Natürlich bilden sich auf diese Weise unzählige Strahlenpyramiden mit abwechselnden Grundflächen und Scheiteln zwischen Gegenstand und Fläche (IV, 14). Dass auch an rauhen Oberflächen Reflexion stattfinde, diese dem Auge aber meist verborgen bleibe, weiss Alhazen, auch betont er, dass die Reflexion des Lichtes allemal einen Verlust an Intensität nach sich ziehe, dass also reflectiertes Licht geschwächt erscheine nicht nur wegen seiner Entfernung von der Lichtquelle (propter elongationem) und wegen seiner Verbreitung über eine grössere Fläche (propter disgregationem), was ja auch bei anderem Lichte der Fall ist, sondern auch deswegen, weil es eben reflectirtes Licht ist (IV, 15).

Zur Ermittlung des Reflexionsgesetzes bedient sich Alhazen eines besonderen Apparates, dessen Herstellung ich nach Risners Text (IV, 7—9) abgekürzt, jedoch sonst ohne wesentliche Aenderungen angeben will.

Aus einer rechteckigen ehernen Tafel a c x y von 12 Zoll Länge a c und 6 Zoll Breite a x (Fig. 4) werde ein Halbkreis herausgeschnitten, dessen Mittelpunkt d, dessen Durchmesser a c sei, und welcher durch das in d auf a c errichtete Lot halbiert werden möge. Die Hälften dieses Kreises mögen durch beliebig viele Punkte h, i, k . . . und l, m, n . . . . geteilt werden, welche bez. gleich weit von b entfernt sein sollen, so dass b h = b l, b i = b m u. s. w. Dann möge um d noch ein zweiter Kreis f e g geschlagen werden, dessen Durchmesser d e 5 Zoll lang sei. Dieser wird natürlich durch die vorhandenen Linien dem grösseren entsprechend geteilt werden. Durch den Punkt o auf d e, dessen Entfernung von d einen Zoll betrage, werde nun eine Parallele p q zu a c gezogen und dann mögen die Stücke a d r p und d s q c von dem Halbkreise abgetrennt werden, der übrig bleibende Teil aber bei d möglichst genau zugeschärft werden. — Danach nehme man ein hölzernes Brett, dessen senkrechter Querschnitt ein Quadrat von 14 Zoll Seitenlänge und dessen Höhe 7 Zoll sei, bestimme den Mittelpunkt der oberen Endfläche desselben, schlage um diesen zwei Kreise von 7 bez. 5 Zoll Halbmesser (letzterer ist also f e g gleich), teile dann den grösseren Kreis entsprechend dem Kreise a b c und ziehe vom Mittelpunkte nach den Teilungspunkten Verbindungslinien. Darauf runde man das Brett äusserlich ab, so dass es die Form eines geraden Cylinders erhalte, dessen Grundfläche ein Kreis von 7 Zoll Halbmesser ist; das Innere schneide man so weit heraus, dass die Grenzfläche des Restkörpers der Mantel eines geraden Cylinders wird, dessen Grundfläche ein Kreisring mit Grenzradien von 7, resp. 5 Zoll Länge ist. Auf der oberen Endfläche befinden sich die erwähnten Teilungslinien. Von den

Endpunkten dieser ziehe man auf der äusseren und inneren Seite des Hohlcylinders Lote, welche zur unteren Grundfläche gehen. Auf dem innern Mantel bezeichne man alsdann Punkte, welche von der unteren ungeteilten Grundfläche 2 Zoll entfernt sind, und lege durch dieselben einen Kreis parallel dieser; ein halbes Gerstenkorn[1]) tiefer werde ebenda ein zweiter paralleler Kreis geschlagen und im Cylinder, senkrecht in diesen hineingehend, eine ebenfalls kreisförmige Vertiefung von einem Zoll Breite und solcher Dicke (nach unten gerechnet) angebracht, dass die eherne Scheibe genau hineinpasst. Diese kann dann bei Versuchen leicht in die Vertiefung eingesetzt und als Gradmesser benutzt werden. Auf der convexen Seite des Hohlcylinders, wiederum in der Höhe von zwei Zoll, möge nun ein Punkt angenommen und um denselben ein Kreis von einem Gerstenkorn Durchmesser geschlagen werden. Mit einem eisernen Instrument werde durch diesen Kreis hindurch eine Oeffnung in den Cylinder gebohrt. Wird dann ein hölzerner Stab, der gerade durch die Oeffnung hindurchgeht, durch diese gesteckt, so berührt derselbe die in der Vertiefung befindliche eherne Scheibe und geht auch durch die Axe des Cylinders. Solcher Oeffnungen mögen auf der äusseren Seite beliebig viele in gleicher Höhe und Grösse angebracht werden, deren Anordnung der Teilung der Tafel entspreche.

Als Fuss des Cylinders werde ein Brett von quadratischem Querschnitt mit 14 Zoll Seitenlänge genommen. Um den Mittelpunkt desselben werde ein Kreis von 5 Zoll Radius geschlagen, ausserdem werde um denselben ein Quadrat E F G H gezeichnet von 4 Zoll Seitenlänge, dessen Lage die Figur andeutet. Unterhalb dieses Quadrats, senkrecht zu demselben, werde das Brett so ausgehöhlt, dass die entstehende Vertiefung ein Parallelepipedon von einem Zoll Höhe mit quadratischer Grundfläche werde. Auf dies Brett wird der Cylinder so aufgesetzt, dass sein innerer Grenzkreis mit dem gezeichneten zusammenfällt, und in dieser Stellung wird er durch Klammern befestigt. — Zur bessern Gestaltung der Versuche bedient sich Alhazen eiserner cylindrischer Hohlsäulen, welche genau in die Oeffnungen passen.

Die Versuche werden gemacht an sieben Arten von Spiegeln: dem ebenen, dem sphärischen, dem cylindrischen und dem konischen Convex- und Concavspiegel. Der ebene Spiegel hat die Form eines Kreises von 3 Zoll Durchmesser, die beiden sphärischen sind Segmente einer Kugel von 6 Zoll Durchmesser, deren Grenzkreis 3 Zoll Durchmesser hat; die beiden cylindrischen werden herausgeschnitten aus einem geraden Cylinder von 3 Zoll Länge, dessen Grundkreis 6 Zoll Durchmesser haben soll; die beiden kegelförmigen aus einem Kegel von $4^1/_2$ Zoll Länge, dessen Grundkreis wie vorher. Indem auf den Grundkreisen Sehnen von 3 Zoll Länge als Grenzen der Kreissegmente genommen werden, ergiebt sich bei allen Spiegeln eine Axenhöhe von weniger als einem

[1]) Eine königliche arabische Elle = 24 Zoll, eine schwarze Elle = 27 Zoll, ein Zoll = 6 Gerstenkörner, 89 Gerstenkörner sollen ungefähr 0,31 m sein. Die Grösse der Masse muss eine schwankende gewesen sein, denn Alhazen verlangt für die Construction des Apparates die Anwendung eines und desselben gleichen Masses.

halben Zoll. Der Stoff, aus dem die Spiegel bestehen, ist Eisen, nur für Versuche, bei denen es auf Erkennung von Farben ankommt, schlägt Alhazen Silber vor.

Zur Handhabung der Spiegel bedient sich Alhazen rechteckiger Bretter von 6 Zoll Länge und 4 Zoll Breite (Fig. 5), welche in die Vertiefung des Fusses genau hineinpassen. Steht ein solches Brett genau über der Mitte dieser Vertiefung, so wird seine Mittellinie p b ein Teil der Axe des Hohlcylinders sein, der Mittelpunkt d der ehernen Scheibe würde Punkt x sein, so dass die Mitte z von p b nur ein halbes Gerstenkorn höher läge als x. Jeder Spiegel wird beim Gebrauche an einem solchen Brette befestigt und zwar die cylindrischen und kegelförmigen derart, dass ihre Seitenlinie mit p b, die kugelförmigen so, dass der Mittelpunkt ihres Grundkreises mit z zusammenfällt — eine Bedingung, die auch für den Mittelpunkt des ebenen Spiegels gilt. Es ist klar, dass man auf diese Weise den Spiegeln jede geeignete Lage geben kann.

Wie die Beobachtungen geschehen, ist leicht ersichtlich. Der eherne Halbkreis wird in der Vertiefung im Innern des Cylinders angebracht, die Oeffnungen werden bis auf eine verstopft, und durch diese lässt man nun Licht auf den Spiegel fallen. Dieses wird zurückgeworfen und gelangt durch eine leicht zu ermittelnde andere Oeffnung zum Auge des Beobachters. Mit Hilfe der Teilung des Kreises lässt sich die Lage des einfallenden und des reflectierten Strahles vergleichen. So gelangt Alhazen zu folgenden Sätzen (IV, 10—13): „Radius speculo plano obliquus in oppositam partem reflectitur et aequat angulos incidentiae et reflexionis. Radius speculo perpendicularis reflectitur in se ipsum. In speculo convexis, cavis sphaerico, conico, cylindraceo anguli incidentiae et reflexionis aequantur“, und „Superficies reflexionis est perpendicularis plano speculum in reflexionis puncto tangenti“, dessen Beweis mit den Worten schliesst: „Unde est certum non esse hoc ex proprietate lucis vel figura alicujus speculi, sed ex proprietate quadam communi rei politae et cuilibet luci.“ Zur näheren Bestimmung der Reflexionsebene dient die Angabe (IV, 23), dass in derselben liegen der einfallende, der reflectierte Strahl und das Lot, welches im Reflexionspunkte auf der durch denselben an die reflectierende Fläche gelegten Tangentialebene errichtet ist.

Schon früher wies ich darauf hin, dass Alhazen mit vollem Bewusstsein gegen alte Anschauungen ankämpft, sobald er sie als falsch erkannt hat. Die Entstehung der Spiegelbilder giebt ihm wiederum Anlass dazu; er wendet sich gegen die früher über dieselbe geltenden Ansichten mit den Worten (IV, 20): „Falsa est utraque opinio: et radios a visu ad speculum missos indeque ad visibile reflexos imaginem percipere et imaginem in speculo jam ante impressam inde ad visum manare.“ Die erstere widerspricht seiner Lehre vom Sehen überhaupt, die Unrichtigkeit der letzteren geht daraus hervor, dass bei Bewegung eines Gegenstandes der Ort des Bildes sich ändert, während er nach dieser Theorie immer derselbe sein müsste.

Im fünften Buche untersucht Alhazen den Ort der Bilder für die verschiedenen Spiegel und kommt dabei zu dem allgemeinen Satze (V, 8): „Imago in quocunque speculo videtur in concursu perpendicularis incidentiae et lineae reflexionis.“ Für ebene Spiegel ergiebt sich aus demselben sofort, dass Gegenstand und Bild von der Oberfläche des Spiegels nach entgegengesetzten Richtungen gleich weit entfernt sind, nicht so bei den übrigen Spiegeln. Die Untersuchungen über den Ort des Bildes bei diesen zerfallen in eine Reihe mathematischer Einzelaufgaben und haben nur als Lösungen solcher Wert. Zu greifbaren, allgemein anwendbaren Resultaten führen sie nicht. Einer gewissen Berühmtheit hat sich im Mittelalter und noch in späterer Zeit die Aufgabe erfreut, die man als die Alhazensche bezeichnet und deren Lösung ebenfalls im fünften Buch vorkommt: „Wenn die Lage des leuchtenden Punktes und des Auges gegeben ist, soll derjenige Punkt auf der Oberfläche eines concaven oder convexen sphärischen, cylindrischen oder konischen Spiegels gefunden werden, von dem aus die Reflexion zum Auge stattfindet.“ Alhazen kommt bei Behandlung derselben auf die beiden Fälle, den betreffenden Punkt auf einem Kreise oder einer Ellipse zu bestimmen, doch ist die Lösung unvollständig geblieben, weil der benutzte mathematische Apparat nicht ausreichte. Für die Physik hat die ganze Aufgabe wenig Bedeutung, weil schwerlich jemals bei einer praktischen Aufgabe die Lage des Reflexionspunktes gesucht werden dürfte.

Das folgende Buch beschäftigt sich mit den Täuschungen, welche durch die Spiegelung hervorgerufen werden; als solche kommen besonders die Aenderungen in der Grösse der Bilder in Frage. Erwähnenswert ist aus den umfangreichen, rein mathematischen Untersuchungen über diesen Gegenstand die Bemerkung, dass im Cylinderspiegel die zur Längsaxe parallelen Geraden zu Spiegelbildern wieder gerade oder wenigstens fast vollkommen gerade Linien haben, dass dazu senkrechte Linien am stärksten gekrümmt erscheinen, während endlich Gerade in anderer Lage mehr oder minder starke Verzerrungen erfahren, je nachdem sie sich dieser oder jener Lage mehr nähern. Danach ist Alhazen der erste gewesen, welcher auf den Einfluss der Lage bei Wirkung dieser Spiegel aufmerksam gemacht hat.

Die Verzerrungen haben noch lange nach Alhazen die Optiker beschäftigt, aber erst im 17. Jahrhundert hat man die Regeln gefunden, welche zur Aufzeichnung derselben führen.

III. Lehre von der Brechung des Lichtes.

Buch VII behandelt in eingehender Weise die Erscheinungen der Lichtbrechung. Zur Ermittelung ihrer Gesetze bedient sich Alhazen eines Apparates, dessen Beschreibung in der gekürzten Uebersetzung von Wiedemann, jedoch mit kleinen Aenderungen infolge Benutzung der Risnerschen Figuren (6, 7, 8) folgt (VII, 2).

Man nimmt eine runde, ziemlich starke Scheibe aus Kupfer a b c d (Fig. 6) von wenigstens einer Elle Durchmesser. Sie muss einen Rand haben (in der

Figur der Teil mit den Kreisen l, m, n, h), der senkrecht auf ihrer Oberfläche steht und wenigstens zwei Finger breit ist. In der Mitte des Rückens der Scheibe v muss sich eine kleine, runde Säule von wenigstens drei Finger Länge befinden, welche senkrecht auf der Oberfläche der Scheibe steht. Dies Instrument befestigen wir so auf der Drehbank, auf der die Drechsler ihre Kupfergeräte drehen, dass die eine Spitze auf die Mitte der Scheibe, die andere auf die Mitte der kleinen Säule kommt, und drehen den Apparat so lange ab, bis die Ränder innen und aussen völlig kreisrund sind und die kleine Säule ebenfalls. Hierauf ziehen wir auf der inneren Oberfläche des Instruments zwei auf einander senkrechte Durchmesser c d und a b, dann bezeichnen wir einen Punkt auf der Basis des Randes des Instrumentes, dessen Abstand vom Ende eines der beiden Durchmesser eines Fingers Breite beträgt. Von diesem Punkt ziehen wir einen dritten Durchmesser durch die Mitte der Scheibe i g. Dann ziehen wir von den beiden Enden dieses Durchmessers aus zwei Linien auf dem Rande senkrecht zur Oberfläche der Scheibe i h und g k. Auf der einen dieser beiden Linien bezeichnen wir von der Scheibe aus drei etwa um die Länge eines halben Gerstenkornes von einander abstehende Punkte l, m, n und ziehen auf der Drehbank durch diese Punkte drei von einander gleich weit abstehende Kreise, die natürlich die gegenüberstehende kurze Linie gleichfalls in drei gleich weit von einander abstehenden Punkten o, p, q schneiden. Dann teilt man den mittleren Kreis in 360^0 und womöglich noch in Minuten. In den Rand bohrt man ein kreisförmiges Loch, dessen Mittelpunkt der mittlere der obigen drei Punkte ist und dessen Durchmesser gleich dem Abstand der beiden äussersten ist. Nun nehmen wir ein mässig dünnes genau rechteckiges ebenes Stück Blech (Fig. 7) von der Höhe des Randes und etwa gleicher Breite. Von der Mitte u der einen Seite ziehen wir eine zu dieser senkrechte Linie, auf der wir drei gleich weit von einander abstehende Punkte bezeichnen. Ihr Abstand a sei dabei gleich dem Abstande je zweier Kreise auf dem Rande. Wir bohren dann in die Platte ein rundes Loch, dessen Mittelpunkt y dem mittleren der obigen Punkte entspricht und dessen Radius gleich a ist. Wir erhalten so ein Loch, das vollkommen mit dem im Rande des Instruments correspondiert. Darauf sucht man den Mittelpunkt des Radius, welcher den Mittelpunkt der Scheibe v mit der Linie auf dem Rande verbindet, in welcher sich das Loch befindet, und zieht durch ihn r s senkrecht zum Radius. Längs r s befestigt man nun das kleine Blech so, dass die Mitte desselben genau auf den Radius zu liegen kommt, die kleine Oeffnung in ihr liegt dann genau derjenigen auf dem Rande gegenüber. Die Verbindungslinie der Mittelpunkte der beiden Oeffnungen liegt in der Mitte des mittleren der beiden Kreise auf dem Rande, liegt parallel zu dem Durchmesser auf der Scheibe und verhält sich wie die Absehe beim Astrolaben. Hierauf schneidet man aus dem Rande des Instruments dasjenige Viertel aus, welches sich an das Viertel anschliesst, in welchem sich das Loch befindet, und welches durch die beiden ersten Durchmesser bestimmt ist, und glättet den Rand genau ab. Hierauf (Fig. 8) nimmt man ein quadratisches Stück Metall von mehr als einer Elle Länge und feilt die Flächen desselben möglichst senkrecht zu einander ab. In der Mitte derselben bohrt man ein Loch senkrecht zur Oberfläche, so dass sich der oben erwähnte säulenförmige Teil schwer darin drehen lässt. In dieses Loch setzt man den säulenförmigen Teil ein. Von dem Metallstück schneidet man soviel ab, dass es gleich steht mit dem Rande der Scheibe und legt die abgeschnittenen Enden auf die Enden des Metallstückes und verbindet sie mit denselben. Zweckmässig ist es, durch das Ende der kleinen Säule, welche aus der Oeffnung im quadratischen Stück hervorragt, einen kleinen Stift zu treiben. Die Messungen werden so angestellt, dass man das Instrument bis zum Mittelpunkt ins Wasser taucht, der Verbindungslinie der beiden Oeffnungen verschiedene Neigungen giebt gegen den Horizont und den Gang der Lichtstrahlen verfolgt.

Die gefundenen Gesetze sind zusammengefasst in VII 8, 9: „Radio medio perpendicularis irrefractus penetrat; obliquus refringitur: in densiore quidem ad perpendicularem, in rariore vero a perpendiculari e refractionis puncto excitata", und: „Superficies refractionis est perpendicularis superficiei refractivi".

Alhazen begnügt sich nicht mit der Aufstellung derselben, sondern er versucht es, dieselben auf theoretischem Wege zu begründen und zwar wesentlich durch die Annahme, dass die Aenderung in der Richtung der Bewegung des Lichtes hervorgerufen werde durch die Verschiedenheit des Widerstandes, welchen die Bewegung in den verschiedenen Mitteln erleidet.

Mit Hilfe des beschriebenen Apparates werden alsdann genauere Messungen der Brechungswinkel vorgenommen und die Verhältnisse der zusammengehörigen Einfalls- und Brechungswinkel mit einander verglichen. Alhazen widerlegt durch seine Beobachtungen die von Ptolemaeus ausgesprochene Ansicht, als sei das Verhältnis immer dasselbe, mit den Worten: „sed anguli refractionum non observant eandem proportionem ad angulos, quos continet prima linea cum perpendiculari, sed differunt hae proportiones in eodem corpore diaphano." Eigene Beobachtungsresultate hat er uns nicht hinterlassen, nur die Anweisung, dass die Messungen von 10° zu 10° oder auch in kleineren Abständen vorgenommen werden sollen. Das aber ist bereits von ihm festgestellt worden, dass immer dieselben Einfalls- und Brechungswinkel zusammengehören, gleichviel ob man die Brechung beim Uebergang vom dichteren zum dünneren Mittel verfolgt oder umgekehrt (experimentator . . . . . videbit quod quantitates angulorum refractionis de aere ad vitrum et de vitro ad aerem semper erunt aequales VII, 11, ein Satz, der auch in der Form VII, 34 ausgesprochen wird: „Si visus et visibile in diversis mediis sua loca inter se permutant, nomina linearum incidentiae et refractionis inter se mutantur."). Darüber wie weit sich im ersteren Falle die Brechung überhaupt beobachten lässt, erfahren wir nichts näheres. In VII, 29 wird zwar einmal angedeutet, dass das Verhältniss zwischen Einfalls- und Brechungswinkel eine Grenze habe, aber eine Anwendung auf den vorliegenden Fall findet nicht statt, und der ausgesprochene Gedanke wird nicht weiter berührt.

Wie durch Reflexion, so entstehen auch durch Brechung Bilder der Gegenstände, und zwar befinden sich dieselben an andrer Stelle als der Gegenstand selbst, wie aus dem bekannten Versuch mit dem Geldstücke hervorgeht. Ihren Ort versetzt Alhazen in den Schnittpunkt des vom Gegenstand auf die brechende Fläche gefällten Lotes und des gebrochenen Strahles, bez. seiner Verlängerung und zeigt, dass immer nur ein einziges und zwar dem Gegenstande ähnliches Bild entstehe, dessen Lage je nach der des Gegenstandes und des Auges gegen einander verschieden sein müsse.

Mit der Brechung sind wiederum gewisse Täuschungen verbunden: Licht und Farbe verlieren durch sie an Intensität, so dass das Bild etwas undeutlich wird, und die Grösse des Bildes ist von der des Gegenstandes merklich verschieden. Die letztere Thatsache behandelt Alhazen eingehender für den Fall des Ueberganges aus einem dünnern in ein dichteres Medium. Durch eine einfache Betrachtung der Richtung der gebrochenen Strahlen zeigt er, dass Gegenstände innerhalb eines dichteren Mittels mit horizontaler Grenzfläche dem Auge vergrössert und gehoben erscheinen müssen — beiläufig bemerkt er hier, dass die verringerte Lichtstärke des Bildes ebenfalls dazu beitrage, den Schein der Vergrösserung wachzurufen. Ferner weist er nach (VII 44, 45), dass ein Gegenstand, auf die ebene Seite des kleineren aus einem dichteren Mittel als Luft gebildeten Kugelsegmentes gelegt, vergrössert erscheinen müsse, wenn dem Auge die convexe Seite des Segmentes zugekehrt werde. Indem er die Oberfläche des Wassers als parallel der Erde annimmt, also kugelförmig, versucht er mit Hilfe dieses Satzes die Vergrösserung eines im Wasser befindlichen Gegenstandes zu erklären (VII, 48), z. B. auch warum das untere Ende eines in das Wasser getauchten Stabes dicker erscheine als das obere. In der daran anschliessenden Erörterung finden wir die merkwürdige Stelle VII, 48: „Sed in assuetis visibilibus non est tale aliquid, quod videatur ultra corpus diaphanum sphaericum grossius aere ultra centrum sphaerae et res visa cum hoc sit intra corpus sphaericum. Hoc enim non fit, nisi corpus sphaericum fuerit vitreum aut lapideum et fuerit totum corpus sphaericum solidum et res visa fuerit intra ipsum, aut ut corpus sphaericum sit portio sphaerae major semisphaera et res visa sit applicata cum basi ejus. Sed hi duo situs raro accidunt." Zum ersten Male wird hier des Umstandes gedacht, dass ein gläsernes Kugelsegment und zwar das grössere dazu dienen könne, einen Gegenstand vergrössert erscheinen zu lassen.

Man sollte glauben, dass Alhazen diese Entdeckung durch den Versuch genauer prüfen und aus ihr weitere Schlüsse ziehen werde. Das hat er aber nicht gethan; sonst hätte er wohl kaum die Forderung aufstellen können, es solle stets die convexe Seite des Segments dem Auge zugewandt und der Gegenstand stets dicht an die ebene Seite desselben gelegt werden, und wie hätte er weiter behaupten können, dass eine derartige Lage nur selten vorkäme? Dass er die Vergrösserung als eine einfache Thatsache von seinen Vorgängern übernommen habe, ist ebenfalls wenig wahrscheinlich. Es scheint vielmehr, als hätten wir es hier mit einer rein theoretischen Folgerung zu thun, welche wohl geeignet ist, die Untersuchungen der vorigen Abschnitte abzuschliessen. Da derartige Kugelsegmente zu jener Zeit jedenfalls nicht benutzt wurden, und man die Möglichkeit, sie als Augenglässer zu gebrauchen, nicht einmal ahnte, so konnte Alhazen füglich bei Feststellung der Thatsache stehen bleiben.

Vereinzelt steht der Versuch in VII, 49 da: Betrachtet man durch eine Glas- oder Krystallkugel einen kleinen schwarzen runden Körper mit einem Auge, während man das andere schliesst, so erblickt man bei einer bestimmten Stellung des kleinen Körpers auf der Oberfläche der Kugel einen schwärzlichen Ring (nigredinem rotundam in figura armillae).

Am Schlusse seines Werkes wendet Alhazen sich zu der bekannten Wahrnehmung, dass die Gestirne am Horizonte grösser erscheinen als im Zenith. Durch die Brechung lässt sich dieselbe nicht erklären, denn durch diese wird, wie er zeigt, der Durchmesser eines Sternes (wie auch der Abstand zweier) verkleinert, weil die in das Auge gelangenden Lichtstrahlen nach dem Brechungsgesetze immer in denselben Verticalkreisen bleiben, diese aber nach dem Zenith hin immer näher an einander rücken und folglich die Sterne um so kleiner erscheinen müssen, je mehr sie durch die Brechung gehoben werden. Der eigentliche Grund für die Vergrösserung ist vielmehr der, dass das Auge die Grösse der Gegenstände schätzt nach der des Gesichtswinkels und nach der vorausgesetzten Grösse ihrer Entfernung. Wenn die Sterne nun am Horizonte stehen, so können wir ihre Entfernung mit den dazwischen liegenden irdischen Gegenständen vergleichen, daher erscheint uns dieselbe weiter, als wenn wir sie im Zenith oder in der Nähe desselben erblicken. In beiden Fällen ist aber der Gesichtswinkel der gleiche, daher muss das Gestirn am Horizonte grösser erscheinen. Die meistens am Horizonte befindlichen Dünste tragen ebenfalls zu dieser scheinbaren Vergrösserung bei. Alhazen stellt dieselbe im wesentlichen also als eine Sinnestäuschung dar, die ihre Ursache hat in dem Einflusse unseres Urteils auf das Sehen. Demselben Einflusse ist es auch zuzuschreiben, dass das Himmelsgewölbe abgeplattet erscheint (VII, 52—54).

Mit diesen Betrachtungen schliesst der Opticae Thesaurus. Der Inhalt des Anhanges über die Höhe der Atmosphäre ist in den bekannten Geschichtswerken nicht ganz richtig wiedergegeben. Gestützt auf die Alten, versetzt Alhazen darin Anfang und Ende der Dämmerung in den Zeitpunkt, in welchem die Sonne eine negative Höhe von 19° erreicht, giebt den Teil eines grössten Kreises der Erdoberfläche, welcher von der Sonne beleuchtet wird, auf 180° 27′ 52″ an und bestimmt nun die Höhe der Atmosphäre. Die Methode, deren er sich dazu bedient, beruht auf der Annahme, dass die äusserste Luftschicht am Horizonte, welche bei Anfang oder Ende der Dämmerung noch Licht zu reflectieren vermag, zugleich die Grenze der Atmosphäre sei, und dass diese ihr Licht von der 19° unter dem Horizonte befindlichen Sonne empfange.

Benutzt man nun den von Alhazen angegebenen Wert des beleuchteten Teiles der Erdoberfläche, so stellt sich durch eine einfache Rechnung bei Annahme des Erdradius r = 860 Meilen die Höhe der Atmosphäre auf ungefähr 11,6 Meilen. Alhazen nimmt indes den Erdradius zu klein an, indem er den Umfang der Erde zu 24 000 italienischen, also etwa zu 4 800 deutschen Meilen ansetzt, und erhält infolge dessen einen kleineren Wert, nämlich 52 000 Schritt für die gesuchte Höhe, d. h. etwa 10 Meilen, den Wert des Milliare italicum etwa zu 1,5 km gerechnet.

Es ist dies der erste Versuch einer derartigen Berechnung und verdient als solcher die höchste Beachtung. Selbstverständlich kann aber auf diesem Wege die gestellte Aufgabe nicht gelöst werden, da auch die Brechung des Lichtes berücksichtigt werden muss.

Die beiden andern genannten optischen Schriften sind in gewissem Sinne nur Ergänzungen des Opticae Thesaurus. Die erste derselben, die Abhandlung über das Licht hat im wesentlichen folgenden Inhalt: Die Behandlung des „Was" des Lichtes gehört in die Naturwissenschaften, aber die Behandlung des „Wie" der Strahlung gehört in die Mathematik. Auch die Behandlung des „Was" des Strahles gehört in die Naturwissenschaften, die seiner Form und Erscheinung wiederum in die Mathematik. Ebenso verhält es sich mit den durchsichtigen Körpern: Das „Was" ihrer Durchsichtigkeit gehört in das Gebiet der Naturwissenschaften, das „Wie" der Ausbreitung des Lichtes in ihnen in das der mathematischen. Die Behandlung des Lichtes, des Strahles und der Durchsichtigkeit muss daher aus Natur- und mathematischen Wissenschaften zusammengesetzt sein.

Die Körper werden eingeteilt in „selbst leuchtende" und „nicht selbst leuchtende". Das Licht der ersteren ist eine wesentliche, das der letzteren eine zufällige (accidentielle) Eigenschaft derselben. Die Mathematiker nehmen an, dass das Licht der selbst leuchtenden Körper eine Feuerhitze und dass alle Lichterscheinungen gleicher Art seien.

Das Licht strahlt von jedem selbst leuchtenden Körper auf die ihm gegenüberstehenden. Je nachdem es sich nun in diesen fortpflanzen kann oder nicht, teilt man sie ein in durchsichtige und undurchsichtige. Die durchsichtigen zerfallen wieder in zwei Gruppen, deren erste die ganz durchsichtigen z. B. Bergkrystall, deren zweite diejenigen umfasst, bei denen das Licht nur in einige Teile eindringen kann (dünne Zeuge z. B., deren Fäden undurchsichtig sind). Beide Arten von Körpern haben die Kraft, das Licht aufzunehmen, aber nur die durchsichtigen haben die Kraft, es vermöge ihrer Durchsichtigkeit weiter fortzuleiten. Das Licht strahlt von jedem leuchtenden Körper aus, es dringt in jeden benachbarten durchsichtigen Körper ein und wird auf jedem gegenüberstehenden undurchsichtigen Körper sichtbar, es dringt aber immer nur auf geradlinigen Bahnen vorwärts.

Unter den durchsichtigen Körpern nimmt der Aether insofern eine besondere Stellung ein, als seine Durchsichtigkeit unter allen Umständen die gleiche bleibt. Die übrigen durchsichtigen Körper, welche Alhazen als „unterhalb des Aethers“ bezeichnet und welche er in drei Classen 1. Luft, 2. Wasser und durchsichtige Flüssigkeiten und 3. durchsichtige Steine, wie Glas etc. teilt, zeigen je nach den Verhältnissen erhebliche Verschiedenheiten und besitzen sogar eine gewisse Undurchsichtigkeit, so dass sie, vom Licht getroffen, dies reflectieren und secundäres Licht aussenden können, was bei absolut durchsichtigen Körpern nicht vorkommen kann, denn diese werden vom Lichte vollkommen durchdrungen und behalten nichts davon zurück.

Die schon erwähnte Gegenüberstellung der Ansichten der Mathematiker und Naturforscher findet ihren klarsten Ausdruck in der Erörterung von Eigenschaften der Körper wie Durchsichtigkeit und Teilbarkeit. Alhazen kommt dabei zu dem Resultate, dass in der Vorstellung wohl die Teilbarkeit eines Körpers bis in das Unendliche gehe, wie auch die Ansicht der Mathematiker sei, dass aber in Wirklichkeit, wie die Naturforscher behaupten, jede Eigenschaft eines Naturkörpers nur bis zu einer gewissen Grenze gehen könne, wenn derselbe seine „Seinsform“ beibehalten solle; so sei auch die Durchsichtigkeit in der Einbildung eine unbegrenzte, in den Naturkörpern aber eine begrenzte und die Durchsichtigkeit des Himmels bilde die äusserste Grenze derselben.

Bei Besprechung der Lichtstrahlen kommt Alhazen in dieser Schrift gelegentlich auf die bekannte Theorie der Sehstrahlen, welche vom Auge ausgehen, das Sehen bewirken und den Strahlen der Sonne ähnlich sein sollen, bezeichnet dieselbe als die ältere und stellt daneben die Ansicht, dass das Sehen mittelst Lichtstrahlen stattfinde, welche sich vom Gegenstande zum Auge fortpflanzen, ohne, wie im Opticae Thesaurus, eine bestimmte Entscheidung über die Richtigkeit der einen oder der andern Ansicht zu treffen, ja ohne überhaupt den Gegensatz von Licht- und Sehstrahlen auch nur anzudeuten.

Es ist eigentümlich, dass Alhazen sich hier nicht entschieden für die Richtigkeit der einen oder der andern Ansicht erklärt, und daher habe ich früher bei Besprechung seiner Optik die Vermutung ausgesprochen, diese Abhandlung sei vor dem Opticae Thesaurus entstanden. Nach Lectüre der Baarmannschen Uebersetzung muss ich indes diese Vermutung als irrig bezeichnen, da in der gedachten Schrift mehrfach des Opticae Thesaurus als eines bekannten Werkes Erwähnung gethan wird. Inhaltlich spricht nichts gegen meine frühere Annahme.

Auch die ebenfalls in neuster Zeit aufgefundene Schrift über die Brennkugel scheint später entstanden zu sein als der Opticae Thesaurus; denn in diesem ist von Versuchen mit Kugeln nur an einer einzigen Stelle (VII, 49) die Rede, und doch würde Alhazen schwerlich gezögert haben, andere Entdeckungen über den Gang des Lichtes durch Kugeln gleich in diesem Werke zu veröffentlichen, wenn dieselben nicht die Frucht späterer Arbeiten gewesen wären. Alhazen giebt in ihr folgendes an: „Es hat Ptolemaeus in seinem

Werke über Optik im 5. Buche bewiesen, dass wenn der Einfallswinkel 40^0 beträgt, dann der Brechungswinkel 25^0, und dass, wenn ersterer 50^0, dann letzterer 30^0 beträgt. Hieraus geht hervor, dass der Ablenkungswinkel, d. h. der Winkel zwischen dem gebrochenen Strahl und der Verlängerung des einfallenden, von 40^0 15^0 beträgt und der von 50^0 20^0. Daraus folgt weiter, dass die Zunahme des Ablenkungswinkels von 50^0 gegen den von 40^0 gleich ist der Hälfte der Zunahme der beiden Einfallswinkel. Weiter hat Ptolemaeus bewiesen, dass die Zunahme der Ablenkungswinkel, welche Einfallswinkeln von mehr als 50^0 entsprechen, grösser sind als die Hälfte der Zunahme der Einfallswinkel. Indem Alhazen dann noch voraussetzt, dass der Centriwinkel doppelt so gross ist als der entsprechende Peripheriewinkel, erhält er das Resultat: „Bei jeder glatten und durchsichtigen Kugel von Glas oder ähnlicher Substanz wird die Wärme der Sonnenstrahlen in einer Entfernung von der Kugel vereint, die kleiner ist als ein Viertel des Durchmessers." Alhazen wusste auch, dass nicht alle Strahlen in demselben Punkte vereinigt würden. Seine Beweise erläutert er durch genaue Figuren, deren Veröffentlichung uns Wiedemann hoffentlich nicht lange mehr vorenthalten wird.

Mit dem vorliegenden ist der Inhalt der uns bekannten Schriften Alhazens im wesentlichen erschöpft. Wollen wir auf Grund derselben ein Urteil über seine wissenschaftlichen Leistungen fällen, so kann dies, wie leicht erklärlich, für die mathematische Seite seiner Thätigkeit nur in beschränktem Masse geschehen, trotzdem Alhazen, wie wir wissen, in erster Linie Mathematiker gewesen ist, trotzdem seine Physik ihn vielfach vorzugsweise als Mathematiker zeigt wie z. B. in den ausgedehnten rein mathematischen Untersuchungen des fünften und sechsten Buches des Opticae Thesaurus, und trotzdem er gerade als solcher bei seinen Zeitgenossen in höchstem Ansehen gestanden hat. Einen Teil seines Ruhmes auf diesem Gebiete hat er sicherlich dem Umstande zu verdanken, dass er als Commentator der Alten Bedeutendes geleistet, durch Erklärung schwieriger Stellen[1]) das Studium derselben erleichtert und zugleich die Lehren derselben weiter verbreitet hat, den andern und grössten Teil seines Ruhmes verdankt er aber jedenfalls seinen selbstständigen Untersuchungen, die sich über alle damals bekannten Gebiete mathematischer Wissenschaft ausgedehnt haben, hier verdankt er ihn zum Teil auch der Lösung von Streitfragen, welche, von den Gelehrten seiner Zeit aufgeworfen, das Interesse weiterer Kreise erregt hatten. Die Worte Ibn Usaibias, niemand sei zu irgend einer Zeit Alhazen in Bezug auf die Kenntnis mathematischer Wissenschaften auch nur gleichgekommen, werden danach wohl kaum eine Uebertreibung enthalten. Auch der Astronomie als einem Zweige der Mathematik hat Alhazen seine Aufmerksamkeit zugewandt und in einer Reihe von Schriften Probleme aus ihr behandelt. Auch in ihr müssen seine Leistungen bedeutend gewesen

[1]) Usaibia nennt mehrere derartige Schriften, deren Titel Woepcke angiebt, z. B.: Mémoire pour résoudre un doute sur Euclide, relativement au 5ème livre de son Traité des éléments mathématiques.

sein, denn nur auf Grund dieser konnte er mit Aussicht auf Erfolg wagen, in einem öffentlichen Schreiben[1]) zu astronomischen Beobachtungen anzuspornen. Wir wissen indes, wie gesagt, zu wenig von der Thätigkeit Alhazens auf diesen Gebieten, als dass wir abschliessend über dieselbe urteilen könnten. Für uns liegt der Schwerpunkt seiner Leistungen auf dem Gebiete der Optik und deren Bedeutung ist ja schon früh in Europa gewürdigt worden.

Es fragt sich, wie weit dieselben als Resultat eigener Forschungen anzusehen sind, und wieviel derselben aus andern, besonders griechischen Autoren entlehnt ist. Ein Blick auf die einschlägige Litteratur zeigt sofort, dass es sich hier nur darum handeln kann, festzustellen, bis zu welchem Grade Alhazen von seinem grössten Vorgänger Ptolemaeus abhängig ist, denn von der Zeit dieses bis auf Alhazen ist kein irgend wie bedeutendes Werk über Optik erschienen; wenn also überhaupt einer der älteren, so könnte nur Ptolemaeus als Quelle gedient haben. In der That ist schon von Roger Baco gegen Alhazen der Vorwurf erhoben, er habe nur den Ptolemaeus ausgeschrieben, und dieser Vorwurf ist von Montucla mit dem Bemerken wiederholt worden, die verloren gegangene Optik des Ptolemaeus sei das vollständigste Werk der Alten, und man vermute von Alhazen mit Recht, obschon er es leugne, dass er fast seine ganze Optik Ptolemaeus entlehnt habe. Beider Behauptungen sind unrichtig. Montucla freilich, unbekannt mit der Optik des Ptolemaeus, konnte nur Bacos Angabe in gutem Glauben wiederholen. Dieser hingegen war nicht im mindesten zu seinem Vorwurfe berechtigt, denn er musste diese Optik kennen, da sie erst später verloren gegangen ist. Ein Manuscript derselben ist dann von La Place wieder aufgefunden und von Delambre auf Humboldts Veranlassung einer genaueren Untersuchung unterzogen worden. Das Ergebnis dieser liefert den Beweis dafür, dass Alhazens Werk ein durchaus selbständiges ist. Die beiden zuletzt behandelten, allerdings erst kurze Zeit bekannten Schriften beweisen überdies hinlänglich, dass Alhazen weit entfernt gewesen ist, Untersuchungen des Ptolemaeus oder eines andern als seine eigenen in Anspruch zu nehmen, denn er führt z. B. Ptolemaeus und dessen Sätze, wie wir gesehen, selbst an, desgleichen gedenkt er seiner und des Aristoteles in der Abhandlung über das Licht und citiert dort auch den Mathematiker Abu Said al Ala ben Sahl, was doch gegen eine unrechtmässige Benutzung anderer spricht. In Bezug auf Ptolemaeus erscheint eine derartige Behauptung völlig unhaltbar angesichts der Thatsache, dass Alhazen selbst einen Abriss der Optik des Ptolemaeus veröffentlicht hat.

Dass Alhazen im Opticae Thesaurus nirgend eine fremde Autorität erwähnt, scheint durch die Thatsahe begründet, dass in dem grössten Teile dieses Werkes eigene neue Untersuchungen gebracht werden, welche solche Citationen überflüssig machen. Dennoch lässt er auch hier an verschiedenen Orten seine Bekanntschaft mit seinen Vorgängern durchblicken, so in den

[1]) Ich beziehe mich hier auf das „Schreiben an mehrere Rajas, um zu astronomischen Beobachtungen zu ermutigen".

bereits erwähnten Stellen I, 13 und VII, 37 und endlich in VI, 6, wo er die Besprechung der Bilder in den Convexspiegeln mit den Worten schliesst: „Hujus autem rei explanationem nec scriptam legimus nec aliquem qui dixisset aut intellexisset audivimus.“

Ein Vergleich der Leistungen Alhazens mit denen des Ptolemaeus zeigt, wie bedeutende Fortschritte die Optik gerade dem ersteren zu verdanken hat: Alhazen ist der erste Physiker gewesen, der den Bau des Auges berücksichtigt und auf Grund desselben eine ausführliche Theorie des Sehens entwickelt hat, die trotz unrichtiger Voraussetzung über die Funktionen der Krystallinse zu Resultaten führt, welche mit denen unserer heutigen Lehren fast übereinstimmen. Die Annahmen und Versuche, durch welche er die Bedingungen des Einfach- und des Doppeltsehens feststellt, sind als von ihm selbst gemachte Entdeckungen zu bezeichnen. Er hat ferner zuerst in bestimmter Weise die Unrichtigkeit der Lehre von den Gesichtsstrahlen nachgewiesen, diese Lehre endgiltig aus der Physik entfernt und die entgegengesetzte eingeführt — eine Aenderung in den Grundlagen der Optik von ausserordentlicher Tragweite. Auch die Behauptung, dass die Fortpflanzung des Lichts Zeit ererfordere, finden wir schon bei ihm. Eine wie gewaltige Kluft trennt hier Ptolemaeus und Alhazen, die griechische und die arabische Schule!

In der Lehre von der Reflexion überragt Alhazen alle seine Vorgänger durch die Klarheit der Anschauungen. Er beweist zuerst vermittelst des Apparates die bezüglichen Gesetze gleichzeitig für alle Arten der Spiegel und giebt zuerst eine richtige Erklärung der Spiegelbilder. Die Untersuchungen über den Ort, über die Verzerrungen der Bilder und die Lösung der nach ihm genannten Aufgabe sind neu.

Auch in der Kenntnis der Refraction übertrifft Alhazen den Ptolemaeus. Er weiss, dass das Verhältnis zwischen Brechungs- und Einfallswinkel nicht constant ist, dass der Weg des Lichts durch zwei Mittel vorwärts und rückwärts derselbe bleibt, dass das Bild eines Gegenstandes in einem dichteren Mittel gehoben und vergrössert erscheint, und bestimmt endlich den Ort desselben in noch heute giltiger Weise. Als ein merkwürdiges Resultat seiner Untersuchungen erscheint hier die Entdeckung der vergrössernden Kraft gläserner Kugelsegmente, welche auf die erste Anfertigung der Augengläser nicht ohne Einfluss geblieben sein kann. — Der von Alhazen angegebene Grund für die scheinbare Vergrösserung der Gestirne am Horizonte ist der einzige, den wir bisher kennen, und viel richtiger als der des Ptolemaeus, welcher die Verkleinerung im Zenith durch die ungewöhnliche Stellung der Augen beim Sehen zu erklären sucht, während er in andern Punkten der astronomischen Strahlenbrechung genauer ist als Alhazen. — Dass die Berechnung der Höhe der Atmosphäre so wie die Untersuchungen über die Brennkugel von keinem Physiker vor Alhazen auch nur angedeutet sind, bedarf kaum besonderer Erwähnung.

So ist denn Alhazen in der Optik erfolgreich als Neuerer aufgetreten. Wie weit ihm dazu von Zeitgenossen die Wege geebnet sind, können wir heute nicht mehr ermessen, doch dürften wir kaum fehlgehen, wenn wir annehmen, dass er gerade durch selbständige Entdeckung neuer Wahrheiten zu dem hohen Ansehen gelangt ist, in welchem er als Gelehrter bei Mit- und Nachwelt gestanden, und von dem noch die Worte Risners Zeugnis ablegen: „Diligentiam sane et doctrinam in arabe homine mirabilem deprehendi." Mögen hier und da vielleicht Ansichten, den seinigen ähnlich, auch schon früher ausgesprochen worden sein, diese geklärt und zwischen den widerstreitenden Meinungen endgiltig entschieden zu haben, ist unstreitig Alhazens Verdienst, und damit hat er die grossartige Umwälzung in den Grundlehren der Optik bewirkt, durch welche bei dem Beginne des neuen Jahrtausends der Forschung neue Bahnen angewiesen und die glänzenden Entdeckungen der Neuzeit vorbereitet wurden.