Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. XXXVIII.

Von Eilhard Wiedemann.

Theorie des Regenbogens von *Ibn al Haitam*.

Zu den Erscheinungen, mit denen sich die arabischen Gelehrten besonders eingehend beschäftigt haben, gehören die meteorologischen Vorgänge, vor allem die Lichterscheinungen in der Luft und unter diesen in erster Linie der Regenbogen und der Halo. Bei deren Erklärung lehnen sie sich zum Teil eng an diejenige von Aristoteles an, zum Teil entfernen sie sich ziemlich weit von ihr. Stark beeinflußt ist *Ibn Sînâ*, der sich mit dem Regenbogen in seinem *Kitâb al Schifâ* (Werk der Genesung) befaßt hat[1]). Eng schließen sich ferner an ihn an die von zwei anonymen Autoren herrührenden Betrachtungen sowie die von *Qarâfi*[2]) angestellten. Dasselbe gilt für die Angaben der getreuen Brüder (*Ichwân al Ṣafâ*) und von *Qazwînî*.

Wesentlich anders faßt *Ibn al Haitam* das Problem an. Daß er eine Schrift über den Regenbogen und den Halo verfaßt hat, geht aus *Ibn Abî Uṣaibi'a*[3]) hervor. Sie ist uns in einem Anhang zu deren Kommentar zu *Ibn al Haitams* Optik von *Kamâl al Din al Fârîsî* von letzterem mitgeteilt[4]). Später

[1]) Der betreffende Abschnitt ist von M. Horten und mir selbst behandelt in der Meteorologischen Zeitschrift 1913, S. 533.

[2]) Die Arbeiten der beiden anonymen Autoren hat Cheikho (*Machriq* Bd. 15, S. 736. 1912) veröffentlicht. Eine Übersetzung von ihnen sowie der Stelle von *Qarâfi* habe ich im Archiv für Geschichte der Naturwissenschaften und Technik Bd. 4, S. 453. 1913 gegeben.

[3]) Vgl. E. Wiedemann, Rosenthal-Festschrift S. 172. 1906.

[4]) Das Werk ist in einer Leydener Handschrift (Cod. 201, Gol. Nr. 1011, Katalog Bd. 3, S. 61) und einer Konstantinopolitaner erhalten. Erstere konnte ich dank dem Entgegenkommen von Herrn Prof. De Goeje und Dr. W. Juynboll mehrfach benutzen.

hat dieser selbständig das Problem in ganz eigenartiger Weise behandelt.

Ibn al Haitam hat in seiner Schrift über den sphärischen Hohlspiegel gezeigt, daß, wenn von einem leuchtenden Punkt b, der sehr weit entfernt ist, Strahlen ausgehen und diese durch Reflexion an einem sphärischen Hohlspiegel zu einem auf der Achse gelegenen Punkt a gelangen, dies nur bei der Reflexion an einem zur Achse konzentrischen Kreise der Fall ist. Hat der leuchtende Körper eine gewisse Ausdehnung, so muß an Stelle des Kreises ein mehr oder weniger breiter Kreisring treten. Die Wolke stellt nun einen solchen Hohlspiegel dar und der Kreisring entspricht dem Regenbogen. Die Farben werden wie üblich aus einer Mischung von Licht und Schatten erklärt. Sind schon die Ausführungen von *Ibn al Haitam* interessant, so ist dies erst recht bei der an ihnen von *Kamâl al Dîn* angelegten scharfen Kritik der Fall.

Den Halo erklärt *Ibn al Haitam* in ganz eigner Weise. Auge und Mittelpunkt g der hohlkugelförmigen Wolke liegen auf derselben und zwar der konkaven Seite, das Auge a befindet sich dabei zwischen Mittelpunkt und Wolke. Die Lichtquelle b liegt auf der konvexen Seite. An Teilchen der Wolke, die geradlinig in der Richtung eines Rades der Wolke aneinandergereiht sind, findet die Reflexion der von b ausgehenden Strahlen nach a statt. — Der Bequemlichkeit wegen geht *Ibn al Haitam* stets vom Sehstrahl und nicht vom Lichtstrahl aus, läßt also die von a ausgehenden Strahlen nach b reflektiert werden. Zu beachten ist, in wie hohem Maße *Ibn al Haitam* im Stande ist, schwierige geometrische Probleme zu lösen[1]).

Ich gebe im folgenden die hier und da etwas gekürzte Übersetzung wieder.

Zunächst kommen die üblichen Segenssprüche, dann heißt es[2]):

Die Himmelszeichen (die meteorologischen optischen Erscheinungen) gehören zu den wunderbaren Werken Gottes und zu den außerordentlichen Zeichen seiner Macht. Ihre Ursachen sind (im allgemeinen) den Augen verborgen und dem Scharfblick dunkel, nicht aber bei dem

[1]) Einen Vergleich der Entwicklungen von *Ibn al Haitam* und Dietrich von Freiberg wird Herr Dr. Würschmidt in der meteorologischen Zeitschrift geben.

[2]) In dem folgenden findet sich viel Phrasenhaftes; ich habe dies wesentlich gekürzt.

Regenbogen und dem Halo. Die Früheren haben sich um ihre Erklärung bemüht und haben das geprüft, was sie durch ihren Scharfsinn und ihr Nachdenken im Laufe der Zeit und unter Benutzung der früheren Resultate erlangt hatten. Die meisten ihrer Angaben über die Ursachen sind verstandesmäßig möglich; nicht aber das auf die Himmelszeichen Bezügliche, da dies dem Augenschein widerstreitet und den Beweisen nicht entspricht.

Ich suchte nun Hilfe bei Gott, der mir eine Lehre offenbarte, die nicht mit jener falschen Lehre zu verwechseln ist. Ich nahm mir nun vor, diese auf Blättern festzulegen (zu Papier zu bringen) und machte es zu einem Anhang zu dem *Tanqiḥ al Manâẓir* (d. h. der Optik). Zuerst müssen wir aber die Ausführungen der Früheren verfolgen und aus ihnen das auswählen, was auf die Besten, die darüber gesprochen haben, zurückzuführen ist. Mit Rücksicht auf die mathematischen Wissenschaften ist dies *Ibn al Haiṭam*, Gott sei ihm gnädig, und mit Rücksicht auf die philosophischen der *Scheich al Rais* (d. h. *Ibn Sinâ*), Gott erhöhe seinen Rang. Wir wollen von ihm das beibringen, was er in der *Schifâ* gesagt hat, so daß wir nach dem Studium ihrer Werke nicht der übrigen Dissertationen und Abhandlungen, die über die Himmelszeichen verfaßt sind, bedürfen[1]). Wir teilen zunächst die Abhandlung von *Ibn al Haiṭam* über die Himmelszeichen mit und zwar sorgfältig redigiert (*muḥarrar*) und dann, was der *Scheich* in der *Schifâ* gesagt hat.

Nach der wahren Beschaffenheit[2]) eines Dinges forscht man in einer seiner Art entsprechenden Weise; ist das Ding einfach, so benutzt man eine einfache, ist es zusammengesetzt, eine zusammengesetzte Methode. Ein besonderes Interesse erregen der Halo und der Regenbogen, die dem Verstand zahlreiche Schwierigkeiten bieten. Sie treten stets in der dichten Luft auf und haben stets die gleiche Gestalt. Der Halo ist stets ein vollkommener Kreis, der Regenbogen hat stets diejenige des Stückes von einem Kreis. Da sie in der Luft auftreten, müssen sie physikalisch, und da sie Kreisgestalt haben, mathematisch behandelt werden. Man muß sie also unter diesen beiden Gesichtspunkten betrachten.

Von der Physik kommt das Folgende in Betracht. Liegt hinter einem durchsichtigen Körper A oder ihm gegenüber ein leuchtender oder gefärbter Körper (B und C), so sieht man B, da A durchsichtig ist; C sieht man, da der feuchte[3]), dichte Körper mit gleichartigen Teilen sich wie ein Spiegel verhält, in dem man jeden gegenüberliegenden Gegenstand erblickt. Seine Farbe sieht man an derselben Stelle der Oberfläche wie das Objekt. Ist der Körper nicht vollkommen durchsichtig oder nicht vollkommen glatt, so ist das Bild dem Objekt nicht ganz gleich, sondern nur ähnlich. Sieht man den Gegenstand auf dem dichten feuchten Körper,

[1]) Es gibt noch eine Reihe anderer Schriften über meteorologische Erscheinungen, so von *al Kindi*; vgl. Beiträge V, S. 432.

[2]) Das Folgende ist gekürzt.

[3]) Von einem „feuchten" Körper war vorher noch nicht die Rede. *Ibn al Haiṭam* denkt an die Wolke.

so ist seine Farbe durch diejenige dieses zum Teil überdeckt. Je weniger durchsichtig der Körper ist, und je ausgesprochener seine Farbe ist, um so unklarer sind die in ihm gesehenen Farben.

Von mathematischen Sätzen kommt in Betracht: Jeder geradlinige Sehstrahl, der auf die Fläche eines feuchten dichten Körpers fällt, dringt, wenn er senkrecht auffällt, in gerader Richtung ein, sonst wird er an der Auftreffstelle zum Lot abgelenkt.

Ich sage[1]): Wenn man von der Brechung der Sehstrahlen spricht, will man nur auf die Richtung, auf der das Bild ankommt, hinweisen.

Er sagt: Ein auf einen dichten glatten Körper fallender Sehstrahl wird von ihm nach ganz bestimmten Winkeln reflektiert (*in'akas*); jeder Strahl wird zerlegt (zerbrochen, *inkasar*), er wird aber nur in einer auf der Grenzfläche senkrechten Ebene zerlegt [sc. die auch durch den einfallenden Strahl geht].

Ich sage, daß *Inkisâr*[2]) (Zerbrechung) sich auf Reflexion und Brechung bezieht.

Er sagt: Jeder Strahl, der nach der Zerbrechung seine Gestalt (Art, *Haija*) beibehält, erfaßt die Objekte, die er trifft, in richtiger Weise; bei einem Strahl, der seine Gestalt bei seiner Zerbrechung ändert, erfaßt man nichts, so wie es sein soll. Was man mit einem zerlegten Strahl erfaßt, erfaßt man stets in der geraden Richtung des ersten Strahles. Wird der Strahl an einer im Verhältnis zum [gesehenen] Objekt [d. h. des von dem Auge ausgehenden Sehstrahles] kleinen Fläche zerlegt, so sieht man nur die Farbe, nicht aber die Form des Objektes.

Die beiden oben erwähnten Himmelszeichen treten stets nur dann auf, wenn eine dichte feuchte Luft vorhanden ist. Sie treten aber nicht immer auf, wenn die Luft dicht ist, sondern es muß noch zugleich mit der feuchten Luft ein leuchtender Körper vorhanden sein. Auch die Lage der Luft muß eine bestimmte sein. Liegt die dichte feuchte Luft zwischen unserem Auge und dem leuchtenden Körper, so erhalten wir den Halo, liegt aber unser Auge zwischen der feuchten Luft und dem leuchtenden Körper, so erhalten wir den Regenbogen. Aber selbst unter diesen Bedingungen zeigen sich Halo und Regenbogen nicht stets, sondern nur manchmal. Es müssen daher für sie noch andere Ursachen vorhanden sein, durch die sie hervorgerufen werden.

Die Luft, in der diese Zeichen eingeprägt sind[3]), hat unter sich gleiche Teile. Es wird aber nicht all diesen Teilen ein Zeichen ein-

[1]) „Ich sage" bedeutet, daß der *Kâmal al Dîn* zu den Ausführungen von *Ibn al Haiṭam* eine Bemerkung macht. Des letzteren Ausführungen werden mit „Er sagt" wieder aufgenommen.

[2]) Ich behalte das freilich im Deutschen ungebräuchliche Wort „Zerbrechung" bei. Es bedeutet, daß der Strahl seine Richtung ändert.

[3]) Es taucht hier eine sonst von *Ibn al Haiṭam* nicht vertretene Ansicht auf, nämlich daß eine Einprägung der Bilder auf den reflektierenden Flächen vorhanden ist (vgl. M. Horten und E. Wiedemann a. a. O., S. 534 unten).

geprägt, sondern nur eines von ihnen, das sich an einem bestimmten Ort im Verhältnis zu unserem Auge befindet. Dabei wird der Sehstrahl an den Flächen der feuchten Körper zu dem Objekt und zwar nach einem bestimmten Ort von einer bestimmten Stelle zurückgeworfen; weiter sieht man die Farbe des Objektes an der Stelle, von der der Strahl reflektiert wird. Aus all dem folgt, daß man dies Zeichen nur infolge der Reflexion des Sehstrahles von dem feuchten Körper zum leuchtenden Körper sieht.

Ich sage: Wie später gezeigt werden wird, ist die Brechung des Strahles zu berücksichtigen.

Er sagt: Die beiden Zeichen kommen dadurch zustande, daß die Beschaffenheit der Wolke derartig ist, daß die Sehstrahlen vom feuchten Körper zum leuchtenden reflektiert werden, daß sie so liegt, daß, wenn die Zeichen zu sehen sind, die Reflexion in richtiger Weise stattfindet.

Wir müssen nun zeigen, wie die Reflexion der Sehstrahlen von der feuchten Luft zum leuchtenden Körper vor sich geht, an welcher Stelle dies stattfindet, und wie dadurch die Zeichen entstehen.

Ein Strahl wird, wenn er zerbrochen wird, nur nach bestimmten Winkeln zerbrochen und wird nach der Zerbrechung nur dann wahrgenommen, wenn der Strahl seine [ursprüngliche] Gestalt beibehält. Daher muß die Fläche des feuchten Körpers, an dem der Strahl so zerbrochen wird, daß man das, was zu ihm gelangt, erfassen kann, glatt sein und eine bestimmte Anordnung aufweisen; denn nur auf den glatten und sich aneinander schließenden (d. h. nicht aus einzelnen Stücken bestehenden) Flächen kann man sich Linien (Tangente u. s. w.) denken, die mit den Strahlen gleiche Winkel bilden. Bei ihnen können die an ihnen zerbrochenen Strahlen ihre Gestalt beibehalten. An anderen Flächen ist dies nicht der Fall.

Es mögen nun Strahlen an einer zusammenhängenden Fläche nach einem Objekt hin zerbrochen (d. h. reflektiert oder gebrochen) werden. Von dem Auge gehe ein Strahl I zu einem Punkt der Fläche aus, der unter einem bestimmten Winkel zu einem Punkt α des Objektes zerbrochen wird. Ein Strahl II, der dem ersten benachbart ist, geht nach einem dem ersten Punkt auf der Ebene benachbarten Punkte und wird dort zu einem α benachbarten Punkt des Objektes zerbrochen. Nach und vor dem Zerbrechen haben die Strahlen die gleiche Gestalt. Bei nicht glatten Flächen ist das nicht der Fall, denn selbst unmerklich kleine (benachbarte) Teile haben verschiedene Lagen gegeneinander. Auf ihnen erkennt man nicht die Farbe des Objektes und wenn man sie ja erkennt, so ist sie außerordentlich schwach, denn was man auf dem Objekt [durch den Sehstrahl] erblickt, erblickt man auf jeder Fläche isoliert. Haben die einzelnen Flächen verschiedene Lagen und die aus ihnen zerbrochenen Strahlen verschiedene Lagen, so endigen diese an verschiedenen Stellen des Objektes, die eventuell an verschiedenen Stellen verschiedene Farben haben, keine der Flächen hat eine merkliche Größe, daher sieht man auf der nicht zusammenhängenden Fläche auch keine Farbe der Objekte, und

selbst wenn man eine solche sieht, so ist sie nur undeutlich und schwach. Daher muß ein feuchter Körper, von dem die Strahlen reflektiert werden, und auf dem eine Farbe der Objekte erscheinen kann, entweder eine glatte oder eine aus nicht äußerst kleinen Teilen zusammengesetzte Fläche haben. Je besser sich die Fläche zusammenschließt und je größer die sie bildenden Teile sind, um so mehr entspricht das, was man sieht, der Wirklichkeit, und um so deutlicher ist dessen Farbe und umgekehrt.

Die beiden Himmelszeichen treten nur dann in feuchter Luft auf, wenn diese eine solche Form (Gestalt) besitzt, daß die Strahlen von ihr reflektiert werden und die Farbe des Objektes erscheint. Es muß daher ein Zusammenschließen entweder an der näheren Fläche selbst oder den dieser benachbarten Teile bestehen. Je besser der Zusammenschluß ist um so mehr entspricht die Farbe der Wirklichkeit. Da das Zeichen kreisförmig ist, so tritt es nur auf einer besonderen Fläche auf oder auf Flächen, die in besonderer Weise zusammenhängen.

Wir müssen noch zeigen, bei welcher Gestalt der Flächen es möglich ist, daß die Strahlen kreisförmig reflektiert werden.

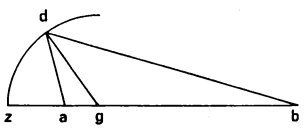
Der Regenbogen soll nur durch Reflexion der Strahlen an der Fläche der feuchten Luft entstehen, wobei das Objekt ein leuchtender Körper ist. Wir wissen aber aus den Elementen der Lehre von der Reflexion, daß der Sehstrahl bei einer ebenen und einer konvexen Fläche nur an einer einzigen Stelle zu einem einzigen Objekt reflektiert werden kann; die Größe dieser Stelle entspricht der Größe des Objektes. Die betreffende Fläche muß also eine konkave sein, auf der man sich ein Kreisstück vorstellen kann. Befindet sich das Zeichen auf kleinen glatten Teilen, so müssen diese sich zu einem Hohlraum so zusammenschließen, daß man sich auf ihrer Gesamtheit einen Kreis denken kann. Es gibt nun verschiedene konkave Gestalten, auf denen man sich ganze Kreise oder Teile von denen vorstellen kann. Die Kugel ist aber der am schönsten disponierte und den Teilen der Welt ähnlichste, daher hat der Körper [an dem die Zeichen entstehen] eine solche Gestalt. Ferner ist die Gestalt der Luft, des Wassers und der Teile der Welt, die die Luft umgeben, kugelförmig. Der Dunst *Buchâr* erhebt sich ferner von Kugelfläche zu Kugelfläche auf allen Seiten in gleicher Weise, er muß daher die Gestalt einer Kugel haben, deren Mittelpunkt im Mittelpunkt der Welt gelegen ist. Jedes Stück muß dann ganz oder fast dieselbe Gestalt annehmen. Daher ist das nächstliegende, daß die Gestalt der Höhlung kugelförmig ist[1]). Die Luft ist aber nicht ein feststehendes Gebilde, sondern drängt sich und wird von einer Seite zur anderen fortbewegt, sei es als Ganzes, sei es in ihren Teilen. Besteht aber die Luft [die Dunst enthält] aus Flächen, die sich aneinanderschließen, so ist eine entsprechende Reflexion möglich, wenn sie insgesamt oder auf einem Stück Kugelgestalt haben, die Reflexion entspricht der Größe des Stückes. Die Erscheinung tritt aber nur auf, wenn diese Flächen sich an einem solchen

[1]) *Ibn al Haitam* beachtet nicht, daß die Wolkenoberfläche nicht zu der Erdoberfläche konzentrisch liegen kann.

Ort befinden, daß der Mittelpunkt der Kugelhöhlung auf der Linie zwischen dem Mittelpunkt des Auges und denjenigen des leuchtenden Körpers gelegen ist. Denn die Wolke ist in ihrer Mitte weit von der Erdoberfläche entfernt und der leuchtende Körper steht weit von der Mitte ab. Der Abstand von Auge und leuchtenden Körper ist ein großes Vielfaches von dem Abstand zwischen dem Auge und der Fläche der kugelförmigen Wolke. Der Mittelpunkt der Wolke g liegt auf der Verbindungslinie a b zwischen Auge a und leuchtendem Körper b, dann ist g b ein großes Vielfaches von a g. a g ist kleiner als der Radius der Wolke. Wir denken uns den Bogen z d auf der Wolke mit dem Mittelpunkt g. Wir ziehen die Linie b g a bis sie den Bogen in z trifft. g z ist der Radius der Kugel der Wolke, der größer als der Erdradius ist. a z ist der Abstand zwischen Auge und Wolke, ein kleiner Teil des Erdradius (Fig. 1).

Ich sage, dies weiß man von der Lehre von den Entfernungen und den [Himmels] Körpern, denn a z ist kleiner als 17 Parasangen und a g größer als 1000 Parasangen.

Fig. 1.



Er sagt: Wenn wir nun auch annehmen können, daß a z eine große Größe ist, so folgt daraus doch nicht, daß es stets so groß wie möglich ist. Zu gewissen Zeiten kann es klein, zu anderen groß sein, denn die Entfernungen von der Wolke ändern sich. Ist a z klein, so ist

$$b z^{1}) : z a > b g : g a$$

einerlei ob b a z im Horizont liegt oder ihn schneidet[2]), denn es gilt auch das Verhältnis

$$b d : a d > b g : g a.$$

Nur unter dieser Bedingung kann das Zeichen auftreten, unter anderen ist das nicht möglich[3]).

Ich sage: Er hat hier nachgewiesen, daß die Reflexion[4]) unter der erwähnten Bedingung eintritt, unter anderen nicht, indem er die kreisförmige Reflexion an einem kugelförmigen Hohlspiegel nachwies und zeigt, wenn sie nicht eintritt. Zu beachten ist, daß wir dies nicht aus dem, was früher über die Reflexion gesagt ist, ableiten, sondern aus dem folgenden. Der Kreis z d sei derjenige, an dem die Reflexion stattfindet, das Auge liege auf dem Durchmesser des Spiegels. Wir behandeln die Bilder aller Punkte b auf dem Durchmesser. Der Mittelpunkt g der

---

[1]) Der Text hat b d verschrieben.

[2]) Die Figur im Original enthält noch einige, aber nicht richtig gezeichnete Linien; die weiteren Buchstaben beziehen sich auf Fig. 3.

[3]) Diese Beweisführung ist, wie in folgendem gezeigt wird, nicht richtig; die richtige Beziehung $b z : z a > b g : g a$ folgt nämlich nicht aus $b d : a d > b g : g a$, sondern aus $b d : a d = b g : g a$.

[4]) Gemeint ist nicht Reflexion im allgemeinen, sondern so, daß der Strahl zum Auge kommt.

Kugel[1]) möge zwischen diesen Punkten und dem Auge a liegen. Der Punkt b möge zum Auge durch Reflexion von zwei Punkten auf dem Kreise zum Auge gelangen. Einer sei d. Es gilt die Proportion (nach einem bekannten Satz)

$$bd : da = gb : ga.$$

Nun ist, [da b sehr weit von der Wolke abliegt, wir also nur kleine Einfallswinkel haben] bd stets kleiner als bz und da größer als za, also ist

$$bz : za > gb : ga$$

(oben war statt des Buchstabens „d" „e" benutzt).

Er sagt: Nur unter der oben erwähnten Bedingung tritt die Reflexion [entsprechend] ein, also nicht, wenn der Mittelpunkt der Wolke nicht auf ab liegt, nicht, wenn er nicht zwischen Auge und leuchtendem Körper liegt, und nicht, wenn nicht ist $bz : za > bg : ga$.

Im ersten Fall findet nämlich die Reflexion nur an einem einzigen Punkt statt (und nicht an einem Kreis). Halten wir nämlich die Linie ab fest und drehen die Figur adb um ab. Dann ändert sich der Ort der Reflexion in bezug auf den Mittelpunkt der Wolke; denn die ganze Fläche bewegt sich außer ab, der Mittelpunkt der Wolke bleibt [in bezug auf die Wolke] unveränderlich; dann liegt aber der Mittelpunkt der Wolke nach der Drehung außerhalb der Fläche, in der ursprünglich die Reflexion stattfand, und diese steht nicht senkrecht auf der Kugeloberfläche, daher kann keine richtige kreisförmige Reflexion stattfinden. Daß in den beiden anderen Fällen keine Reflexion stattfinden kann, folgt aus dem früheren. So ergibt sich, daß die Reflexion an dieser Kugel nur an einem einzigen Kreise stattfinden kann, an einer anderen Kugel besteht also kein Hindernis, daß sie nicht auch an einem anderen Kreis eintritt.

Ich sage: Als Hauptinhalt seiner Ausführung gibt er an, daß der Bogen einen Halbkreis bildet, falls die Fläche des sichtbaren Horizontes durch den Pol[2]) des Bogens geht; dies ist der Fall, wenn der Mittelpunkt des leuchtenden Körpers ganz oder doch beinahe auf dem Horizont liegt. Er ist kleiner, wenn der Pol unter dem Horizont liegt und der Mittelpunkt des Bogens zwischen Auge und Wolke liegt, oder wenn der Pol über dem Horizont liegt und der Mittelpunkt des Bogens zwischen Auge und Mittelpunkt der Wolke[2]). Ich sage aber, das letztere ist nur eine mathematische Annahme, da der Bogenmittelpunkt stets zwischen Auge und Wolke liegt, wie der Verfasser der *Schifâ* (*Ibn Sinâ*, Avizenna) nachgewiesen hat.

Er sagt: Man kann auch annehmen, daß er größer ist; das ist aber nur theoretisch möglich, wenn der Pol oberhalb des Horizontes liegt und

[1]) Hier sind einige kleine Versehen im Text.

[2]) Es wird unterschieden zwischen „Pol des Bogens", das ist der Punkt, in dem die durch den Mittelpunkt der Kugel (der Wolke) gehende Achse die Wolke schneidet, Mittelpunkt der Kugel, endlich Mittelpunkt des Bogens, d. i. der Vertikalprojektion des Reflexionspunktes auf die Achse.

der Mittelpunkt zwischen Objekt (Auge) und Wolke, oder wenn der Pol unterhalb des Horizontes liegt und der Mittelpunkt zwischen Auge und Mittelpunkt der Wolke.

Ich sage: Die Ausführungen lehren folgendes: Ordnen sich die feuchten Teilchen der Luft so an, daß eine Hohlkugel entsteht, deren der Mittelpunkt auf der Verbindungslinie zwischen Auge und leuchtendem Körper gelegen ist, so ergibt sich in der obigen Weise, daß der Mittelpunkt des Bogens der Mittelpunkt der Erde ist oder nicht. In diesem Fall kann der Pol des Bogens im Horizont, über diesem oder unter diesem liegen, der Mittelpunkt des Bogens kann liegen zwischen Auge und Wolke, im Auge oder hinter dem Auge. Man erhält so neun Fälle. Liegt der Pol auf dem Horizont, so ist der Bogen ein Halbkreis (und zwar für alle Lagen des Mittelpunktes). Liegt der Pol oberhalb des Horizontes und der Mittelpunkt vor uns[1]), so ist er größer als ein Halbkreis, liegt er bei dem Auge, so ist er ein Halbkreis, liegt er hinter dem Auge[2]), so ist er kleiner als ein Halbkreis. Liegt der Pol unter dem Horizont und der Mittelpunkt vorn, so ist er kleiner als ein Halbkreis, liegt er in dem Auge, so ist er gleich, und ist er hinter dem Auge, so ist er größer als ein Halbkreis.

Er sagt: Ebenso kann man sich vorstellen, daß der Horizont den Kreis nicht so schneidet, daß er eine Sehne bildet, oder daß er den Kreis außerhalb trifft (als Tangente) und daß der leuchtende Körper oberhalb oder unterhalb des Horizontes liegt und der Mittelpunkt des Bogens zwischen dem Auge und der Wolke, dann ist der ganze Kreis sichtbar. Wenn aber der leuchtende Körper unterhalb des Horizontes sich befindet und der Pol des Bogens oberhalb, so kommen nicht alle reflektierten Strahlen zum leuchtenden Körper[3]). Denn die Strahlen, welche von den herabgedrückten (tiefliegenden Stellen) des Bogens reflektiert werden, läßt die Erdkugel nicht zu dem leuchtenden Körper gelangen. Der Strahl, welcher vielleicht zu dem leuchtenden Körper gelangt, ist derjenige, der von der höchsten Stelle des Bogens reflektiert wird, daher bildet die Erscheinung nur einen kleinen Teil des Kreises. Nun reicht aber das für die Reflexion der Strahlen geeignete Stück der Wolke nicht bis zu dem Horizont. Daher ist er unter allen Bedingungen, außer bei rein mathematischer Betrachtung, stets kleiner als ein Halbkreis. Der Mittelpunkt des Kreises liegt stets im Horizont oder unter ihm, und seine Enden reichen nicht bis an den Horizont.

Aus unserer Ausführung ergibt sich, wie der Strahl von der Wolke zum leuchtenden Körper reflektiert wird, und wie der Ort der Reflexion liegt. —

Wir wollen jetzt erörtern, wie das gefärbte Himmelszeichen entsteht. Oben war angegeben, daß, wenn von einem feuchten, glatten Körper ein Strahl nach dem Objekt reflektiert wird, man die Farbe des Objektes an der Reflexionsstelle sieht, und daß diese mit der Farbe des

[1]) D. h. zwischen Auge und Wolke.

[2]) D. zwischen Auge und Mittelpunkt.

[3]) Die Strahlen werden als vom Auge ausgehend betrachtet.

reflektierenden Körpers gemischt ist. Der feuchte Körper ist nun weder so durchsichtig noch so glatt wie möglich, daher ist der Winkel an ihm nicht genau richtig (das Reflexionsgesetz gilt nicht streng), und das, was man auf ihm sieht, entspricht nicht genau der Wahrheit. Auf dieser Wolke sieht man daher nicht die Farbe vollkommen, wie sie ursprünglich ist, sondern eine Mischung der Farben. Das Zeichen, das man sieht, ist nur ein Zustand (*Kaun*) des leuchtenden Körpers; es ist auch aus den angeführten Gründen nicht lichtstark. Der leuchtende Körper hat aber eine gewisse Breite, daher muß die reflektierende Stelle auch eine solche haben, damit der Strahl, der von dieser Breite reflektiert wird, den ganzen leuchtenden Körper umfaßt.

Man sieht aber nicht die Gestalt des leuchtenden Körpers an der Stelle der Reflexion, denn man sieht diese nur dann durch Reflexion, wenn die Fläche des Spiegels eine beträchtliche Größe hat und die Reflexion an einer einzigen Stelle dieser Fläche erfolgt. Der bei dem Bild des Bogens erwähnte Strahl wird von zahlreichen, zusammenhängenden Stellen reflektiert; die Fläche dieser Wolke ist nämlich eine glatte, kugelförmige, daher sehen wir auf ihr nicht die Gestalt des Objektes. Die Strahlen werden von einem Schnitt der Kugeloberfläche nach dem leuchtenden Körper reflektiert. Von jedem Punkt des leuchtenden Körpers, zu dem die Strahlen reflektiert werden, entsteht auf dem Umfang des Kreises auf der Kugeloberfläche, auf dem eine Einprägung stattfindet, ein Bild. Das Bild des Objektes zeigt daher denselben Zusammenhang wie der Schnitt, auf dem die Einprägung vor sich geht; es erscheint nicht auf einem isolierten Stück von diesem; deshalb sieht man auch nicht die Gestalt des leuchtenden Körpers. Setzt sich die Fläche der Wolke aus kleinen glatten Teilchen zusammen, so erscheint ebenfalls auf ihr nicht die Gestalt, denn ist die glatte Fläche im Verhältnis zum Objekt sehr klein, so zeigt sich auf ihr nur dessen Farbe und nicht seine Gestalt; auf diesen Teilen sieht man nur die Farbe des Objektes.

Resultat. Aus allem Vorhergehenden folgt, daß der Bogen nur die Farbe des leuchtenden Körpers in der feuchten Luft ist, und daß er durch Reflexion der Sehstrahlen in der erwähnten Weise entsteht.

Die Verschiedenheit der Farben, die an dem Regenbogen auftreten, d. h. die Regenbogenfarben (*Taqâzîḥ*), entsteht durch die Mischung des Lichtes (*Ḍau'*) mit dem Schatten (*Ẓill*) und entsprechend Unterschieden in der Beschaffenheit des Schattens.

Ich sage: und entsprechend Unterschieden in der Beschaffenheit des Lichtes.

Er sagt: Der feuchte Körper, auf dem der Bogen erscheint, d. h. die Wolke oder das, was an ihre Stelle tritt, besitzt eine gewisse Dichte und eine gewisse Durchsichtigkeit. Das Licht erscheint einmal auf der nächstliegenden Fläche und dringt dann in die Wolke ein. Das auf der nächstliegenden Fläche erscheinende Licht ist reines Licht, dem Licht dagegen, das Dank der Durchsichtigkeit des Körpers in diesen eindringt, ist Schatten beigemischt, der sich in der Vervielfältigung (den Zwischen-

räumen) des Körpers findet und der eine Folge der dichten Beschaffenheit des Körpers ist. Mischt sich Licht und Schatten, so entstehen daraus die verschiedenen Regenbogenfarben. Je tiefer das Licht eindringt oder je weiter es von der näheren Fläche absteht, um so mehr Schatten enthält das Licht, denn jener wird dabei kräftiger.

Die Regenbogenfarben sind also die Farben des Lichtes, das in die Durchsichtigkeit des feuchten Körpers eingedrungen ist und dem Schatten beigemischt ist. Sie werden durch die Strahlengruppen sichtbar, die an den kleinen Teilen reflektiert werden, die sich im Innern des Körpers hinter der nächsten Fläche befinden. Diese Teilchen sind der ganz feine Regen (*Raḍâḍ*), der aus kleinen, feuchten, eng aneinanderliegenden (*muṭadâmm*) Teilchen besteht.

Nun sage ich[1]), indem ich in Wort und Tat meine Zuflucht zu Gott nehme, daß die eben auseinandergesetzte Grundlage mit dem, was man mit den Sinnen an dem Regenbogen direkt wahrnimmt, nicht übereinstimmt:

Erstens widerspricht es dem, was *Ibn Sinâ* ausführt, das werden wir später auseinandersetzen.

Zweitens dürfte man stets nur einen Regenbogen sehen, außer wenn mehrere Stücke der Wolke vorhanden wären, die geeignet sind das Himmelszeichen zu erzeugen. Wir sehen aber meistens zwei Bögen, niemals aber drei. *Scharaf al Dîn al Mas'ûdî* sagt in seiner Dissertation über die oberen Zeichen, daß sie stets zu zweien auftreten. Beruht aber das Auftreten von zwei Regenbögen darauf, daß zwei Teile der Wolke [für die Bildung des Regenbogens] geeignet sind, so muß das auch bei dreien der Fall sein. Warum sieht man aber dann nie drei Regenbögen? Das ist ein sehr einschneidender und unüberbrückbarer Widerspruch.

Drittens: Nach dem Obigen wäre es unmöglich, daß der Regenbogen in reiner Luft entsteht, und doch sah ich ihn selbst an einem Tage abends (*'Aṣr*). Die Wolke bedeckte einen großen Teil des Himmels im Süden; der Regenbogen erschien mit sehr deutlichen Farben auf der reinen (d. h. nicht von Wolken bedeckten) Luft und besaß eine große Ausdehnung, der Rest des Bogens erschien auf der Wolke. Der erste Teil hob sich von dem Blau des Himmels gerade so ab wie der zweite von der Wolke, und wie sich stets die Basis des Bogens von den hinter ihr liegenden Bergen und der Erdoberfläche abhebt. Ein anderes Mal beobachtete ich dasselbe, nur lag das dunkle (verhüllende) Stück (d. h. die Wolke) im Norden. Ähnliches beobachtete ich noch in zahlreichen anderen Fällen.

Der *Scheich* (*Ibn Sinâ*) berichtet in der *Schifâ*, daß er dasselbe beobachtet hat; er sagt: „Ich sah einen Regenbogen, er war in die leuchtende Luft vor einem Berg eingezeichnet. Dabei war die Luft mit Feuchtigkeit getränkt, sie enthält aber keine Flüssigkeit (Tropfen) und überhaupt

[1]) Das Folgende ist eine sehr eingehende Kritik von *Kamâl al Dîn* an den Ausführungen von *Ibn al Haiṭam*.

nichts [Konsistentes]. Die Lage des Regenbogens entsprach der Fläche des Berges und er erhob sich nicht über ihn."

Viertens: Rührte der Bogen von dem Eindringen des Lichtes des leuchtenden Körpers in den Körper der Wolke her, so müßten die Farben mit der kräftigsten, helleuchtenden beginnen und [allmählich] in die schwächste dunkelste übergehen. Wir sehen aber die kräftigste Farbe, die beinahe dem leuchtenden Körper entspricht, zwischen dem reinen Blau und dem purpurfarbenen Rot. Das kann aber in der erörterten Art sich nicht ausbilden.

Fünftens: Wären die früheren Ausführungen richtig, so müßte die Reihenfolge der Farben in den beiden Regenbogen die gleiche sein; es ist aber die Reihenfolge der Farben beim kleinen Regenbogen die umgekehrte wie beim großen.

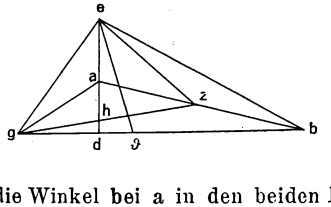
Sechstens. Würden die Bögen auf verschiedenen Stücken der Wolke entstehen können, so müßten sie einander parallel sein können, oder sie müßten sich schneiden oder einander sehr nahe kommen oder sich voneinander entfernen können, je nach dem das Auge gegenüber ihrem Mittelpunkt verschiedene Lagen einnimmt, wie sich bei einer Erwägung auf Grund der früheren Prinzipien ergibt. Sie liegen aber stets nahe aneinander in einer bestimmten Entfernung, verlaufen zueinander parallel und liegen in einer zum Horizont senkrechten Ebene. All das sieht man ohne weiteres. Dies zeigt, daß ein Mittelpunkt der verschiedenen Stücke vorhanden ist.

Siebentens. Würde der Regenbogen nach dem oben erwähnten Prinzip zu erklären sein, so müßte der kleinere eine schwächere Farbe haben als der größere.

Die Sache verhält sich aber umgekehrt. Ihre Erklärung ist im folgenden nach einer Einleitung folgende.

Die Einleitung ist folgende (Fig. 2).

Fig. 2.



Es sei ein Dreieck abg gegeben und $ba > ag$. Wir halbieren den Winkel a durch die Linie ad und verlängern ad nach e. Auf ae nehmen wir einen beliebigen Punkt e, diesen verbinden wir mit b und g, dann ist

$$\sphericalangle bed > ged.$$

Wir fällen nun von g eine Senkrechte auf ad, sie trifft auf ad, denn die Winkel bei a in den beiden Dreiecken bad und adg sind gleich und $b < g$ (da $ba > ag$). Der Winkel bda ergänzt die beiden ersten zu zwei Rechten und ist größer als gda. Daher ist $\sphericalangle gda$ ein spitzer Winkel und ebenso ist $\sphericalangle gad$ [wir haben also ein Dreieck mit zwei spitzen Winkeln an der Basis] daher trifft die Senkrechte auf ad, ihr Fußpunkt sei h[1]).

[1]) Es ist $\alpha_1 = \alpha_2$ und soll bewiesen werden, daß μ_1 ein spitzer Winkel ist.

Nun verlängern wir das Lot gh, es schneidet von ab ein Stück ab, das = ag ist, der Schnittpunkt sei z (az = ag). Wir ziehen nun ze. Dann ist

$$\sphericalangle zeh = \sphericalangle geh \text{ und } \sphericalangle bed > \sphericalangle ged.$$

Weiter ist

$$be : eg < bd : dg.$$

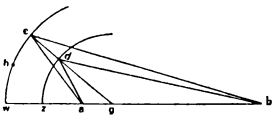
Dies ergibt sich folgendermaßen. Wir halbieren den Winkel beg durch eϑ, dann liegt ϑ zwischen d und b. Nun ist

$$be : eg = b\vartheta : \vartheta g \text{ und}$$
$$b\vartheta : \vartheta g < bd : dg \text{ und}$$
$$be : eg < bd : [dg]^1)$$

*also auch kleiner als $be : eg < bg : ga$.
damit ist das zunächst als Einleitung zu beweisende bewiesen.

Wir zeichnen nun einen Kreis mit dem Mittelpunkt g, das Auge befindet sich in a und der leuchtende Körper in b. Die von dem Auge ausgehenden Strahlen werden in einem Punkte d des Kreises, so wie das früher auseinandergesetzt ist, nach b reflektiert.*

Fig. 3.



Hat man zwei Stücke einer Wolke (Fig. 3), die für den Regenbogen geeignet sind, so folgt aus dem früheren, daß sie nur einen Mittelpunkt haben, entweder stets oder doch in den meisten Fällen. In diesem Fall ist die eine Fläche dem Auge näher als die andere. Der Reflexionsort auf dem Kreise, der der kleineren Kugelfläche angehört, sei d. Wir verlängern die Gerade gd, bis sie die größere Fläche in e trifft. Die Ebene des Kreises dz erweitern wir, bis sie auf der größeren Kugelfläche den Kreis ew liefert. Wir ziehen be und ae. Dann ist

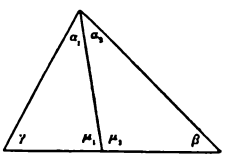
$$\sphericalangle beg > \sphericalangle aeg,$$

daher ist der Reflexionspunkt [an dem ein von b ausgehender Strahl nach a reflektiert wird] nicht e. Er kann nun entweder wie h zwischen e und w liegen oder hinter e. Nun sind alle Linien, die b und einen Punkt (f)[2]) hinter e verbinden, kleiner als be und alle Linien af größer

$$\mu_2 + \alpha_2 + \beta = 180^\circ$$
$$\mu_1 + \alpha_1 + \gamma = 180^\circ$$
$$\mu_2 - \mu_1 = -\beta + \gamma$$
$$\beta < \gamma$$

also $\mu_2 - \mu_1 > 0$, also $\mu_2 > \mu_1$.

Fig. 2a.



Nun ist $\mu_2 + \mu_1 = 180^\circ$, also muß μ_1 ein spitzer Winkel sein.

Ferner ist $gad = \alpha_1$ ein spitzer Winkel, da es ein halber Winkel im Dreieck ist.

[1]) Hier ist eine Lücke. Zunächst ist dg zu ergänzen und dann ist so, wie zwischen * * steht, etwa fortzufahren.

[2]) Für diesen Punkt hinter, d. h. oberhalb e ist weder im Text noch in der Figur ein Buchstabe angegeben. Ich habe ihn der Bequemlichkeit wegen eingeführt.

als ae. Für die Punkte g zwischen e und w ist es gerade umgekehrt. Daher kann der Reflexionspunkt f nicht hinter e gelegen sein, sonst ist das Verhältnis

$$bf : af < be : ea.$$

Ferner ist $be : ea = bg : ga$, also auch $bf : af < bg : ga$, das größer als $be : ba$ ist. Das ist aber [wenn die Reflexion an e nach a eintreten soll] nicht möglich. Hieraus folgt, daß der Reflexionspunkt zwischen e und w liegt und e hinter dem Reflexionspunkt sich befindet.

Daher liegt für die sinnliche Wahrnehmung der Bogen, der auf der äußeren Kugel entsteht, tiefer nach der Erde zu als der Bogen, der auf der kleineren entsteht. Er muß schwächer gefärbt sein, denn sein Bild wird durch das Stück der Wolke geschwächt, das uns näher liegt, und durch das er zu unserem Auge gelangt. Danach muß der kleine Bogen im Verhältnis zum großen schwach sein; das widerspricht aber dem, was wir mit unseren Sinnen beobachten. Dagegen könnte eingewendet werden[1]): Warum kann man nicht annehmen, daß die Strahlen in den Lücken fortschreiten und durch sie zurückreflektiert werden, welche zwischen den Regentropfen sich befinden. Darauf erwidere ich, daß schon die größere Entfernung eine Schwächung hervorrufen muß. — Meint einer, es könnte auch daher kommen, daß in der oberen Wolke die Kugeln der Regentropfen zu groß sind [so daß dadurch die Wolken in ihrer Wirkung geschwächt werden], so sagen wir: Dem ist nicht so!

Er sagt:

Der Halo. Da dieser kreisrund ist, so muß die Wolke eine solche Gestalt haben, daß man sich auf ihr einen Kreis vorstellen kann. Dies kann bei einer ebenen, einer konvexen und einer konkaven Fläche der Fall sein. Aus physikalischen Gründen und entsprechend der Eigenschaft der Luft ist es am wahrscheinlichsten, daß wir es mit einer konkaven Kugel zu tun haben, deren konkave Seite dem Auge zugekehrt ist. Da der Halo sich nach dem früheren aus einem Zerbrechen des [Seh]strahles nach dem leuchtenden Körper ergibt, so muß die Wolke eine solche Gestalt haben, bei der die Strahlen von dem Umfang eines Kreises nach einem Punkt reflektiert werden.

Zunächst tritt diese Erscheinung dann auf, wenn sich eine Wolke zwischen uns und dem leuchtenden Körper befindet. Dabei sieht man den leuchtenden Körper in gerader Richtung in der Mitte des Halo, gerade so, als ob nichts sich dazwischen befände. Die Wolke, auf der die Erscheinung auftritt, ist nämlich so dünn, daß man den leuchtenden Körper hinter ihr sieht. Den leuchtenden Körper kann man aber nicht in der Mitte des Halo durch einen reflektierten Strahl erfassen, denn, wenn man etwas durch einen zerbrochenen Strahl erfaßt, so geschieht dies in der geraden Richtung des ersten Strahles (des Sehstrahles), der dann zerbrochen wird, und man erfaßt es an der Reflexionsstelle. Und wenn etwas

[1]) Im folgenden ist der Text nicht ganz in Ordnung; ich habe versucht den Sinn wiederzugeben.

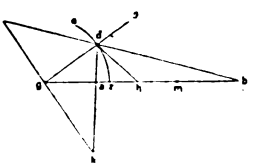
durch einen solchen Strahl erfaßt wird, so sieht man es in der geraden Richtung aller Linien, die nach dem Punkt des Zerbrechens gehen.

Die Wolke muß also eine solche Gestalt haben, daß von ihr auf einem Kreis die Strahlen nach dem leuchtenden Körper zerbrochen werden und daß man den leuchtenden Körper in gerader Richtung in der Mitte des Kreises sieht. Man erfaßt beide gleichzeitig. Man kann ihn in der Mitte nur durch Strahlen wahrnehmen, die auf einer Kreislinie zu einem einzigen Punkt zerbrochen werden; alle haben bei dem Auge und im Verhältnis zu jenem Punkt ein und dieselbe Lage. Das ist aber nur möglich, wenn Auge und leuchtender Körper auf der Achse dieses Kreises, d. h. des Halos liegen. Liegt das Auge auf dieser Linie, so bildet der Strahl, der längs dieser Linie ausgeht, ein Lot auf der Kugeloberfläche und wird nicht zerbrochen, sondern geht in gerader Richtung fort. Alle zerbrochenen Strahlen liegen rings um diesen Durchmesser. Dann wird das Objekt durch einen zerbrochenen Strahl erfaßt. Es erscheint in einem gewissen Abstand von der Mitte, denn man sieht es in der geraden Richtung des zu ihm zerbrochenen Strahles. Die Verbindungslinie zwischen dem Mittelpunkt der Wolke und demjenigen des Auges endigt bei geradliniger Verlängerung bei dem leuchtenden Körper. Durch sie nimmt man den leuchtenden Körper in gerader Richtung wahr und zwar durch Strahlen, die senkrecht auf der Fläche des Wolkenstückes stehen. Daß er auch durch die Reflexion an einem Kreis wahrgenommen werden kann, werden wir beweisen. Den leuchtenden Körper kann man nicht durch Brechung (*In'itâf*)[1]) wahrnehmen; denn ein Strahl, der senkrecht steht, wird nicht gebrochen, und einer, der nicht senkrecht steht, wird nach dem Lot zu gebrochen; das ist ganz gewiß. Daher gelangt er nicht zu dem leuchtenden Körper und nicht auf die andere Seite des Lotes.

Daher ist es zweifellos, daß die Erscheinung durch Reflexion hervorgerufen wird und zwar unter der Voraussetzung, daß die Teilchen der Wolke geradlinig aneinandergereiht sind und zwar auf dem Durchmesser der Wolke. Dies ist der Fall, wenn der Mittelpunkt des Auges und der Wolke verschieden sind, und wenn ersterer bei letzterem liegt — das ist aber höchst selten —, dann ist die Unmöglichkeit der Brechung besonders deutlich.

Ich sage: Diese Unmöglichkeit besteht dann, wenn wir annehmen, daß der Strahl zum leuchtenden Körper gelangen soll und nur eine Brechung vorhanden ist. Hat man aber deren mehrere oder kommt zu ihnen noch eine Reflexion, so ist diese Unmöglichkeit nicht vorhanden, wie wir dies bis in das Einzelne nachweisen werden[2]).

Fig. 4.



[1]) Die folgenden Ausführungen von *Ibn al Haitam* zeigen, wie vertraut ihm die Brechung des Lichtes war.

[2]) Dieser Nachweis findet sich in den späteren eigenen Untersuchungen von *Kamâl al Din*.

Er sagt: Wie findet nun die Reflexion statt? Ich denke mir auf der Kugel einen Bogen edz, das Auge sei a, der leuchtende Körper b und der Mittelpunkt der Wolke g. Wir ziehen bzag, so daß g hinter a zu liegen kommt, denn bei dieser Lage sieht man die Erscheinung; bei einer anderen ist das nicht der Fall, wie wir beweisen werden. Behält die Wolke ihre Kugelgestalt bei, ist zg ihr Radius, az der Abstand der Wolke, ab der Abstand des leuchtenden Körpers vom Auge, so haben wir vorher bewiesen, daß az ein kleiner Teil von ag und zg ein kleiner Teil von bg ist. gd kann ein vielfaches von az sein, aber gb ist nicht ein vielfaches von bz, daher ist

$$ga : az > gb : bz.$$

Tauschen wir, so ist:

$$ag : bg > az : bz.$$

Kehren wir um, so ist

$$bz : za > bg : ga.$$

Wir wählen nun einen Punkt h, so daß

$$bh : ha = bg : ga,$$

und ziehen die Tangente von h an den Kreis, sie berührt ihn in d. Wir ziehen bd, da, gd und verlängern gd bis ϑ. Dann behaupte ich, daß der von a nach d gelangende Strahl von der Linie gdϑ nach b reflektiert wird. Wir haben ja bd und da als gerade Linien gezogen.

[Wir ziehen kgl senkrecht zu gd; sie schneidet bd in k, ad in l. Da hd Tangente ist, also $\perp$ gd, so ist kgl $\|$ dh.

Nun ist bg : ga = bh : ha

oder bg : bh = ga : ha.

Nun ist $\triangle$ gal $\backsim$ $\triangle$ ahd, da kgl $\|$ dh,

also ga : ha = gl : dh,

somit auch bg : bh = gl : dh.

Nun ist in den ähnlichen Dreiecken gbk und hbd

$$bg : bh = kg : dh.$$

Also ist kg = gl.

Folglich $\sphericalangle$ gkd = $\sphericalangle$ gld.

Nun ist $\sphericalangle$ gkd = $\sphericalangle$ bdh und $\sphericalangle$ gld = $\sphericalangle$ hdl, also ist auch $\sphericalangle$ bdh = hdl, das heißt der Strahl ad wird von gdϑ nach b reflektiert][2]).

Das wollten wir beweisen.

Kein anderer Strahl wird in dieser Weise von einem anderen Punkt als d reflektiert. Nehmen wir an, es wäre möglich, so ziehen wir an dem Reflexionspunkt eine Tangente. Sie möge die Linie ab in einem anderen Punkte als h, etwa in m, schneiden; wir zeigen dann im Anschluß an diesen Beweis, daß

$$ba : am = ba : ah,$$

das ist aber unmöglich.

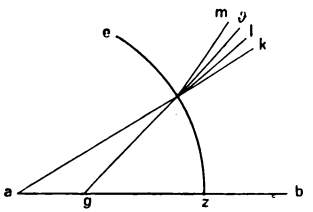
Halten wir die Linie bg fest und drehen um sie das Dreieck bdg, so beschreibt der Punkt d auf der Kugel einen Kreis. Alle Strahlen, die

[1]) Das in Klammer gesetzte entspricht dem Sinn des arabischen Textes, der aber nicht ganz korrekt ist.

zu seinem Umfang von a aus hingehen, werden dann nach b reflektiert. Sind also in der Wolke glatte Teilchen, die auf den Durchmessern der Wolke, die g d ϑ entsprechen, angeordnet sind, so werden die vom Auge ausgehenden Strahlen von diesen Teilchen zum leuchtenden Körper reflektiert.

Die Farbe des leuchtenden Körpers erscheint nach dem früheren an der Reflexionsstelle. Da der leuchtende Körper eine gewisse Ausdehnung besitzt, so müssen die zu ihm reflektierten Linien von Linien reflektiert werden, die eine dem leuchtenden Körper entsprechende Größe haben. Diese Längserstreckung der Linien findet sich in der Tiefe der Wolke. Deshalb erscheint die Farbe auf der Wolke in einer gewissen Breite. Der Ort, den wir bezeichnet haben, ist der, an dem diese Erscheinung hervorgerufen werden kann. Er entspricht auch dem Physikalischen.

Fig. 5.



Der Mittelpunkt der Wolke kann nur an der betreffenden Stelle liegen. Er muß, wie gezeigt wurde, auf der durch Auge und leuchtenden Körper gehenden Geraden liegen. Er kann nicht im Auge liegen, auch nicht zwischen Auge und Wolke, überhaupt nicht anders, als angegeben. In den anderen Fällen liegt h nicht außerhalb des Bogens und es entsteht keine entsprechende Reflexion. Liegt der Mittelpunkt im Auge, so schreiten alle Strahlen geradlinig fort und werden nicht reflektiert.

Liegt der Mittelpunkt zwischen Auge und Wolke, so wollen wir noch einmal das Bild zeichnen. Wir ziehen den Strahl a d, ferner den Radius g d und verlängern diesen bis ϑ. Wird nun der Strahl a d [von g d] reflektiert, so wird er etwa zu dem Strahl a d m (das ist der reflektierte). Dringt er in den feuchten Körper ein, so verhält er sich wie der Strahl a d k; er wird [nach den Gesetzen für die Brechung] nach ϑ zu, so wie d l, gebrochen. In keinem Fall gelangt er nach b. Daher kann g nur so wie angegeben liegen.

Das ist, was wir beweisen wollten. Das ist die Gesamtheit der Ausführung über den Regenbogen und den Halo. In unserer Darlegung bezweckten wir das zusammenzustellen, was die Mathematik verlangt und die Physik zuläßt. — Darauf sind wir gekommen.

Ich sage: Da die Wolke nicht durch einen Bruch zerteilt ist, auf den der Halo entsteht, so kann die Reflexion nur auf den Regentröpfchen entstehen, die längs dieser Geraden angeordnet sind. Jedes Teilchen ist auf dieser geraden oder gekrümmten Linie; bei ihnen ist es dann möglich, daß die Reflexion von einem der in dieser Richtung gelegenen Punkte stattfindet.

Wir wiederholen die frühere Figur, an der wir die Art der Reflexion erläutert hatten. Wir ziehen g d und beschreiben um g einen Kreis mit einem Radius, der größer als g d ist. Von einem Punkt des Umfanges

dieses Kreises soll b nach a reflektiert werden, dieser liegt zwischen g d und h g, wie wir das in dem siebenten Einwand bei der Besprechung des Regenbogens bewiesen haben. Verbinden wir den Reflexionspunkt f mit g, so wird gezeigt, daß das Bild von b nach a reflektiert wird und zwar von den auf dieser Richtung aneinandergesetzten Teilchen, die einer bestimmten Breite entsprechen, wie dies für die Linie g d ϑ bewiesen ist. Dasselbe gilt für jeden Kreis, den wir um g als Mittelpunkt beschreiben, und dessen Durchmesser größer als g d ist. Je größer der Kreis ist, um so tiefer liegt an dessen Umfang der Reflexionspunkt f gegen h g zu und um so weiter steht er von g d ab. Wir messen ja den Abstand zwischen ihnen durch den Winkel zwischen g f einerseits und den Linien g d und g h andererseits. Ähnlich verhält es sich, wenn der Durchmesser des Kreises kleiner als g d ist, nur liegen dann die Reflexionspunkte an ihm auf der anderen Seite von g d als h.

Ich sage, daß das kreisförmige Zeichen nur dadurch entsteht, daß der Strahl zu dem leuchtenden Körper von den Teilchen reflektiert wird, die auf den Richtungen der Durchmesser der Wolke angeordnet sind, und zwar aller Wahrscheinlichkeit nach, wenn man es auch nicht direkt beobachten kann. Findet die Reflexion in der geschilderten Weise statt, so ist es wohl möglich, daß der Ring des Halo eine Anzahl von Malen größer ist, als wir sie wahrnehmen, denn die wahrgenommene Breite ist klein. Sie ist je verschieden je nach der Tiefe der Wolke.

Wir haben manchmal auf dem äußeren Umfang des Sonnenhalos ein deutliches Blau (*Zurqa*) gesehen, wie man sie auch beim Regenbogen sieht; das erwähnte Prinzip ist dafür nicht gültig. Denn diese Betrachtung zieht nicht unbedingt die Zunahme der Breite nach sich. Denn, was wir erwähnt haben, bedingt nur ein Starksein des Lichtes, und dies ist stark.

Dies ist eine der Untersuchungen über eine Berichtigung bei den beiden Himmelszeichen.

„Fürwahr ich schrieb diese Abhandlung von einer Abschrift ab, die von der Schrift *Ibn al Haitams* (selbst) abgeschrieben war. Auf ihr befand sich das Abbild (*Ṣûra*) der Handschrift des Autors, nämlich folgendes: Dies Buch schrieb und versah es mit Figuren *al Ḥasan ben al Ḥasan ben al Haitam* und korrigierte es von seinem Anfang bis zu seinem Ende, indem er es vor sich hinlas. Er schrieb diese Ausführungen im Monat *Ragab* des Jahres 419 (Juni/Juli 1014)."

Herrn Dr. Würschmidt sage ich auch an dieser Stelle für die Durchsicht der Arbeit besten Dank.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen

Jahr/Year: 1914

Band/Volume: 46

Autor(en)/Author(s): Wiedemann Eilhard

Artikel/Article: Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. XXXVIII. Theorie des Regenbogens von Ibn al Haitam. 39-56