Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. LXI.

Allgemeine Betrachtungen von al Bîrûnî in einem Werk über die Astrolabien.

Von Eilhard Wiedemann und Josef Frank, unter Mitwirkung von Herrn Professor Dr. M. Horten[1]), Bonn.

Inhalt[2]).

1. Einleitung zu dem Abschnitt über die Mischastrolabien S. 98. — 2. Schluß des Abschnitts über die Mischastrolabien S. 102. — 3. Einleitung zu dem Abschnitt über das melonenförmige Astrolab S. 103. — 4. Schluß des Abschnitts über das melonenförmige Astrolab S. 110. — 5. Einleitung zum Abschnitt über das vollkommene Astrolab S. 113. — 6. Einleitung in die Lehre von der allgemeinen Zentralprojektion der Himmelskugel von al Ṣâġânî S. 115. — 7. Konstruktion des horizontalen Schattens S. 117.

Zu den bedeutendsten Gelehrten der Araber des 11. Jahrhunderts gehört Abu'l Raiḥân Muḥ. b. Aḥmed al Bîrûnî. Ein genaues Verzeichnis seiner Werke hat neben einer Würdigung Bîrûnîs der eine von uns (E. Wiedemann zusammen mit Herrn Suter) in Beiträge LX gegeben. Mit einem speziellen Werk Bîrûnîs über die Astrolabien hat sich der andere von uns (J. Frank) beschäftigt. Es trägt den Titel: „Eingehende Behandlung aller möglichen Methoden für die Herstellung des Astrolabs". Von letzterem[3]) wurden Teile dieses Werkes, das uns mit allen zu Bîrûnîs Zeiten bekannten Astrolabien bekannt macht, veröffent-

[1]) Wir möchten nicht verfehlen, auch an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. Horten unsern verbindlichsten Dank für seine reiche Unterstützung auszusprechen.

[2]) Die immer wiederkehrende Abkürzung „Suter" bedeutet: H. Suter, Die Mathematiker und Astronomen der Araber und ihre Werke (Abhdl. z. Gesch. d. math. Wiss. X. Heft 45. 1900).

[3]) J. Frank. Sitzungsberichte der phys.-med. Soz. in Erlangen 51, 275 ff. 1920. — J. Frank. Arch. f. Gesch. d. Naturw. u. d. Technik 9. 1921.

licht, während die Einleitung zu diesem Werke E. Wiedemann[1]) in Übersetzung mitgeteilt hat. Einige Abschnitte über die technische Herstellung von Instrumenten werden von uns in der Zeitschrift für Instrumentenkunde[2]) besprochen. Im folgenden wollen wir die Einleitungen bezw. Schlußbemerkungen Bîrûnîs zu größeren Abschnitten geben. Sie dürften vor allem in historischer Hinsicht von Bedeutung sein, dann aber auch allgemeinem Interesse begegnen, da sie Zeugnis ablegen von der geistvollen Behandlung der Materie, dem tiefen Eindringen in den oft recht schwierigen Stoff und von der philosophischen Betrachtung verschiedener Probleme. In dieser Hinsicht verdient die letzte Einleitung allgemeinere Beachtung.

1. Einleitung zu dem Abschnitt über die Mischastrolabien (fol. 75ª der Leydener Hss. Nr. 1066).

Nachdem Bîrûnî sämtliche Linien, die sich auf dem nördlichen Astrolab befinden, besprochen hat und mit einigen Worten auf das südliche Astrolab eingegangen ist, behandelt er die Mischastrolabien. Dabei führt er folgendes aus: „Über die Art, wie man die beiden Formen des Astrolabs, nämlich das nördliche und das südliche, vereinigt und wie die Gestalten des einen sich mit der des anderen vermischen. Ich will jetzt die Verfahren besprechen, welche man bei der Vereinigung des südlichen und nördlichen Astrolabs verwendet. Ich behaupte, daß das Verfahren, das ich bei der Herstellung des einfachen Astrolabs angewandt habe, [bei der Herstellung des Mischastrolabs] als eine unausführbare Aufgabe bezeichnet werden muß[1]). Es gibt nämlich denknotwendige (rein a priori deduzierbare) Dinge. Wenn diese wissenschaftlich[2]) erfaßt sind, stehen Schüler und Lehrer sich darin gleich[3]), ohne daß sie sich graduell unterscheiden, es sei denn in der Schnelligkeit der Einsicht, der Tüchtigkeit des Verständnisses und der Schärfe des Verstandes[4]). Gehörte meine jetzige Aufgabe nicht zu diesen denknotwendigen Gegenständen, dann würde ich die Geisteskraft der vorausgehenden Generation [der älteren Gelehrten] in Anspruch nehmen, um diese Methode

[1]) E. Wiedemann, Weltall 20. 25. 1919.

[2]) E. Wiedemann und J. Frank. Zeitschrift für Instrumentenkunde 41. 1921.

zu entwickeln, ferner die des ersten Erfinders[5]) dieser Disziplin, den göttliches Wissen und himmlische Gnade unterstützten. Meine Aufgabe verhält sich nämlich dieser [ersten Erfindung] ähnlich.

Ich habe das nördliche Astrolab [vorher] eingehend behandelt, indem ich es sorgfältig und ins Einzelne gehend geschildert habe, nicht aber das südliche, obwohl beide in Hinsicht auf die Leichtigkeit ihrer Anwendung sich gleich stehen. Indes ist das südliche Astrolab schwerer herzustellen und zu begreifen. Dies beruht auf den Bögen, die aus Kreisen stammen, bei denen die kleinen Segmente[bögen] sich zu diesen Sehnen und geraden Linien wegen der Größe jener [Kreise] und der Kleinheit dieser [Segmente] ebenso verhalten wie jene Segmente[bögen] zu den Gesamtkreisen. Dabei besteht [für den Laien] noch die Undenkbarkeit, die darin gelegen ist, daß konvexe Formen durch die gerade Linie als Vermittlung (Grenzfall) in konkave übergehen[6]). Ferner kommen noch [als erschwerendes Moment] die schwierigen Diskussionen hinzu, die man mit den Gegnern über die atomistische Teilbarkeit[7]) der Körper zu führen hat. Bekannt ist ferner, daß ein Kreis um so schwerer zu zeichnen ist, je größer er ist. Einer, der beide Formen zusammensetzen will, nimmt die Mühe der Herstellung einer jeden von ihnen auf sich. Ist aber die Herstellung des südlichen Astrolabs [an sich schon] schwierig, so ist die der Vereinigung beider nicht leichter. Da der Weg zur Herstellung des nördlichen und südlichen Astrolabs Fehler mit sich bringt, führt dies zu einer Verlängerung der Arbeit. Man muß zugleich andere Hilfsmittel heranziehen, als man bei den Konstruktionen der einfachen Formen angewandt hat. Das geht über das früher Erwähnte hinaus. Dabei wiederholen sich viele Konstruktionen. Zur Anwendung kommen zahlreiche Vorschriften, und man muß eine ganz andere Ausdauer als früher besitzen. Nicht zu loben ist es, wenn die Figuren nicht symmetrisch sind, keine schöne Anordnung zeigen und nicht im richtigen Gleichmaß zueinander stehen[8]). Da solche Unternehmungen schwierig sind, kann man nur langsam das einem Zusagende erfassen, die Verstandeskraft leidet Schaden; der Betreffende wird von Langweile und Unlust ergriffen, da alle praktischen Versuche vergeblich sind und die Zeit verloren geht, die das

kostbarste Lebensgut nächst der Kraft des Verstandes ist. Dieses Gut haben wir erhalten und sind dadurch befähigt, den Verstand zu gebrauchen, um die ewige Seligkeit und das himmlische Reich zu erlangen.

Von einem Bericht [über die Herstellung der Mischastrolabien] ganz abzusehen, erscheint mir aber durchaus unpassend, da dies [in der Vermeidung von Unbequemlichkeiten] zu weit gegangen wäre. Ich werde daher von ihm so viel mitteilen, als es einem Forschenden Stoff für seinen Eifer im Studium liefert, und mache es ihm zur Pflicht, bei der Ergründung dieser Dinge auch das, was früher erwähnt wurde, sich wiederum genau anzusehen."

[1]) Beim einfachen Astrolab wird die Himmelssphäre nur von einem Pol aus projiziert, und zwar beim nördlichen vom Südpol, beim südlichen vom Nordpol. Bei den Mischastrolabien dagegen werden beide Pole in einem bestimmten Wechsel als Projektionspole verwendet.

[2]) Im Text ist ʿilm dialektisch für ʿilman gebraucht.

[3]) Da es sich um logische Evidenzen handelt.

[4]) Also nur nach der subjektiven Seite bei gleicher objektiver Evidenz für beide.

[5]) Der arabische Ausdruck: „dessen, der sich zuerst mit ihr abgab, um sie aus dem Zustand der Potenzialität (Möglichkeit, Latenz, *δύναμις*) in den der Wirklichkeit (des Aktes, *ἐνέργεια*) überzuführen", ist der Terminologie des Aristoteles entnommen. Dies bezeichnet umständlich den Begründer einer Kunst. Vgl. E. Wiedemann und H. Suter, Beiträge LX, 74. Nr. V. Hier könnte an Ptolemäus gedacht sein, wahrscheinlich aber an Farġânî (s. w. u.) oder nur an Abû Saʿîd al Siǧzî (951—1024; Suter Nr. 185), bei dem Bîrûnî Vorlesungen hörte. Möglich wäre es, wenn auch nicht recht wahrscheinlich, daß Bîrûnî an die mythologische Persönlichkeit Lâb, den Sohn von Idrîs, dachte, der das Astrolab erfunden haben, und nach dem es benannt sein soll (vgl. E. Wiedemann, Beiträge LVII 29), vielleicht hatte aber Bîrûnî sogar Hermes trismegistos oder Henoch im Auge, die nach sagenumwobener Romantik der Urgeschichte durch göttliche Offenbarung die Wissenschaft den Bewohnern der sublunarischen Welt, den Menschen, überbrachten. Der Verfasser denkt sich seine Aufgabe (die Konstruktion des Mischastrolabs) als eine innerlich evidente, weil sie eine rein mathematische und nicht eine solche ist, in der es auf Sammlung von Erfahrungsmaterialien ankommt. Daher glaubt er der Weisheit der Vorfahren dabei entbehren zu können; denn in der Erfassung einfach logischer Evidenzen stehen sich alle normalen Menschen gleich.

[6]) Zum Verständnis dieser textlich schwierigen Stelle sei folgendes bemerkt: Beim nördlichen Astrolab werden die Projektionen der zum Horizont parallelen Kreise, der Muqantaras (Höhenparallelen), immer

kleiner und kleiner, je geringer ihr Abstand vom Zenit wird. Es liegt dies einmal daran, daß auf der Sphäre diese Kreise mit ihrer Annäherung an den Zenit kleiner werden, dann, weil sie sich dem Gegenpol des Projektionspols P immer mehr nähern, ihre Projektionen dem Mittelpunkt O der Projektion, der die Projektion des Gegenpols ist, näher rücken. Beim südlichen Astrolab verhält es sich zum Teil umgekehrt. Die Muqantaras kommen auf der Sphäre mit Abnahme ihres Abstandes vom Zenit zunächst dem Projektionspol näher, ihre einzelnen Punkte rücken daher in der Projektion von O immer weiter ab, die Radien und damit die Kreise in der Projektion werden immer größer, um schließlich in eine Gerade, also in einen Kreis mit unendlichem Radius, überzugehen. Diese Gerade ist die Projektion der Muqantara, die auf der Sphäre durch P geht. Da die Kreise, die auf der Sphäre durch den Projektionspol gehen, sich als Gerade projizieren, muß die Projektion dieser Muqantara II, deren Abstand vom Horizont gleich der Breite φ für den betreffenden Ort ist, selbst eine Gerade sein. Einzelne Punkte der folgenden Muqantaras rücken auf der Sphäre vom Projektionspol wiederum weiter ab, ihre Projektionen werden wiederum Kreise, wenn auch sehr große, deren Radien von nun ab kleiner werden. Jede Muqantara schneidet den Ortsmeridian in zwei Punkten; der eine davon liegt auf der Sphäre dem Projektionspol näher wie der andere. Diese Punkte befinden sich für alle Muqantaras, deren Abstand vom Horizont kleiner als φ ist, beiderseits des Projektionspols auf dem Meridian, in der Projektion beiderseits von O; der Mittelpunkt des Projektionskreises fällt nach der Richtung, nach der der P näher gelegene Schnittpunkt projiziert wird. Für alle Muqantaras, deren Abstand vom Horizont größer als φ ist, liegen die Schnittpunkte mit dem Meridian auf ein und derselben Seite, der P nähere Schnittpunkt projiziert sich jetzt nach der entgegengesetzten Richtung wie vorhin; dahin fällt auch der Mittelpunkt des Projektionskreises. Infolgedessen wenden die Projektionskreise der ersteren Muqantaras der Geraden, der Projektion von H, ihre konvexe, die der folgenden ihre konkave Seite zu. Da aber die der Geraden benachbarten Projektionskreise sehr große Radien haben und auf die Scheibe nur kleine Teile dieser sehr großen Kreise zu liegen kommen, kann man diese langgestreckten Bögen von ihren Sehnen, d. h. also von einer Geraden, nicht mehr unterscheiden. Vgl. die Fig. 3 in der Abhandlung von Frank, in der die unterhalb der gestrichelten und nach unten gewölbten Kreislinie die Projektionen der Muqantaras für das südliche Astrolab darstellen.

[7]) Unter den „Diskussionen über die atomistische Teilbarkeit" seitens der Gegner sind vielleicht die Einwürfe zu verstehen, die sie machen könnten, daß man sich in der Projektion dem Bilde des Projektionspols nicht mit den gleichen unendlich kleinen Schritten wie auf der Kugel nähern kann. Denn den unendlich kleinen Kreisen um den Projektionspol, z. B. den zum Äquator parallelen, entsprechen in der Projektionsebene unendlich große Kreise.

[8]) Vgl. hierzu die Abbildungen bei Frank.

2. Schluß des Abschnitts über die Mischastrolabien (fol. 81a).

Diesen Abschnitt, in dem auch noch die Rede ist von den Astrolabien mit besonderer Form der Spinne, wie vom kahnförmigen, linealförmigen u. s. w., schließt Bîrûnî mit den folgenden Worten und leitet zugleich zu den nächsten Abschnitten über. Der erste von diesen gibt kurz die Methoden an, wie man die Radien und die Mittelpunkte der einzelnen Projektionskreise rechnerisch ermitteln kann. Zugleich kündigt Bîrûnî an, daß er andere Arten der Projektion, wie die orthogonale, die allgemein zentrale u. s. w., und die danach zu konstruierenden Astrolabien besprechen wird. Er sagt:

„Alles, was ich von den Gattungen der Astrolabien erwähnt habe, die im vorhergehenden beschrieben sind und aus den verschiedenen Arten der Mischformen entstehen, hat nur den Nutzen, die eigenartige Beschaffenheit des Werkes zu zeigen, dessen Ausführung der Leichtigkeit der Hand und der Gewandtheit, die Methoden der Kunst in die Praxis umzusetzen, anvertraut sind. Sie sind nicht wie die anderen [einfacheren] Formen des Astrolabs nützlich. Sie vereinigen nicht mit der Leichtigkeit der Ausführung den Umstand, daß man die einen wie die anderen und umgekehrt in gleicher Weise verwenden kann[1]), oder die Möglichkeit, notwendige Aufgaben zu lösen, die sonst in der Ausführung schwierig sind, oder eine Summe von Dingen, die in sich die Kostbarkeiten der Wissenschaften und die Herrlichkeiten der Anwendungen vereinigen[2]).

Zu den wunderbaren Formen, bei deren Anwendung sich nichts neues ergibt, gehören Arten [des Astrolabs], die zur Prüfung und Erforschung aller anderen möglichen Forschungsgebiete[3]) antreiben. Ihnen werden wir uns zuwenden, nachdem wir den rechten Weg, und zwar den auf der Rechnung beruhenden, zur Ausführung der oben beschriebenen [Astrolabien] gewonnen haben. Dabei verwenden wir den am Anfang dieses Buches behandelten dastûr[4]) der Muqantaras, das sogenannte Lineal [miṣṭara] des Astrolabs. Da wir die Konstruktionen ohne Beweise gegeben haben, lassen wir auch bei den rechnerischen Methoden diese und die Beispiele fort. Wir geben nur die unbedingt nötige Tabelle[5]); denn sie ist die Wurzel und die Grundlage, sie besteht in der Tabelle der Radien der Muqantaras."

[1]) Vgl. J. Frank a. a. O.

[2]) Unter den notwendigen Aufgaben, deren Lösungen rechnerisch schwierig sind, können solche verstanden sein, die auf astrologischem Gebiete liegen, wie Ermittlung der 12 Häuser, der Aspekte, der directiones (tasjîr), der Umwandlung der Jahre der Geburt u. s. w. Vgl. eine demnächst erscheinende Arbeit des einen von uns (Frank) über die Anwendung des Astrolabs. Die folgende Wendung über die Kostbarkeiten der Wissenschaften u. s. w. ist eine, wie sie sich ähnlich oft in arabischen Schriften findet. Es ist wohl gemeint, daß man die Kostbarkeiten von der Lehre der Projektion und der sphärischen Trigonometrie bei der Konstruktion verwenden muß, und daß dabei die kunstvollsten Ausführungen vorkommen.

[3]) Bîrûnî hat hier wohl im Auge, daß, wenn man eine andere als die stereographische Projektion zugrunde legt, die Konstruktion der verschiedenen Kegelschnitte und anderer Kurven in Betracht kommt.

[4]) Vgl. E. Wiedemann und J. Frank a. a. O.

[5]) Aus dieser Tabelle kann man die Größe der Radien der Projektionen sämtlicher zum Äquator parallelen Kreise, der nördlichen und der südlichen, entnehmen und daraus Radius und Mittelpunkt der Projektion eines beliebigen Kugelkreises finden.

3. Einleitung zu dem Abschnitt über das melonenförmige Astrolab (fol. 89ᵇ).

An das Kugel- und Beobachtungsastrolab reiht Bîrûnî an

Die Konstruktion des al mubaṭṭach[1]) Astrolabs (des Astrolabs von Melonengestalt).

„Ich bemerke nun, daß nach meinen Ausführungen über die leicht konstruierbaren Astrolabien man diejenigen, die dem mubaṭṭach ähnlich sind, wegen ihrer Schwierigkeit entbehren könnte. Da es aber der Zweck dieses Buches ist, all die verschiedenen Arten der Astrolabien vollständig (nach Gattungen und Arten) aufzuführen, so soll es mir hier nicht zu viel werden, auch diese und ähnliche Arten zu besprechen. Ich verabscheute es vielmehr, diese Art zu übergehen, weil auch sie (sozusagen) als eine wesentliche Form erscheint, und zwar trotzdem der vortreffliche Aḥmed b. Muḥ. b. Kaṯîr al Farġânî am Ende seines al kâmil betitelten Werkes dies al mubaṭṭach benannte Astrolab für wertlos erklärte und auch dementsprechende Gründe dafür beibrachte[2]). Auch Muḥ. b. Mûsâ b. Schâkir[3]) erklärt, daß es nach seiner Ansicht nichts tauge; doch bringt er in dieser Sache nur Angriffe gegen dessen Benützer (Hersteller) und Tadel gegen dessen Erfinder zum Aus-

druck und zwar in seinem ʿIllât al Aṣṭurlâb (Prinzipien[4]) der Konstruktion des Astrolabs) betitelten Werke. Ich wäre nun geneigt, dies (Vorgehen) von seiten dieser beiden ausgezeichneten Männer darauf zu schieben, daß (blinde) Voreingenommenheit das Licht der Billigkeit von ihren Herzen genommen und feindseliger Haß ihr verwerfliches Benehmen beschönigt haben mußte. Zwischen dem Benû Mûsâ b. Schâkir und Jaʿqûb b. Isḥâq al Kindî bestand nämlich eine solche bittere Feindschaft, daß darob Kinder hätten grauhaarig werden können; ja sie war auch Ursache dafür, daß Aḥmed b. al Muʿtaṣim ums Chalifat kam[5]). Abu'l ʿAbbâs[6]) al Farġâni spricht sich am Anfang seines Buches „al Kâmil“[7]) — wenigstens soweit es sich (aus seinen Worten) entnehmen läßt — dahin aus, daß er (al Kindî) entweder der Erfinder dieses Astrolabs al mubaṭṭach ist oder doch einer war, der es vorzugsweise benutzt und mit ihm gearbeitet hat. Wenn jemand es sich nun streng zur Lebensregel (wörtlich Gewohnheit) macht, sich von aller unreinen Parteilichkeit (Voreingenommenheit) freizumachen und nicht der blinden Leidenschaft zu folgen, so muß ihn sein Drang, der Wahrheit die Ehre zu geben, und sein ansdauernder Forschereifer notwendig dazu führen, den Erfinder dieses Astrolabs zu loben, ob dieser al Kindî war oder sonst jemand, und ihn dazu treiben, den Wert seiner geleisteten Arbeit anzuerkennen, nämlich, daß er Konstruktionen hergestellt hat, die dem Richtigen so sehr nahekommen und sich damit decken, wenn es auch noch so viel Schwierigkeiten bei der Herstellung gab. Denn es ist kein Zweifel, daß diese Konstruktion in eine Zeit fiel, als man allgemein die Astrolabien erst ganz ungefähr und in Nachahmung (anderer) herstellte[8]) in den Tagen, als es noch keine Übersetzungen aus den Werken der Früheren (d. h. der Griechen) gab, aus denen man etwas über die Projektion und die Eigenschaften der Kegelschnitte hätte ersehen (lernen) können. Aber ich wundere mich doch über al Farġâni, daß er den Erfinder schmähte, darob weil er die Kugel an ihrem Pole abplattete[9]) (spaltete infitâq); doch will ich ihm in (der Zulässigkeit) einer Sache nicht widersprechen, die praktisch fast unmöglich, aber doch in der Vorstellung denkbar ist, und nur die Frage an ihn stellen, warum es nicht angängig sei, dieses Astrolab wie eines der Instrumente anzusehen, das uns die Kenntnis der

Stunden, der Horoskope und der Azimute vermittelt, wie z. B. die Tabelle des ṭailasân[10]) und die verschiedenartigen Sonnenuhren u. s. w., wenn auch keinerlei Verbindung (Zusammenhang) irgendwelcher Art zwischen diesen und den (beiden) Polen des Äquators und der Abplattung der Kugel an einem von ihnen besteht[11]). Weiter erklärte sich Abu'l ʿAbbâs mit einem Astrolab nur zufrieden, wenn es durch die Projektion der Kugel durch Kegel[12]) entstand. Ich will nun in einer besonders diesbezüglichen Abhandlung[13]) nachweisen, daß es nur eine Abart der Projektion durch Kegel[14]) darstellt, und zeigen, daß es (d. h. das melonenförmige Astrolab) richtig konstruiert ist, und ebenso will ich die Richtigkeit des Astrolabs nachweisen, das hergestellt ist mittels Zusammenlegen durch den Hohlraum der Kugel und durch Übereinanderlegen der Pole der Kugel, des einen auf den anderen. An dieser Stelle will ich nur einen kurzen Bericht über seine Herstellung geben[15])."

[1]) Mehrfach findet sich die Schreibweise „mubaṭṭaḥ" = eingesenkt, ausgebreitet. In unserer, der besten, Handschrift steht immer „mubaṭṭach" = melonenförmig. Das letztere ist höchst wahrscheinlich das richtige und wird durch die Mitteilung von Herrn Professor Dr. Nöldeke gerechtfertigt, daß es in Ps-Gâḥiẓ al maḥâsin w'al aḍḍâd 319, 18 von einem wunderschönen Mädchen heißt, „auf ihrem Kopfe war eine baṭṭîcha aus Kampfer"; hier kann baṭṭîcha nur eine „melonenförmige Masse" bedeuten. Daß der Beiname der Abarten des Astrolabs entsprechend der Gestalt der Spinne gewählt wurde, ergibt sich auch daraus, daß z. B. die Mischformen das trommelförmige, anemonenförmige u. s. w. genannt werden.

[2]) Die betreffende Stelle aus dem Buche „al kâmil"[1]) von Farġâni sei im folgenden mitgeteilt, doch sei vorher die Konstruktion des melonenförmigen Astrolabs kurz besprochen; wegen der Einzelheiten vgl. J. Frank a. a. O., S. 294 ff.

Dem Himmelsäquator entspricht in der Zeichnungsebene ein Kreis K mit einem beliebig gewählten Radius R. Letzterer wird in so viel gleiche Teile geteilt, als man zwischen Äquator und Nordpol Parallelkreise zu ersterem legen will, gewöhnlich also in 90 gleiche Teile. Durch die Ebenen dieser Parallelkreise kann man sich demnach die ganze Himmelskugel in Scheiben zerlegt, „aufgespalten" denken. Jedem Parallelkreis entspricht in der Bezugsebene ein Kreis, dessen Mittelpunkt mit dem von K zusammenfällt, und dessen Radius so viele Teile von R mißt, als Parallelkreise zwischen dem angenommenen und dem Nordpol sich befinden, der in dem Mittelpunkt von K zu liegen kommt. Irgendein Punkt P auf der nördlichen Halbkugel ist gegeben als geometrischer Ort des durch P gehenden Parallel- und Deklinationskreises. In der Bezugsebene entspricht

[1]) Zu Farġânîs Werk vgl. E. Wiedemann, Weltall 20. 25. 1919.

ersterem ein bestimmter konzentrischer Kreis, letzterem ein Radius, der mit dem dem Meridian entsprechenden den gleichen Winkel r einschließt, den der Deklinationskreis mit dem Meridiankreis bildet. So kann man alle Kreise auf der nördlichen Halbkugel punktweise in der Bezugsebene abbilden. Um die Punkte und Kreise auf der südlichen Halbkugel zu erhalten, hat man ursprünglich, wie aus Bîrûnîs Chronologie[1]) u. s. w. hervorgeht, einen zweiten gleich großen Kreis K genommen und dieselbe Konstruktion wie für die nördliche Halbkugel durchgeführt. Bîrûnî findet es sehr mißlich, daß dadurch verschiedene den Äquator schneidende Kreise, vor allem der Tierkreis, entzwei gerissen werden. Dies läßt nach Bîrûnî sich vermeiden, wenn man den Radius R über den Kreis K hinaus um 24 Teile vermehrt bei der Annahme, daß R 90 Teile mißt, und dann durch jeden Teilpunkt zu K parallele Kreise legt. Wie jedem Kreis im Innern von K ein bestimmter nördlicher Parallelkreis entspricht, so wird jedem der 24 an den Äquator sich anschließenden, um je 1° voneinander abstehenden Parallelkreisen in der Abbildung ein Kreis außerhalb K zugewiesen; dem mit der Deklination von —24° entspricht der Kreis mit einem Radius von 114 Teilen. In dieser Weise läßt sich der Tierkreis als eine zusammenhängende Kurve abbilden, nur ist die südliche Hälfte gegenüber der nördlichen vergrößert. Es sei noch bemerkt, daß für einen Punkt des Tierkreises der Winkel r gleich der ascensio recta ist, gezählt vom Anfang des Steinbocks, der in den Meridian verlegt wird.

Die Konstruktion des melonenförmigen Astrolabs war vielleicht dadurch veranlaßt, daß bei ihm die Zeichnung der Parallelkreise zum Äquator als aequidistante Kreise sehr einfach war und damit auch die Eintragung von Fixsternen auf der Spinne. Vielleicht führte das Bestreben der Araber, ein Problem von verschiedenen Seiten anzugreifen, zur Entstehung dieser besonderen Art des Astrolabs.

Farġânî nimmt zu diesem Astrolab folgende Stellung (Katalog von Ahlwardt Nr. 5790, Ldbg. 56, fol. 74b):

„Es gibt aber ferner Leute, die meinen, daß die Konstruktion des Astrolabs auf eine andere Weise [als die gewöhnliche, durch stereographische Projektion] möglich ist. Sie nehmen an, daß die Fläche der Himmelskugel von einem der Pole aus aufgespalten und daß sie dann in bezug auf den anderen ausgebreitet ist. Die Abbildung des gespaltenen (munfatiq) Poles ist eine einen Kreis umschließende Linie. Wie soll diese Ansicht nicht von demjenigen für schlecht befunden werden, der darüber nachdenkt und mit ihr arbeitet. Da doch die beiden Pole des Äquators zwei feste Punkte sind, die sich nicht bewegen, wie ist es möglich, daß einer von ihnen als Kreis[a]) abgebildet wird, der sich um den anderen Pol bewegt? Dies gehört zu dem häßlichsten, was von diesem Werk erwähnt wird. Ferner sind die beiden Pole in jedem Zustand untrennbar mit dem Horizont der sphaera recta verbunden; wie ist es dann möglich, daß der Pol untrennbar verbunden ist und doch ein Kreis ist, der sich

[1]) C. E. Sachau, Chronologie of ancient nations etc. 358—364. London 1879.

gegen den Horizont der sphaera recta bewegt? Muḥ. b. Mûsâ hat bei diesem Gegenstand [bâb] das angegeben, das zur Widerlegung dieser Ansicht dem genügt, der darüber nachdenkt.

(Um den folgenden Abschnitt verständlich zu machen, ist die Übersetzung etwas freier gehalten.)

Sie nahmen ferner von dem, was wir als irrig nachwiesen, das Abliegendste zum Ausgangspunkt, auf dem sie weiter bauten. Sie zeichneten den Tierkreis mittels Linien, die die verschiedenen Punkte [des Tierkreises] verbanden. Dazu nahmen sie als Ort eines jeden Tierkreiszeichens den Abstand vom Äquator und die Linien, welche die Aszensionen in der sphaera recta teilten. Diese Stellen verbanden sie durch Linien, die von der [üblichen] Gestalt verschieden waren. Sie bildeten den Tierkreis ab in einer Gestalt, die die Alten die ofenförmige (tannûrî)[b] nannten. Unter den Geometern ist bekannt, daß man nur die gerade Linie oder den Kreisbogen richtig zeichnen kann[c]. Wie kann man sagen, daß die Konstruktion nach dieser Methode richtig ist, oder wie ist, wenn sie richtig wäre, es für uns leicht, sie aufzusuchen und die Gestalt der Figuren auf dem Astrolab entsprechend dem zu ermitteln, was sie als seinen Zweck hinstellten?

Ich behaupte, daß, wenn man auf Grund dieser Annahme die Neigung eines jeden Grades auf dem Tierkreis von dem Äquator aus und den Betrag seiner Aszension in der sphaera recta ermittelt und dementsprechend zeichnet, das nicht der Wahrheit[d]) entspricht. Zweifellos kann keiner dies bei der Herstellung erreichen; wer sich aber vornimmt, die strenge Wahrheit in der [Konstruktions-] Kunst des Astrolabs mit wenig Anstrengung von einem leicht zu erfassenden Grundprinzip aus zu erreichen, der unternimmt [in diesem Fall] seine Herstellung nach einer Methode, die nicht richtig ist, und die trotz seines eifrigsten Strebens und der seinem Werk entgegentretenden Hindernissen nicht mit der Wahrheit übereinstimmt."

Zur Erläuterung der Ausführungen Farġânîs diene folgendes:

a) Wenn man in derselben Weise wie die ersten 24 südlichen Parallelkreise die ganze südliche Halbkugel abbildet, so entspricht in der Tat dem Südpol, da er 90° vom Äquator absteht, ein Kreis, dessen Radius um 90 Teile größer ist wie der von K. Um zu der Vorstellung von Farġânî und Muḥ. b. Mûsâ zu gelangen, greife man einen bestimmten Meridian heraus. Den Schnittpunkt S seiner Projektion, eines Durchmessers von K, mit der Projektion des Südpols könnte man als den Ort der Projektion des Südpols auffassen. Denkt man sich die Himmelskugel mit Äquator, Meridianen u. s. w. bewegt, so dreht sich auch der herausgegriffene Meridian, und in der Projektion beschreibt S, die Projektion des Südpols, einen Kreis. Da man sich dabei den Horizont mit seinen Parallel und Vertikalkreisen wie beim gewöhnlichen Astrolab unbeweglich im Raume vorstellt, damit auch die Ost-Westlinie, die zugleich die Projektion des Horizonts in der sphaera recta ist, d. h. der Horizont für die Orte auf dem Erdäquator, so kann man annehmen, der Pol bewegt

sich gegen diesen Horizont, während er auf der Kugel durch beide Pole hindurchgeht. Dem ist entgegenzuhalten, daß die obige Zuordnung für diesen speziellen Fall nicht mehr durchführbar ist, wir haben einen singulären Punkt. In Wirklichkeit wurde beim melonenförmigen Astrolab als südlichster Parallelkreis der genommen, der die Ekliptik im Anfang des Steinbocks berührt, bezw. aus technischen Gründen wohl ein um einige Grad noch weiter nach Süden gelegener Kreis.

Aus diesen Worten Farġânîs geht übrigens hervor, daß schon zu seiner Zeit diese Form der Abbildung, bei der den südlichen Parallelkreisen Kreise außerhalb K zugewiesen werden, bekannt war. Bîrûnî sagt in seinem Buche „Über das Projizieren der [Stern-] Bilder und das in Melonengestalt bringen (lies: tabṭîch statt tabṭîḥ) der Kugel" (vgl. Beiträge LVII. 85, Nr. V, 3), das demnächst in Übersetzung von H. Suter herausgegeben wird, und in die H. Suter uns im Manuskript in liebenswürdigster Weise Einblick gestattete, daß man nur die eine Hälfte, die nördliche oder die südliche, abbilden kann. Will man ferner die ganze Sphäre bezw. den ganzen Tierkreis haben, so braucht man die beiden Abbildungen, auf denen gerade die wichtigsten Sternbilder zerschnitten und verteilt sind. In der Chronologie spricht Bîrûnî von der obigen Erweiterung der Abbildung so, als ob er sie erdacht hätte.

b) Die Gestalt des Tierkreises, die ähnlich ist der Linie +72 in Fig. 7 der a. a. O. angeführten Arbeit von Frank, erinnert an einen Ofen *κλίβανος*, wie ihn die Griechen hatten. Dieser hatte parabolische Form mit ovalem Querschnitt. Vgl. auch Beiträge LVII. 84.

c) Die Lehre der Kegelschnitte von Apollonius ist zuerst auf Veranlassung der Benû Mûsâ aus dem Griechischen von Ṯâbit b. Qurra (836—901) u. s. w. übersetzt worden, also nach Farġânî. Er hat demnach bei der Abfassung seines Buches „al kâmil" die Kegelschnitte noch nicht gekannt.

d) Hier hat Farġânî eine unrichtige Auffassung, wie sich aus den Worten Bîrûnîs und der richtigen Konstruktion des melonenförmigen Astrolabs ergibt.

[3]) Farġânî starb wohl nach 847, Muḥ. b. Mûsâ b. Schâkir 873 und wohl um die gleiche Zeit Kindî, der Anfang des 9. Jahrhunderts geboren wurde.

[4]) Aus einer Stelle (2. Nau) in dem Werke „al kâmil" von Farġânî geht hervor, daß ʿillât mit Prinzipien und nicht mit Grundfehlern u. s. w. hier zu übersetzen ist.

[5]) Über diese Verhältnisse hofft der eine von uns in dem Archiv für Kulturgeschichte berichten zu können. Die Vorgänge bei der Wahl von Mustaʿîn (862—866) unter Ausschaltung von Muʿtaṣim schildert al Ṣûlî an einer Stelle, die De Goeje in seiner Ṭabarî-Ausgabe (III, 3. S. 1502) mitteilt. Die Folgen des Konfliktes zwischen Kindî und den Benû Mûsâ unter Mutawakkil werden von Ibn Alî Usaibiʿa I, 207 eingehend ge-

[6]) Den Beinamen Abu'l ʿAbbâs für Aḥmed b. Kaṯîr al Farġânî fanden wir nur bei Bîrûnî, H. Suter erwähnt ihn nicht in seinem trefflichen Werk über die Mathematiker und Astronomen u. s. w.

[7]) Wir konnten diese Stelle in Farġânîs Buch nicht finden. Wenn Kindî dieses Astrolab erfunden haben sollte, so müßte ihm dieses schon in seinen jüngsten Jahren gelungen sein, damit Farġânî, der fast 30 Jahre vor Kindî starb, davon noch Kenntnis erhielt. In dem a. a. O. erwähnten Buch „Über das Projizieren der Sternbilder u. s. w." sagt Bîrûnî, daß in einigen Abschriften von Farġânîs Werk als Erfinder Châlid b. ʿAbd al Malik al Marwarrûḏî (Suter Nr. 20) genannt wird. Er lebte in der ersten Hälfte des 9. Jahrhunderts und dürfte etwas älter als Farġânî sein. Es sei bemerkt, daß schon der um die Mitte des 8. Jahrhunderts lebende Fazârî ein solches Astrolab konstruiert haben soll (vgl. Frank S. 294). Das Astrolab al mubaṭṭaḥ (lies mubaṭṭach) wird auch von H. Chalfa (I. 397) erwähnt (vgl. E. Wiedemann, Beiträge LVII. 28) und dabei bemerkt, daß Ibn al Schâṭir (Suter Nr. 419) in seinem Werk „Der allgemeine Nutzen" betont, daß die mubaṭṭach-Astrolabien schwierig zu konstruieren sind.

[8]) Farġânî gebraucht in der Einleitung seines Buches ganz ähnliche Worte und sagt er sei der erste, der eine Theorie für die Konstruktion des Astrolabs gebe. Vgl. E. Wiedemann, Weltall 20, 22. 1919.

[9]) Damit kann gemeint sein, daß man nicht die ganze Kugel auf der Bezugsebene abtragen kann, da sich der Gegenpol auf einem Kreis abbilden würde, sondern daß man mit einem südlichen Parallelkreis abbrechen muß. Die Kugel wäre demnach durch die Ebene dieses Parallelkreises begrenzt, die Kugel also abgeplattet.

[10]) Unter Tabelle ṭailasân versteht Bîrûnî in seiner Chronologie (S. 132) eine solche von der Form eines rechtwinkligen Dreiecks, das durch Parallele zu den beiden Kàtheten so untergeteilt ist, daß in der 1. Horizontalen ein Feld, in der 2. zwei, in der 3. drei u. s. w. entstehen, und unter einem zweifachen ṭailasân ein Rechteck, das durch eine Diagonale halbiert wird. Jedes der beiden Dreiecke ist wie der einfache ṭailasân in Felder untergeteilt. In der Diagonalen stehen bestimmte Größen als Eingangswerte für die Tabelle; vgl. Dozy, Dictionaire des noms des vêtements chez les arabes 278. 1845. Der Name ṭailasân kommt jedenfalls daher, daß ṭailasân ein dreieckiges Tuch bedeutet. Auch für eine Gestalt des Mondes wird das Wort ṭailasân benutzt. Es heißt in der Chronologie (S. 187): Die Stadt Ḥarrân war dem Mond geweiht, da sie in der Gestalt des Mondes wie ein ṭailasân gebaut war.

Von Abu'l Qâsim ʿAlî b. Mâgûr (oder Amâgûr, Suter Nr. 99) rührt eine zîg al ṭailasân (Tafel des Überwurfes) her. Dazu bemerkt Nallino, daß es sich um eine kleine Tabelle zur Berechnung des Tagbogens der Sonne in Äquinoktialzeiten handelt (C. Nallino bei H. Suter, Abh. z. Gesch. d. math. Wissensch. XIV, 165. 1902).

[11]) Man muß zugeben, daß dieser Gegenbeweis Bîrûnî nicht gelungen ist; denn die Weltachse steht mit dem melonenförmigen Astrolab

in unmittelbarem Zusammenhang, was z. B. bei der tailasân-Tabelle nicht der Fall ist.

[12]) Die Spitzen der Kegel liegen im Projektionspol, es handelt sich also um die gewöhnliche stereographische Projektion.

[13]) Diese Abhandlung kündigt Bîrûnî in dem a. a. O. erwähnten Buch „Über das Projizieren der Sternbilder u. s. w." auch an, wir haben aber keine Anhaltspunkte, daß er sie wirklich verfaßt hat. Vielleicht ist sie die in Beiträge LX unter Nr. XIII, 7 oder p. 92 unter Nr. 4 oder 5 angeführte Abhandlung.

[14]) Eine Kegelprojektion im engeren Sinn des Wortes liegt der Konstruktion des melonenförmigen Astrolabs nicht zugrunde, denn die Projektionen der Kreise auf der Himmelskugel sind mit Ausnahme der Parallel- und Vertikalkreise zum Äquator nicht Kegelschnitte, sondern transzendente Kurven.

[15]) Hier ist das zusammengesetzte melonenförmige Astrolab gemeint, s. w. u.

4. Schluß des Abschnitts über das melonenförmige Astrolab (fol. 92b).

Zunächst bespricht Bîrûnî ganz kurz in folgender Weise die aus dem nördlichen und südlichen melonenförmigen Astrolab hervorgegangenen Mischformen und schließt mit einem allgemeinen historischen Rückblick: „Herstellung des melonenförmigen Astrolabs, das durch Aufeinanderlegung der beiden Pole der Kugel entsteht. Das Astrolab, in dem man sich die beiden Pole der Kugel im Innern [des Astrolabs] aufeinander gelegt denkt, ist bei dem nördlichen und südlichen [melonenförmigen] Astrolab gerade so herzustellen[1]), wie das myrthenförmige Astrolab aus dem gewöhnlichen [eigentlich ebenen musaṭṭaḥ] nördlichen und südlichen hergestellt wird. Wie dies dort aus den für beide geltenden Konstruktionsprinzipien möglich und ausführbar ist, so ist dies auch hier der Fall, da die Grundlagen dafür unbedingt richtig sind, und da man notwendigerweise zu einer Erfindung geführt wird.

Das melonenförmige Astrolab ist das, welches Farġânî nach der Gestalt des Tierkreises benannte, der auf ihm in ofenförmiger Gestalt abgebildet war. Er gab ein Urteil über seine Unmöglichkeit und Wertlosigkeit ab. Er verwunderte sich über die Konstruktion der zwei Wendekreise des Krebses und des Steinbocks[2]), so wie einer sich wundern muß, dem die zwei Mischformen des gewöhnlichen Astrolabs, d. h. des südlichen und nördlichen, wie es früher bei dem myrthenförmigen und

anderen beschrieben ist, nicht begegnet sind. Dies war ein unentrinnbares Verhängnis für Farġânî, trotz seiner Trefflichkeit, seiner hervorragenden Bedeutung in der Konstruktion der Astrolabien und seinem Ruhm, der in der Schönheit seines Verfahrens begründet war.

Denn hätte er die anderen Mischastrolabien gekannt, so hätte er auch beim melonenförmigen keine Schwierigkeiten gehabt. Chwârizmî[3]) sagt in der Begründung seiner bekannten Tafeln, daß Kindî nur dasselbe tat. Wenn dann [Farġânî] von den Geometern sagt, daß man auf der Scheibe nur gerade Linien und Kreisbögen zeichnen könne, so wissen sie jetzt, daß dies sich ganz anders verhält. Doch ist Farġânî vollkommen entschuldigt, da er noch nichts von den Kegelschnitten gehört hatte und davon, daß mittels einer jeden ihrer Arten und aller anderen Linien[4]) die Projektion der Kugel möglich ist. Die von Farġânî angegebenen Verfahren erweisen sich nach den Ausführungen in seinem Werk „al kâmil" als richtig. Dabei ist lobend anzuerkennen, daß er sich darauf beschränkte, für sie einen Beweis zu geben, daß er aber seine Ausführungen nicht damit schloß, das für unmöglich zu erklären, was er nicht behandelte. Denn in solchen Behauptungen liegt etwas, das einem, der etwas Ähnliches ausführen wollte, davon abhält und veranlaßt, seine Arbeit abzubrechen. Dabei wird in manchen Fällen derselbe Entschuldigungsgrund aus der Sophistik genommen. . . .

Bei der Schilderung des gewöhnlichen Astrolabs hatte er, da die Ausführung leicht war, Freiheit der Bewegung und reichlichen Spielraum; handelt es sich um die schwierige Ausführung anderer Dinge, so trat ihm eben die Schwierigkeit seines Vorhabens [hindernd] in den Weg."

[1]) Wie man die nördlich vom Äquator gelegene Halbkugel im Innern vom Kreise K abbilden kann, so kann man das gleiche Verfahren auch für die südliche Halbkugel anwenden. Der Südpol fällt dann in den Mittelpunkt des Kreises K, der die Abbildung vom Äquator ist. Der südlich vom Äquator gelegene Horizontkreis liegt auf der Bezugsebene symmetrisch zu dem Abbild für die nördliche Kugel. Die südlichen Meridianschnittpunkte der Muqantara der Erhebung rücken vom Südpol her gegen den Äquator auf der Sphäre und in der Bezugsebene, liegen in dieser also zwischen Horizontlinie und Kreis K; so erhält man die Scheibe für das südliche melonenförmige Astrolab. Für die Scheibe des

aus dem nördlichen und südlichen melonenförmigen zusammengesetzten Astrolabs kann man das gleiche Verfahren wie bei dem myrthenförmigen anwenden, das aus dem gewöhnlichen nördlichen und südlichen Astrolab konstruiert wird (vgl. S. Frank S. 281 ff. und Fig. 3). Die für das südliche melonenförmige Astrolab gezeichneten Muqantaras schließen sich dann wie in Fig. 3 nach unten zu der Horizontlinie an; man erhält eine der Scheibe in Fig. 3 ähnliche Abbildung, nur daß die Linien nicht Kreisbögen sind. Die südliche Hälfte des Tierkreises liegt symmetrisch zur nördlichen Hälfte beim nördlichen melonenförmigen Astrolab in bezug auf den horizontalen Durchmesser. Beim Mischastrolab setzt man diese beiden Stücke aneinander. Der Tierkreis zeigt dann eine ganz ähnliche Gestalt, wie der des myrthenförmigen Astrolabs, nur wiederum mit dem Unterschied, daß die beiden Hälften bei diesem Kreisbogen sind, bei jenem nicht. Der Vorteil des zusammengesetzten melonenförmigen Astrolabs ist derselbe wie der des gewöhnlichen Mischastrolabs, nämlich, daß man auch die südlich vom Wendekreis des Steinbocks befindlichen Sterne und Punkte abbilden kann. Dazu kommt noch der Vorteil, daß man den äußeren Ring für die südlichen Parallelkreise wie beim gewöhnlichen melonenförmigen Astrolab nicht benötigt. Ein dem trommelförmigen analoges mubaṭṭaḥ-Astrolab, dessen Tierkreis aus den größeren Kurvenstücken zusammengesetzt wäre, die außerhalb von K liegen würden, läßt sich nicht konstruieren, da man nur für Orte, deren Breite kleiner als die Ekliptikschiefe den Verlauf der einzelnen Zeichen ganz verfolgen könnte, man müßte denn die Scheibe vergrößern; doch würde man dadurch eine ungewöhnliche Vergrößerung für die Abstände in Polnähe erhalten, abgesehen von der Unmöglichkeit der Abbildung der beiden Pole. Der innerhalb von K gelegene Raum wäre zwecklos, man kann ihn nicht beliebig klein machen, da sein Durchmesser das Maß für die äquidistanten Kreise liefert.

[2]) Während beim gewöhnlichen Astrolab in der Projektion der Wendekreis des Steinbocks weiter vom Äquatorkreis absteht als der des Krebses, haben beide auf der Scheibe des melonenförmigen Astrolabs, als äquidistante Parallelkreise, gleichen Abstand vom Äquator. Beim einfachen zusammengesetzten Astrolab fallen die beiden in der Projektion zusammen, weichen also auch von der normalen Anordnung ab.

[3]) Chwârizmî dürfte wohl nicht Muḥ. b. Mûsâ al Chwârizmî (Suter Nr. 19) sein, der schon um 840, also um einige Jahrzehnte vor Kindî starb. Es wird sich wahrscheinlich, wiederum wie oben, um Muḥ. b. Mûsâ b. Schâkir handeln, dem auch manchmal der Beiname als Chwârizmî beigelegt wurde, und der jedenfalls häufig mit dem ersteren verwechselt wurde. So lesen wir in Qiftî S. 284: „Muḥ. b. Mûsâ, des Astronomen Sohn, und es ist nicht al Chwârizmî“ und S. 258: „Mir erzählt Muḥ. b. Mûsâ, des Astronomen Sohn, und er ist nicht Chwârizmî.“ Allerdings ist von Muḥ. b. Mûsâ b. Schâkir keine astronomische Tabelle erwähnt. Daß er aber zahlreiche astronomische Beobachtungen angestellt hat, berichtet Ibn Jûnus.

[4]) Unter allen anderen Linien versteht wohl Bîrûnî nicht die Kegelschnitte allein, sondern auch solche transzendente Kurven, wie sie gerade beim melonenförmigen Astrolab und vielleicht bei anderen, die uns nur nicht bekannt sind, vorkommen. In dem gleichen Sinn sagt er in dem öfters erwähnten Buch „Über das Projizieren u. s. w.", daß Punkte und Kreise auf der Kugel in die Ebene durch gerade Linien, gerade und schiefe Kegelflächen, Zylinderflächen oder Flächen unvollkommener Körper, d. h. wohl solcher, die keine Kegelschnitte liefern, projiziert werden können.

5. Einleitung zu dem Abschnitt über das vollkommene Astrolab (fol. 98[b]).

Anschließend an das melonenförmige Astrolab bespricht Bîrûnî das vollkommene Astrolab in der folgenden Weise überleitend:

„Herstellung des vollkommenen (kâmil) Astrolabs mittels der Projektionen, die bei den Astrolabien verwendet werden.

Man kann ein Astrolab entsprechend der Gestalt desjenigen herstellen, für das Farġânî nur den Namen das „ofenförmige" (tannûrî) kannte, mittels einer Projektionsmethode, die ihm in den Sinn kam. Der Name entspricht der Darstellung des Tierkreises. Er glaubte, daß die Projektion unmöglich auszuführen sei[1]). Als ich sein Buch las, wunderte ich mich über seine Meinung. Ich führte die Projektion zu Ende und nannte sie die vollkommene. Denn sie umfaßt die Gesamtheit der Sterne vollständig[2]) und weist auf der [Horizont-] Linie des [Erd-] Äquators keine Besonderheiten auf für die beiden Seiten des Tierkreises, nämlich dessen Süden und dessen Norden, die sich nach den Enden bei den Äquinoktien erstrecken [und dort zusammenstoßen][3]). Dieses geschah, nachdem das Verlangen nach seiner Konstruktion meine besten Kräfte [Gedanken] in Anspruch genommen und mich angeregt hatte, ihre Prinzipien [nämlich die der Projektion] kurz zusammenzustellen und ein einzigartiges Buch zu verfassen, das sich auf diesen Gegenstand beschränkt und nur ihn allein behandelt. Es wird nämlich nichts von diesem Gegenstand in den Werken besprochen, die die astronomischen Instrumente behandeln, und es wird auch nichts von einem Vertreter [dieses Faches] erwähnt. Ist dies [die Projektion] aber nicht unmöglich, so steht dem Wetteifer der Gedanken nichts im Wege, wobei die natürlichen Geistesanlagen mitein-

ander ringen, Dinge, die möglich sind, hervorzubringen. Da aus dem Werk von Farġânî das hervorging, was ich erwähnt habe, so fürchte ich von den Streitlustigen und Tadelsüchtigen, daß sie einen Weg fänden, mich trotz meiner Unschuld zu verleumden. Deshalb ließ ich meinen ersten Plan fallen und verwendete meine Sorge darauf, sie [die Projektion] in diesem Werk niederzulegen, damit meine darauf verwendete Mühe nicht vergeblich sei. Wenn Abu'l ʿAbbâs al Farġânî dessen würdig erachtet würde, was von ihm überliefert wird, so gehört es ihm, und ich bin nur sein Berichterstatter. Wenn er dessen aber nicht würdig ist, so habe ich daran einen Anteil[4])."

[1]) Der Konstruktion des vollkommenen Astrolabs liegt die orthogonale Projektion zugrunde. Auf die Ebene des Äquators bezw. auf eine dazu parallele, z. B. auf die Tangentialebene in einem der Pole wird jeder Punkt der Himmelssphäre durch eine Parallele zur Weltachse projiziert. Der Äquator und die zu ihm parallelen Kreise bilden sich als konzentrische Kreise ab, in deren gemeinsamem Mittelpunkt die Projektionen des Nord- und Südpols liegen. Alle anderen Kreise auf der Himmelssphäre bilden sich als Ellipsen ab. Der Horizont wird als eine Ellipse projiziert, deren große Achse in die Ost-Westlinie und deren kleine Achse in die Meridianlinie fällt. Gegen das so konstruierte Astrolab wendet sich Farġânî in dem gleichen Kapitel s. w. u., indem er das melonenförmige, das er auch das ofenförmige (tannûrî) nennt, verwirft. Er fährt mit den Worten fort:

„Ferner nimmt einer an, daß man alles, was auf der Himmelskugel sich befindet, auf der die Kugel berührenden Fläche des Astrolabs aufzeichnen kann. Man stellt sich dabei vor, daß die Kugel auf ihre Tangentialfläche in bezug auf einen Pol ausgebreitet sei, und daß der andere Pol auf den berührenden Pol fällt. Jeder Teil der Kugel soll auf die Stelle des Lotes fallen, die von diesem Ort der Kugel zu dem Fuß, senkrecht zur Ebene, geht.

Dies Verfahren ist wiederum in diesem Buch unmöglich; denn der Tierkreis wird nach dieser Methode auf dem Astrolab in 2 Stücken abgebildet, die nahezu dem [Quer-] Schnitt der ofenförmigen (tannûrî) Figur ähnlich sind."

Farġânî sucht auch einen Beweis für seine Behauptung zu bringen, der aber sehr verworren ist und in dem er die senkrechte Projektion nicht beibehält, so daß Bîrûnî in seiner Abhandlung „Über das Projizieren von Sternbildern u. s. w." mit Recht von einem „Faseln" Farġânis spricht.

[2]) Während beim gewöhnlichen Astrolab nur der nördlich vom Wendekreis des Steinbocks bezw. der südlich von dem des Krebses gelegene Teil der Himmelssphäre abgebildet werden kann, ebenso beim einfachen melonenförmigen Astrolab, kann bei der orthogonalen Projektion die ganze Sphäre abgebildet werden, nur fallen Fixsterne mit der gleichen

nördlichen und der gleichen südlichen Deklination auf denselben Projektionskreis. Daß 2 Sterne auch noch die gleiche Rektaszension haben, kommt im allgemeinen nicht vor. Die Mängel dieser Projektionsart bespricht Bîrûnî in der Abhandlung „Über das Projizieren u. s. w." selbst, er weist auf die oben erwähnte Möglichkeit hin, ferner, daß die Sterne, die in der Nähe des Äquators stehen, in der Projektion sehr zusammengedrängt werden, „so daß oft nördliche und südliche Sternbilder zusammenfallen und dem Auge als eins erscheinen". Die Rektaszensionen und die gegenseitigen Abstände von Sternen, die weiter vom Äquator abstehen, werden nach Bîrûnî bei der orthogonalen Projektion richtig wiedergegeben.

[3]) Der Tierkreis bildet sich als eine Ellipse ab, deren große Achse, wie beim Horizont, gleich dem Radius des Äquatorkreises ist, als Verbindungslinie ihrer gemeinsamen Schnittpunkte, also des Anfangs von Widder und Wage. Die kleine Achse ist die Projektion der Verbindungslinie vom Anfang des Krebses und des Steinbocks, die in der Projektion vom Mittelpunkt gleich weit entfernt sind, da sie auf der Sphäre vom Äquator den gleichen Abstand haben. Die nördliche und südliche Hälfte des Tierkreises sind in der Projektion zur großen Achse symmetrisch und treffen sich in den Schnittpunkten mit dem Äquator. Beim gewöhnlichen Astrolab sind die beiden Hälften zur Verbindungslinie Widder-Wage nicht symmetrisch, die zugleich die Projektion des Horizonts am Erdäquator ist.

[4]) Bîrûnî fürchtet wohl, man könnte ihm zum Vorwurf machen, daß das Verdienst an dieser Projektionsart nicht ihm, sondern Farġânî zukomme, da dieser die Frage schon angeschnitten habe. Übrigens findet sich schon in den Analemmata von Ptolemäus die senkrechte Projektion, wenn auch nur für spezielle Fälle, behandelt. Soweit sich den Angaben von Steinschneider (Z. D. M. G. 50. 18. 1896) entnehmen läßt, sind die Analemmata nicht ins Arabische übersetzt worden.

6. Einleitung der Lehre in die allgemeine Zentralprojektion. (fol. 95 b).

Nachdem Bîrûnî die stereographische, die orthogonale Projektion und die besprochen hat, die der Konstruktion des melonenförmigen Astrolabs zugrunde liegt, geht er in einem kurzen Abschnitt auf die bekannte Konstruktion der Ellipse mit dem zusammengeknüpften Faden ein[1]). Endlich behandelt er eine von Ṣaġânî herrührende noch allgemeinere Projektion, bei der der Projektionspol irgendein Punkt der Weltachse inner- oder außerhalb der Himmelssphäre sein kann. Diesen Abschnitt leitet er mit den Worten ein:

„Dies sind die früheren Verfahren; sie sind (wie in dem Vorwort zu dem Buche angeführt ist) ohne Beweise gegeben. Mit ihnen sind nur wenige Winke verbunden, die man sich

merken muß, da man in ihnen eine Richtschnur für weitere Arbeiten hat. Dann macht einer, der mich hierüber befragt, neue Schwierigkeiten; aber ich weiß genau, wer sich diese Hinweise zu eigen gemacht hat, hat damit genug, und sein Herz gibt sie nicht mehr auf. [Da sage ich] Nimm Deinerseits den Standpunkt ein, daß Du dessen nicht absolut sicher bist, daß Abu'l ʿAbbâs al Farġânî die Grenzen der Wahrheit darin überschritten hat, als er allgemein behauptete, die Kegelprojektion, bei der sich einer der [Welt-] Pole bewegt, sei unmöglich und nicht richtig[2]). Würde er aber die Lehre von der neu erfundenen [ganz allgemeinen] Projektion kennen, bei der irgend eine beliebige Linie die Projektion irgend eines gegebenen Kreises sein kann, so würde er die Trefflichkeit der Männer in den Rangstufen der Wissenschaften und den Graden von deren Anwendung erkennen[3]). Diese vollkommene (tâmm) wunderbare [Zentral-] Projektion gehört zu dem, was man Abû Ḥâmid Aḥmed b. Muḥ. b. al Ḥusain al Ṣaġânî als ihrem ersten Erfinder nicht strittig macht, und von der man nicht bestreitet, daß er allein es war und kein anderer, der sie entdeckte. Durch ihn wurde die Konstruktion des Astrolabs zum Abschluß gebracht, da es ihm gelang, alle Linien auf ihm ausführen zu können[4]). Über diesen Gegenstand schrieb er ein schönes Werk, das für jeden, der sich mit dieser Frage beschäftigt, unentbehrlich ist. Da dieser treffliche Mann der erste war, der diese vollkommene Projektion erfand und sie in dem Werke verewigte, so verhält es sich bei ihm wie bei allen andern, die Künste neu erschlossen haben. Im Anfang sind sie einfach [bestehen aus einzelnen Teilen nebeneinander]; dann werden sie im Laufe der Zeit kompliziert, bis sie, falls dies möglich ist, den höchsten Grad der Vollkommenheit erreichen. Die Gelehrten haben dann vollkommene Freiheit, die diesem Gegenstand eigentümliche Untersuchung zu betreiben und sich um den Aufbau seines Gipfels zu sorgen. Deshalb setze ich mir das Ziel, durch verschiedenartige Erörterungen mit Verweisungen auf andere Werke von ihm sein Werk von Wiederholungen und Verwirrungen zu befreien. Sein Verfahren will ich ordnen, leicht und planmäßig machen, wie es der Art und dem logischen Zusammenhang der Beweise entspricht; dabei einige Stellen kürzen, andere erweitern, falls es nötig ist. Da ich weiß, daß eine Verweisung auf bedeutsame Bücher, der man

nicht Folge leisten kann, die Herzen der Hörer verwirrt und die, welche Belehrung suchen, gegen den, der sie belehrt, aufreizt, so machte ich mich daran, ein Kompendium aus dem Werke von Abû Ḥâmid, Gott sei ihm gnädig († 990), zu verfassen. Es sollte in möglichster Kürze seinen Inhalt wiedergeben und nicht mit Beweisen überhäuft sein, da es dadurch zu lang und umfangreich würde. Wenn ich auch eine Konstruktion hinzufüge, die nicht hinzugehört, und Worte, die nichts damit zu tun haben, so mußte ich doch etwas derartiges anbringen, da mein Zweck ist, Hinweise [auf andere Gebiete] und Anregungen zu weiteren Studien bei aller Kürze zu geben.

[1]) Vgl. E. Wiedemann, Zeitschr. f. math. u. naturw. Unterricht 50. 177. 1919 und Weltall 20. 26. 1920.

[2]) Vgl. S. 106.

[3]) Bîrûnî meint, man soll den Standpunkt Farġânîs nicht ohne weiteres verurteilen, sondern erst die „neue Projektion" studieren und sich dann daraus ein Urteil über Farġânîs Ansicht machen.

[4]) Insofern bei allen vorher besprochenen Astrolabien als Projektionen Gerade, Kreise, bei dem vollkommenen auch Ellipsen und beim melonenförmigen ellipsenförmige Kurven auftreten, bei der allgemeinen aber auch noch Parabeln und Hyperbeln, also alle Kegelschnitte, kann man von einem Abschluß reden. Dagegen kann man von einem solchen nicht sprechen, wenn man die sämtlichen Projektionsarten, die zur Konstruktion des Astrolabs führten, in Betracht zieht. Denn bald nach Bîrûnî konstruierte Isḥâq b. Jaḥjâ al Naqqâs b. al Zarqâlî al Qurṭuḥî (aus Cordoba, Suter Nr. 255) die nach ihm benannte Zarqalische Scheibe, ein Astrolab, bei dem die Kugel von einem der Äquinoktialpunkte auf die Ebene des Kolurkreises projiziert wird. Fast 2 Jahrhunderte nach Bîrûnî erdachte Scharaf al Dîn al Ṭûsî (Suter Nr. 333) das besonders einfache Linearastrolab.

7. Konstruktion des horizontalen Schattens (fol. 52ᵇ).

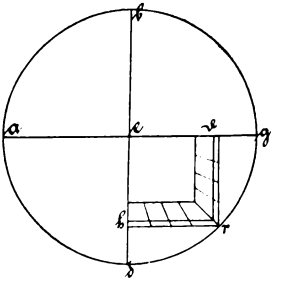
Auf der Rückseite fast aller Astrolabien findet sich das Schattenquadrat (s. E. Wiedemann, Beiträge XVIII, S. 38). Mit seiner Hilfe kann man unmittelbar für eine Sonnenhöhe zwischen 45° und 90° die Länge des Schattens (des horizontalen Schattens, ẓill mabsûṭ, oder mustawi, umbra extensa) eines vertikalen Gegenstandes (Gnomons) in einer gewählten Einheit (Finger, Füße) und für eine Sonnenhöhe zwischen 0° und 45° die des auf eine vertikale Fläche von einem horizontalen Gegenstand geworfenen Schattens (des vertikalen Schattens, ẓill ma'kûs, muntasib, umbra recta) ablesen; d. h. man kann für

Winkel zwischen 45° und 90° den Kotangenten und für solche zwischen 0° und 45° den Tangenten proportionale Größen angeben. Der ausgebreitete Schatten für Sonnenhöhen im zweiten Intervall läßt sich rechnerisch in einfacher Weise aus dem vertikalen Schatten ableiten (vgl. Beiträge XVIII, S. 51). Natürlich kann man mittels des Schattenquadrates auch aus der Schattenlänge die zugehörige Sonnenhöhe finden. Das Schattenquadrat dient aber nicht zuletzt zur einfachen Berechnung geodätischer Aufgaben (vgl. hierzu Beiträge XVIII, S. 61 ff.). Bei vielen Astrolabien ist einer oder die beiden unteren Quadrantbögen des Randkreises auf der Rückseite mit einer Teilung versehen, aus der man die Länge des horizontalen Schattens auch für Sonnenhöhen unter 45° unmittelbar entnehmen kann. Die Konstruktion dieser Teilung beschreibt Bîrûnî in folgender Weise:

„Es gibt Leute, die auf den beiden übrigen[1]) Quadranten-[bögen] eine Einteilung für die Zahl der Finger des Schattens anbringen, wobei sie die Länge des schattengebenden Körpers zu 12 Finger annehmen und eine für die Zahl der Füße, wobei sie die Länge des Körpers zu $6^1/_2$ Fuß[2]) nehmen. Diese Teilung können sie nur so weit durchführen, als die Länge des Schattens die vierfache Länge des Körpers nicht überschreitet; denn der Schatten nimmt mit den (abnehmenden) Graden der Höhe in dem vorhergehenden (kleineren) Bereich stark zu. Die der gleichen Zunahme des Schattens entsprechenden Teile auf dem Umfang (des Randkreises) liegen sehr nahe aneinander[3]). Den Schatten aus einer Tabelle zu bestimmen ist schwierig für den Fall, daß (in ihr) die den einzelnen Fingern des Schattens entsprechenden Grade der Höhe angegeben sind[4]). Ist aber bekannt (wie beim Astrolab), wieviele Finger des Schattens den einzelnen Graden der Höhe zukommen, so ist die Sache leicht. Man nimmt der Reihe nach die einzelnen Grade der Höhe (auf den oberen Quadranten des Randkreises) und legt den Rand eines Lineals auf sie und auf den Mittelpunkt. Der (von d, Fig. 1, aus gemessene Teil) des gegenüberliegenden Quadrantbogens, der dabei abgeschnitten wird, ist der ihnen zukommende Betrag an fehlerlosen Fingern. Ebenso verhält es sich mit den Füßen. Um die Sache aber so auszuführen, müssen wir nicht vorher eine Tabelle (gadwal) aufstellen und für jeden Finger

die ihm entsprechende Größe der astronomischen Tafel (zîg) entnehmen oder die aufgestellten Tabellen umkehren. In diesem Fall müssen wir auf die Proportionalitäten zwischen den beiden Kolumnen achten. Abû Naṣr Manṣûr ʿAlî Ibn ʿIrâq hat in seinem Werk „Verbesserung der Belehrungen (Tahḏîb al taʿâlîm)“ bewiesen, daß die Anwendung der Proportionalität zwischen den Überschüssen der beiden Kolumnen, nämlich den geraden Linien, die den Kreislinien (in der Tabelle) gegenübergestellt sind, angenähert gilt. Ich habe in einem anderem Werke gezeigt, daß dies für die Schatten nicht gilt und bei weitem nicht richtig ist[5]).

Fig. 1.



Der Kunstgriff in der Teilung des Dastûr nach den Schatten besteht darin, daß wir (Fig. 1) in der Mitte (m) des Durchmessers zwischen dem Mittelpunkt (e) und dem Nordpunkt (d) ein passendes Zeichen machen und von ihm nach Westen (g) ein Lot auf den Durchmesser (ed) ziehen[6]), das beliebig weit verlängert wird. Dann legen wir das Lineal auf den Mittelpunkt (e) und auf den Halbierungspunkt (r) zwischen Nord- und Westpunkt. Da, wo es dieses Lot schneidet, machen wir ein Zeichen. Von dieser Stelle bis zum Ausgangspunkt (m) auf dem Durchmesser teilen wir (die Strecke) in 12 gleiche Teile. Den Betrag eines dieser Teile tragen wir auf dem Rest des verlängerten Lotes (wiederholt) ab. Den Mittelpunkt (e) verbinden wir mit einem Teilpunkt dieser Linie durch eine Gerade, die den Umfang (des Randkreises) schneidet, bezw. wenn (der Teilpunkt) innerhalb des Kreises ist, verlängern wir (die Verbindungslinie) in gerader Richtung bis sie den Kreis trifft. So teilen wir den Quadranten in Fingern entsprechend der Maßeinheit, nach der der Gnomon geteilt ist. [Handelt es sich um eine Einteilung] in 60 Teile, so teilen wir die ursprüngliche Strecke in 60 Teile und den Rest der verlängerten Linie nach dem Betrag eines Teiles von ihnen.

Um aber den vertikalen Schatten zu ermitteln, errichten wir auf der Hälfte des Durchmessers, welcher sich zwischen dem Mittelpunkt (e) und dem Westpunkt (g) befindet, ein Zeichen und ziehen von ihm ein Lot nach der Nordseite. Dann ver-

binden wir mit dem Mittelpunkt den Halbierungspunkt zwischen dem Nord- (d) und Westpunkt (g) durch eine gerade Linie. Von ihrem Schnittpunkt mit dem Lot teilen wir die Strecke bis zum Ausgangspunkt auf dem Durchmesser (eg) in 12 oder in 60 gleiche Teile. Wir verfahren ebenso, wie bei dem horizontalen Schatten. Mit dem Anschreiben der Zahlen beginnen wir bei dem Westpunkt[7]). Wollen wir an Stelle der Finger die Füße des Schattens abtragen, so teilen wir die Strecke, die wir in 12 geteilt haben, in $6^1/_2$ und führen das Verfahren wie vorher zu Ende. Die Konstruktion des Schattens der Füße geschieht besser für den horizontalen als für den vertikalen Schatten[8])".

[3]) Die beiden oberen Quadrantbögen des Randkreises auf dem Rücken des Astrolabs sind in je 90 Grade geteilt und dienen zu Winkelmessungen. Auf manchen Instrumenten ist nur der linke obere Bogen in dieser Weise geteilt.

[2]) Wegen anderer noch vorkommender Einteilungen vgl. E. Wiedemann, Beiträge XVIII, S. 48.

[3]) Ein Gegenstand wirft einen Schatten, der viermal so lang wie er selbst ist, also 48 Finger mißt, bei einer Sonnenhöhe von 14° 2′ 10″. Bei der Zunahme des Schattens um 1 Finger entspricht einer Schattenlänge von 49 Finger ein Winkel von 14° 19′ 30″, der sie auf der Kreisperipherie darstellende Teilstrich liegt also bei kleineren Instrumenten ganz nahe an dem für die Schattenlänge von 48 Finger. Bei noch kleineren Winkeln verschlechtern sich die Verhältnisse in erhöhtem Maße.

[4]) Sind in einer Tabelle Finger für Finger die entsprechenden Sonnenhöhen angegeben, so liefert erst eine umständliche Rechnung, für ganze Grade und größere Bruchteile von ihnen — nur solche Winkel können aber beim Astrolab genau gemessen werden — die entsprechenden Schattenlängen.

[5]) Abû Naṣr Manṣûr Ibn ʿAlî Ibn ʿIrâq (man kann auch ʿArrâq lesen, Suter Nr. 186) wird von Bîrûnî als sein Lehrer bezeichnet und besonders seine Berechnung des Apogeums gerühmt (vgl. E. Wiedemann und H. Suter, Beiträge LX, S. 78, 90). Eine Proportionalität zwischen Schattenlängen und Sonnenhöhen besteht natürlich nur für Winkel in der Nähe von 90°.

[6]) Während beim Schattenquadrat die Finger auf einem Lot, das vom Halbierungspunkt zwischen d und g auf den Durchmesser e d gefällt wird, abgetragen werden, wird bei der Konstruktion des „Schattenquadranten" das in der Figur dem Mittelpunkt e nähere Lot verwendet. Vielleicht wäre es zweckmäßiger, da einfacher, nur das erstere Lot mitzubenutzen.

[7]) Wir erhalten so auf dem Umfang des Randkreises eine doppelte Teilung. Legt man die Alhidade auf irgendeinen Grad der Höhenteilung,

so kann man an ihrem entgegengesetzten Ende auf dem Schattenquadranten die Zahl der Finger ablesen, die der zugehörige horizontale und der vertikale Schatten messen. Wir würden in unserer modernen Anschauung sagen, wir besitzen in dieser Einrichtung eine Tafel, die uns für jeden Winkel eine der Tangente und Kotangente proportionale Größe angibt.

[8]) Warum bei den Füßen nur die eine Teilung durchgeführt werden soll, ist nicht ersichtlich.

Bemerkung: Diese Ausführungen sind in der Leydener Handschrift von einer besonders sorgfältig ausgeführten Zeichnung begleitet, die mit „Brett des Dastûr" überschrieben ist.

Eine angenehme Pflicht ist es uns den Bibliotheksvorständen in Berlin, Erlangen, Gotha, Leyden, Leipzig, München u. s. f. unseren verbindlichsten Dank für die liebenswürdige Unterstützung auszusprechen, durch die sie unsere Arbeiten in entgegenkommendster Weise gefördert haben.

Dank hochherziger Spenden der Herren Dr. med. et Dr. phil. h. c. Gustav Schirmer in Chicago und Kommerzienrat Dr. med. h. c. Karl Zitzmann in Erlangen konnten diese und die folgenden Abhandhandlungen gedruckt werden.

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: 1920-1921

Band/Volume: 52-53

Autor(en)/Author(s): Wiedemann Eilhard, Frank Josef

Artikel/Article: Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. LXI. Allgemeine Betrachtungen von al Biruni in einem Werk über die Astrolabien. 97-121