Die Bestimmung der geographischen Breite der Stadt Ġazna, mittels Beobachtungen im Meridian, durch den arabischen Astronomen und Geographen al-Bîrûnî.

Von Karl Schoy, Essen a. d. R.

Zu den größten und originellsten muslimischen Gelehrten gehört ohne Zweifel al-Bîrûnî (973 bis 1048). Aus den Überschriften seiner zahlreichen Werke, die er schrieb, geht hervor, daß er in erster Linie den Astronomen und Mathematikern beizuzählen ist. Nichtsdestoweniger hat er aber auch als Geograph Hervorragendes geleistet. Er lebte viele Jahre in Ġazna, am Hofe der Herrscher von Afġânistân, zuletzt unter dem Ġaznawiden Mas'ûdî ibn Maḥmûd ibn Sebuktekin. In Begleitung seines Gönners kam Bîrûnî nach Indien, wo er sich die Kenntnis der indischen Sprache und indischen Wissens aneignete. Als Frucht seines indischen Studienaufenthaltes hinterließ er seine berühmte, durch Ed. Sachau unter dem Titel „India" (London 1888, zwei Bände) ins Englische übertragene Beschreibung Indiens, die wegen Bîrûnîs universeller Auffassung und gründlicher Sachkenntnis als bedeutendste muslimische Leistung auf dem Gebiete der Länderkunde angesehen werden muß. Aber es gibt von al-Bîrûnî noch ein zweites Werk, eine Art astronomischer Geographie, die allein schon hinreichend gewesen wäre, seinen Namen unsterblich zu machen, ich meine: al-Qânûn al-Mas'ûdî, eine höchst bedeutsame Schrift, die der Verfasser derselben dem oben genannten Herrscher von Ġazna widmete (1030). Leider hat sich bis jetzt kein Gelehrter gefunden, der den Inhalt dieses Handbuches, ähnlich wie Sachau die „India", der Allgemeinheit zugänglich gemacht hätte. So wissen wir bis heute vom Mas'ûdî'schen Qânûn so gut wie nichts. Da ich aber schon seit mehreren Jahren einzelne Partien dieses seltenen arabischen Kodex studiert habe (hauptsächlich nach dem Berliner arab. Mskr. Orient. Okt. 275), so möchte ich hier ein Kapitel daraus veröffentlichen[1]), das sich auf die Bestimmung der geographischen Breite Ġaznas bezieht. Bevor die Übersetzung des arabischen Textes folgt, sollen, zur Förderung des Verständnisses, erst einige geschichtliche Bemerkungen und sachliche Erläuterungen gegeben werden.

Al-Bîrûnî bringt in unserem Falle das Verfahren zur Anwendung, durch Messen der oberen und unteren Kulminationshöhe eines Zirkumpolarsterns die Ortsbreite zu finden, ein Verfahren, welches uns heute noch geläufig ist in der bekannten Formel: $\varphi = \frac{h_1 + h_2}{2}$. Bei der praktischen Ausübung hat der ostarabische Gelehrte allerdings den Zirkumpolarstern durch die Sonne ersetzt, die bei der Beobachtung ihrer Meridianhöhe im Beginn (Kopf) zweier Sternbilder stehen muß, die gleichweit von den Solstitialsternbildern Krebs und Steinbock abstehen müssen. Bei Bîrûnî sind es Löwe und Schütze. Diese zwei Mittagshöhen treten alsdann an die Stelle der Kulminationshöhen des Fixsterns, und das Resultat ist die Äquatorhöhe am Beobachtungsort oder das Komplement der geographischen Breite. Für die Breite Ġaznas findet der Autor den recht guten Wert: $\varphi = 33^\circ\ 35'$.

Man möge aber wissen, daß al-Bîrûnî auch bei diesem Verfahren, das zwar schon verschiedene Araber vor ihm gekannt haben, seine Vorgänger weit überragt, und zwar sowohl durch den Beweis, den kein Früherer gibt, als auch durch die ausführliche Schilderung der speziellen Ausführung für Ġazna und die oftmaligen wertvollen wissenschaftlichen Zutaten, die häufig seine Darlegungen begleiten, während der Mangel an jeglichem Zahlenbeispiel bei den früharabischen Astronomen vermuten läßt, sie hätten sicherlich niemals aus dem arithmetischen Mittel der oberen und unteren Meridianhöhe eines nicht untergehenden Fixsterns eine Breitenbestimmung ausgeführt. Dies ist auch nicht verwunderlich; denn es liegen zwischen den zwei Meridiandurchgängen eines und desselben Fixsterns

[1]) Siehe über andere Details aus al-Qânûn al-Mas'ûdî: „Isis" Nr. 13, Vol. V, pag. 51 bis 75, und meine Schrift: „Über den Gnomonschatten und die Schattentafeln in der arabischen Astronomie" (Hannover 1923). Einen vollständigen Überblick über die Schriften Bîrûnîs gibt E. Wiedemann in „Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften", LX, Erlangen 1920.

12 Stunden (Sternzeit). Aber selbst in der winterlichen Jahreszeit dauert in den subtropischen Landen des Islâm die Nacht nicht erheblich länger als 12 Stunden.

Es dürfte nicht ohne Interesse sein, hier die Frage nach dem Urheber der astronomischen Praktik: durch Mittelbildung der Kulminationshöhen eines Zirkumpolarsterns die Breite des Beobachtungsortes zu ermitteln, zu erheben [$\varphi = \frac{1}{2}(h_1 + h_2)$]. Wir vermögen sie keineswegs bündig zu beantworten. Ich hatte dieselbe Frage in meiner Schrift: „Die geschichtliche Entwicklung der Polhöhebestimmungen bei den älteren Völkern“ (Hamburg 1911, pag. 17) erhoben und mich dort mit der Antwort begnügen müssen, daß sich die Erwähnung des in Rede stehenden Verfahrens frühestens bei al-Battânî (+ 929) nachweisen lasse. Inzwischen sind die „Astronomischen Tafeln des Muḥ. ibn Mûsâ al-Khwârizmî“ (+ ca. 850) von H. Suter in deutscher Bearbeitung erschienen (København 1914), wo die Regel genau in derselben Fassung wie bei al-Battânî auftritt: $\varphi = \frac{1}{2}(h_1 + h_2) = h_1 + \frac{1}{2}(h_2 - h_1)$. [Siehe pag. 19 und 71.] Da aber nur ein lateinischer Text, den Athelhard von Bath ca. 1150 nach einer späteren Bearbeitung dieser Tafeln durch den spanisch-maurischen Astronomen Maslama al-Maǵrîṭî (ca. 1008) fertigte, erhalten ist, so ist die Möglichkeit einer späteren Einschiebung nicht ausgeschlossen. Daß die Methode aber doch früharabisch sein dürfte, ergibt sich einwandfrei aus dem arabischen Text des ʿAlî ibn ʿÎsâ, der um die Mitte des 9. Jahrhunderts florierte, „über den Gebrauch des Astrolabs“, welchen Text Louis Cheikho in Beirût auf Grund von drei verschiedenen arabischen Manuskripten in arabischer Sprache veröffentlichte (Beirût 1913). Bei meiner Übertragung dieser Schrift ins Deutsche stieß ich pag. 16 ebenfalls auf dieselbe Regel wie bei al-Chwârizmî und al-Battânî. Der Autor lehrt die Ermittlung von φ durch Beobachtung der oberen (h_1) und unteren (h_2) Kulminationshöhe mittels des Astrolabs nach den Formeln: $\varphi = h_2 + \frac{1}{2}(h_1 - h_2) = h_1 - \frac{1}{2}(h_1 - h_2)$. Dagegen findet sich bei dem Früharaber Ḥabaš al-Ḥâsib († ca. 870) nichts dergleichen. Er scheint nur die indische Methode der Polhöhebestimmung: Beobachtung des Mittagsschattens eines Gnomons, zu kennen. (Berliner arab. Mskr. Kitâb al-Ḥabaš al-Ḥâsib, pag. 95b/96a).

Wir kehren zu al-Bîrûnî zurück. Zum leichteren Verständnis seiner Ausführungen mögen diesen selbst erst einige kurze Erläuterungen vorausgehen.

Die Kreisfigur sei ein Meridianabschnitt der Himmelskugel. BHD bedeute den Horizont, S sein Zenit, AHC den Himmelsäquator, T dessen Nordpol, und KM, SL, GZ, ED seien Parallelkreise zum Äquator, in denen immerwährend sichtbare Sterne sich um die Himmelsachse HT drehen mögen.

1. Liegen jetzt die obere und untere Kulminationshöhe, d. h. arc DK = h_1 und arc DM = h_2 nördlich vom Zenit S, also auf derselben Seite wie der Nordpol T, dessen Erhebung über den Horizont = arc DT = φ sei, so liest man aus der Figur ab:

$$\begin{aligned} DM &= DT - TM \\ DK &= DT + TM \end{aligned} \qquad \text{(da TK = TM sein muß).}$$

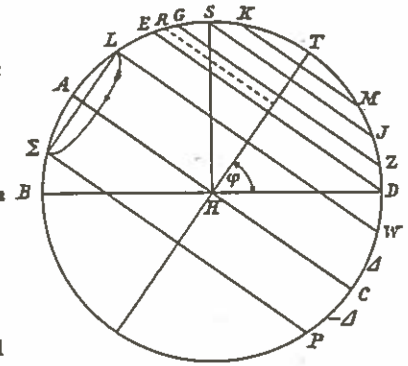
Hieraus folgt: $DK + DM = 2 \cdot DT$,

oder: $\frac{h_1 + h_2}{2} = \varphi$, q. e. d.

2. Liegt aber die obere Kulminationshöhe eines Zirkumpolarsterns, z. B. G, südlich vom Zenit, seine untere, bei Z, aber im Norden, so ziehen wir durch D eine Parallele zum Durchmesser des Parallels GZ. Dann ist EG = DZ = h_2. Da aber arc DC = arc AB = $90^\circ - \varphi$ (Äquatorhöhe) ist, so liest man für diesen Fall aus der Figur ab:

$$BE = 2 \cdot (90^\circ - \varphi)$$
$$h_1 - h_2 = 2 \cdot (90^\circ - \varphi)$$
$$\frac{h_1 - h_2}{2} = 90^\circ - \varphi$$
$$\varphi = 90^\circ - \frac{h_1 - h_2}{2}, \qquad \text{q. e. d.}$$

3. Ist statt der beiden Kulminationshöhen h_1 und h_2 nur eine derselben gegeben, dazu aber noch die Deklination δ des Sterns, so kann man, falls beide Höhen auf derselben Seite vom Zenit wie der Pol liegen, folgende zwei Fälle unterscheiden:



α) Es sei gegeben (Kreis KM) arc DK = h_1 und arc AK = arc MC = δ.

Hiermit liest man aus der Figur ab:

$$DT + TK = h_1$$

oder: $\varphi + 90^\circ - \delta = h_1$,

woraus folgt: $\varphi = h_1 - (90^\circ - \delta)$. q. e d.

β) Ist aber statt h_1 die kleinste Höhe h_2 gegeben, so liest man ab:

$$CD + DZ + ZT = 90^\circ$$

oder: $90^\circ - \varphi + h_2 + 90^\circ - \delta = 90^\circ$,

und hieraus folgt:

$$\varphi = h_2 + 90^\circ - \delta. \qquad \text{q. e. d.}$$

4. Wenn sich ein Stern im Parallel ED bewegt, so daß er bei seiner unteren Kulmination den Horizont gerade in D berührt, so ersieht man, daß

$$BE = BA + AE = BA + CD,$$

das heißt: $h_1 = 2 \cdot (90^\circ - \varphi)$,

mithin $\frac{1}{2} h_1 = 90^\circ - \varphi$ ist, q. e. d.

Liegen aber K und D auf der gleichen Seite mit dem Pol, so ist

$$DK = h_1 = 2\,\varphi.$$
$$\frac{1}{2} h_1 = \varphi, \qquad \text{q. e. d.}$$

5. Angenommen, die Sonne durchlaufe bei ihrem Eintritt in das Sternbild des Löwen (im Kopf des Löwen) den Parallelkreis LW, und ihre Mittagshöhe sei BL, und es werde nachher vorausgesetzt, sie bewege sich zu Beginn des Schützen im Parallel ΣP mit der Mittagshöhe BΣ, so kann man geometrisch diese Sachlage auch so auffassen, als oszilliere die Sonne in dem kleinen Kreise von L bis Σ, wobei der Äquator die Drehungsachse, also AL = AΣ ist. Es sind dann BL = H_1 und BΣ = H_2 die bez. Kulminationshöhen der Sonne, und ebenso, wie für die Neigung der Drehungsachse HT

$$\varphi = \frac{1}{2}(h_1 + h_2)$$

folgte, so ergibt sich für unseren Fall die Neigung der Drehungsachse AC zu

$$90^\circ - \varphi = \frac{1}{2}(H_1 + H_2),$$

ein Ausdruck, der auch sofort durch Addition der zwei Gleichungen

$$\begin{aligned} H_1 &= 90^\circ - \varphi + \Delta \\ H_2 &= 90^\circ - \varphi - \Delta \end{aligned}$$

erhalten wird.

Übersetzung des arabischen Textes (nach dem Berl. Mskr. Okt. 275, pag. 90b ff.):

„Das 8. Kapitel des 4. Buches: Über die Kenntnis der Breite der Orte aus den Meridianhöhen immer sichtbarer Sterne.

Dazu fassen wir bekannte Fixsterne ins Auge, die bei ihrer Umdrehung um den Pol in unserem Lande immer sichtbar bleiben, sowohl beim Aufsteigen vom Horizont als auch beim Abstieg zu ihm. Dies ist der Fall bei den beiden Brüdern (den Sternen β und γ des kleinen Bären) und bei der Nachhut der Bahre der Banât Naʿš (Töchter der Bahre = ε, ζ, η ursae majoris)[1]) in Arabien und den

[1]) Der Schlußstern des großen Bären führt heute noch den Namen: „Banatnasch“, was freilich insofern widersinnig ist, als banât Plural von bint ist und „Töchter“ bedeutet. Al-Bîrûnî hat in seinem Sternkatalog (al-Qânûn al-Masʿûdî p. 194a bis 213a) für die drei Sterne der Deichsel des großen Wagens die Namen: Aṣl ad-danab = Wurzel des Schwanzes (ε ursae majoris),
Wasṭuhu = dessen Mitte (ζ „ „),
Ṭarfuhu = dessen Spitze (η „ „).

2*

arabisierten Landen, dazu beim hinteren Ende des Ruhebettes (der Bahre) und der größten Anzahl der Töchter im Lande Chorâsân und dessen Nachbarschaft, endlich bei allen Töchtern in den Tälern des Flusses Balch, von der biqâ'[1]) aus. Und wenn wir einen ihrer Sterne (der Banât) oder einen ähnlichen dazu auswählen, so beobachten wir seine größte Höhe im Meridian bei seinem Aufstieg über den Pol, ebenso auch seine kleinste Höhe unterhalb des Pols. Und wenn beide Höhen von der gleichen, nämlich nördlichen, Richtung sind, oder eine Höhe genau 90° ist, so nehmen wir die Hälfte ihrer Summe, was gleich der Ortsbreite ist. Falls aber die Höhen verschiedene Richtungen haben, so ziehen wir die Hälfte ihrer Differenz von 90° ab; der Rest, der sich ergibt, ist gleich der Ortsbreite. Weil schon aus den Prämissen dieser Wissenschaft das Maß (der Größe) der Erde bekannt ist aus der Messung mit dem Sinnesorgane bis zur Sonnenkugel und den Sternen, so weiß man auch aus diesen Prämissen, daß das, was an Bögen im Meridian liegt, teils aus dem Quadranten Äquator—Pol, teils aus dem Quadranten Horizont—Zenit besteht, und daß, wenn man die beiden Überbleibsel (Überschüsse) gleichmacht, der eine derselben gleich der Ortsbreite, der andere gleich der Polhöhe ist, die ebenfalls gleich der Ortsbreite ist;[2]) somit hat man letztere in zwei Fassungen. Aber der Pol ist kein sichtbarer Punkt; es ist also nicht möglich (an seiner Statt) einen Stern zu nehmen; es sei denn, daß in Zukunft einer den Pol einnimmt, aber auch dieser weilt nicht lange Zeit in ihm. So besteht also keine Möglichkeit zu seiner direkten Messung. Man erkennt seine (nächste) Umgebung aus der Unveränderlichkeit, welche sie darbietet. Und ein Stern, der ihn in seiner Nähe in einer Bahn umkreist, die (nahe) den Horizont berührt, ist immer sichtbar, außer bei Tageslicht, und so ist jeder Stern bei seiner Rückkehr in den Meridian über (oberhalb) der Erde. Der Durchgang geschieht das eine Mal in der höchsten, das andere Mal in der niedrigsten Stelle hinsichtlich des Pols. Falls von der größten Höhe in absolutem Sinne (überhaupt nur) die Rede ist, nennt man die anderen (Höhen) „Linien", falls sie aber im Zusammenhang mit der größten vorkommen, heißen sie „kleinere Höhen", welche Bezeichnung ihrem Zustand entspricht, und wenn diese letztere Bezeichnung die passendere ist, so handelt es sich um keinen Gegensatz (keine Gegenüberstellung). Die „Linien" weisen auf die Verschiedenheit (sukzessive Folge) der Höhen bis zum Horizont hin.

Wir unterstützen das Verständnis durch eine Zeichnung. Es sei ABCD der Meridian, AHC der Durchmesser des Äquators, T dessen Pol, BHD der Durchmesser des Horizonts und S dessen Pol. Und wir nehmen weiterhin einige dem Äquator parallele Kreisdurchmesser an, die den Kreisen immer sichtbarer Sterne entsprechen. Sie mögen von S, dem Zenit, von G, südlich davon, und von K, nördlich davon, ausgehen. Solche Durchmesser seien also: GZ, SJ und KM. Was wir suchen, das ist DT, die Polhöhe oder Ortsbreite. Beim Durchmesser KM liegen beide Höhen im Norden, und zwar ist K die größte, M die kleinste Höhe, und es folgen von M an drei Zahlen eines arithmetischen Zahlenverhältnisses, sie sind: DM, DT, DK mit gleichen Zwischenräumen, und das Doppelte der mittleren Höhe ist gleich der Summe der beiden äußeren. Wenn wir daher DM, die kleinste Höhe, DK, der größten, zuzählen, so ist die erlangte Summe gleich der doppelten Breite, gerade so, wie wir die Breite erhalten, wenn wir die Differenz zwischen den zwei Höhen halbieren und diese Hälfte zu der kleineren Höhe hinzuzählen, oder sie (diese halbe Differenz) von der größten Höhe subtrahieren, um gleichfalls das Verlangte zu erhalten.

Und hinsichtlich des Durchmessers SJ kennen wir DJ, die kleinste Höhe im Norden, und DS, die größte der beiden, die kein Verhältnis zu einer Richtung hat. Es bilden jetzt DJ, DT, DS ein arithmetisches Verhältnis mit gleichen Differenzen, und somit läßt sich wiederum die erste Überlegung anwenden. Beim Durchmesser GZ sind die zwei Höhen DZ und BG gegeben, die auf verschiedenen Seiten (des Zenits) liegen. Ziehen wir ED ‖ GZ, so ist AB = AE, und wenn wir jetzt EG, die kleinere der beiden Höhen, von BG, der größeren, subtrahieren,

[1]) Biqâ' = Niedergrund mit Wasser, davon die spanische Vega.
[2]) Text in diesem Satze nicht in Ordnung.

so bleibt BE, d. i. das Doppelte der Äquatorhöhe, welche die Ergänzung zur Breite ist. Die südliche dieser beiden Höhen ist mit Notwendigkeit größer als die nördliche, wenn aber beide Höhen gleich sind, dann fällt der Pol mit dem Zenit zusammen.

Es ist ZS die Ergänzung der kleineren der beiden Höhen, GS diejenige der größeren von ihnen. Wenn wir sie vereinigen, gibt die Summe den Bogen ZTG. Wenn wir deren Hälfte um DZ, die kleinere Höhe, vermehren, erhalten wir TD, das ist die Breite. Und es ist einleuchtend, daß von einem immer sichtbaren Stern auch sein Abstand vom Äquator bekannt sein kann, während die Kenntnis einer der zwei Höhen fehlt. Ist nun die größere der beiden Höhen bekannt, so ziehen wir von ihr das Komplement seines Abstands vom Äquator (Deklination) ab, ist aber die kleinere bekannt, so fügen wir besagtes Komplement zu ihr hinzu, und beidemal ergibt sich die Ortsbreite.

Doch wir erwähnten hier nur einen Teil der sämtlichen Fälle, weil die anderen der sinnlichen Wahrnehmung unzugänglich sind und man vergeblich nach der kleineren der zwei Höhen fragt: der Stern geht bereits unter, bevor er in die unterste Kulmination gelangt.

Und wenn der Stern K einen Parallelkreis beschreiben würde, der gerade den Horizont berührte, daß also der Durchmesser seines Kreises KD wäre, so ist die Breite gleich der halben Kulminationshöhe des Sterns, und ebenso wäre es mit dem Stern S aus dem Grunde, daß er in der äußersten Stellung (für diese Möglichkeit) ist.

Falls aber jetzt die Breite aus dem Stern G gewünscht wird, der ebenfalls in seiner unteren Kulmination nach D gelangen soll, so daß also seine größte Höhe BG und sein Durchmesser GD wäre, so ist, für den Winkel des Durchmessers des Äquators AHC, die Höhe BG gleich dem Doppelten des Komplements der Breite, und dies (alles) ist es, was wir in deutlicher Erörterung beweisen wollten.

Und wir haben damit auch dargetan, daß die Ergänzung der Ortsbreite gleich dem arithmetischen Mittel zwischen zwei Mittagshöhen ist, die man bei gleich großen, aber verschiedensinnigen Deklinationen (Δ und $-\Delta$) gemessen hat, falls beide Höhen auf einer Seite vom Zenit liegen. So fanden wir beispielsweise für die Stadt Ġazna die größte Meridianhöhe BR der Sonne 79° 59′ 46″[1]) und die kleinste 32° 50′ 0″, und wenn wir von der größten Höhe die maximale Deklination[2]) (Ekliptikschiefe) abziehen oder diese Deklination zur kleinsten Höhe hinzufügen, so folgt in beiden Fällen die Mitte zwischen diesen zwei Höhen, d. i. 56° 25′, und sie ist gleich der Ergänzung der geographischen Breite; es stärkt (dies Resultat) das Vertrauen zu jenem, das wir also fanden: Zur Zeit des Äquinoktiums stellten wir zwischen der Beobachtung und der Berechnung nach dem zîǵ (astronomischen Tafeln) von al-Ḥabaš annähernd einen Unterschied von 4⅛ Stunden (bezüglich des Eintritts der Sonne in den Kopf des Widders) fest; das macht in der Sonnenbahn 0° 11′ 42″. Um diesen Betrag ist in Wirklichkeit das Ergebnis der Rechnung zu vermindern. Und falls wir damit das erproben (prüfen), was wir aus den Meridianhöhen bei Ermittlung der Äquatorhöhe aus jeder einen dieser beiden Höhen oder aus ihrer halben Summe fanden, der halben Summe aus den beiden getrennten und sich entsprechenden Parallelkreisen, so kommt das von uns Gefundene dem Erwähnten nahe. Wir geben fürs erste ein Beispiel hierzu, und zwar handle es sich um die Beobachtung der Sonne bei ihrem Eintritt in die zwei Sternbilder des Löwen und des Schützen: Wir fanden den Ort der Sonne, als sie in dem alljährlich wiederkehrenden Parallel des Kopfes des Löwen zur Mitte des Tages, am Tage des 9. Sabt vom Chordâdmâh des Jahres 388 der Ära Jezdeǵerd[3]) beobachtet wurde, bereits 0° 9′ tief im Löwen stehend, oder nach Abzug des oben erwähnten Wertes: 29° 58′ 18″ tief im Sternbild des Krebses. Der Weg, den die Sonne um diese Zeit pro Tag (in

[1]) Diese Zahl fehlt im arab. Text; ich habe sie einer Tabelle des Qânûn etc. pag. 93a entnommen.
[2]) Diese gibt Bîrûnî, pag. 85a, zu 23° 35′ an; aus obigen Zahlen folgt für die Ekliptikschiefe $\varepsilon = 23° 34' 53''$. Der wahre Wert für ε war um das Jahr 1000 n. Chr. 23° 34′ 8″.
[3]) Der 9. Sabt vom Chordâd-mâh des Jahres 388 der Ära Jezdeǵerd ist der 19. Juli 1019 n. Chr. (Freundl. briefl. Mitteilung von Herrn Prof. F. K. Ginzel, Berlin).

der Ekliptik) zurücklegt, ist 57′, und wir fanden durch Beobachtung der Meridianhöhe an diesem Tag, durch sorgfältige Schätzung[1]) und mittels des Bleilotes (šâqûl) 76° 42′, und wir berechneten sie (die Höhe) für den darauffolgenden Mittag zu 76° 30′, und es ist die Höhe des Kopfes des Löwen 76° 41′ 32″.

Es war ferner der Ort der Sonne für die Tagesmitte am Montag, den 5. vom Adar-mâh in dem Jahre, das registriert ist im Jahresverzeichnis für Ġazna[2]) im Skorpion 29° 45′. Der Weg der Sonne (in der Ekliptik) ist an diesem Tage 1° 1′, und die Meridianhöhe fand sich zu 36° 16′ und durch Ausgleichsrechnung für den folgenden Tag zu 36° 2′[3]), und es wird die Höhe für den Beginn des Schützen = 36° 9′ 52″.

Somit ist die Summe der zwei Meridianhöhen des Kopfes des Löwen und des Schützen = 112° 51′ 24″, und die Hälfte davon beträgt 56° 25′ 42″. Ganz ähnlich hatten wir aber auch die Äquatorhöhe aus jedem der beiden Parallelkreise gesondert bestimmt, und jedesmal waren die Ergebnisse nahezu dieselben, und es beruhigt sich das Herz mit den beiden Einzelresultaten und dem aus der Rechnung gefundenen."

II.

Es entsprach ganz der Neigung arabischer Astronomen, eine Zahlengröße, sei es eine Richtung, die sich mit einer variablen Grundzahl, von der sie abhängt, verändert, sei es eine Sonnenhöhe oder Schattenlänge oder ähnliches, für alle möglichen Werte der Grundzahl zu errechnen und zu tabulieren. Solche Zahlentabellen oder Tafeln finden sich denn auch mehr oder minder zahlreich in ihren astronomischen Schriften. Ein derartiges Buch hieß ein „zîǧ" (plur. zîǧât) von dem Worte „zîq" (Meßschnur), d. i. auf Persisch „zäh" (Meßschnur, Sehne), d. h. die Sehne, weil die grundlegenden Tabellen gewöhnlich die Sehnen- bzw. trigonometrischen Sinustafeln waren[4]). (Vgl. al-Bîrûnîs al-Qânûn al-Mas'ûdî, pag. 63[b].)

In unserem Falle handelt es sich zunächst um die Tafel der Meridianhöhen der Sonne. Der unermüdliche Bîrûnî hat dabei die Aufgabe gelöst, für die Breite von Ġazna die Kulminationshöhe der Sonne zu berechnen, und zwar für die gradweise in der Ekliptik fortschreitende Sonnenlänge, wobei er die Zählung vom Sternbild des Krebses aus beginnt. Das würden im ganzen 360 Meridianhöhen sein, aber da sich innerhalb eines Jahres zwei solcher Höhen genau gleich sind, so genügt die Berechnung für 180 konsekutive Ekliptikgrade. Ist nun die Sonnenlänge (vom Widder aus gezählt) = λ, also in bezug auf den Krebs: $\lambda - 90°$, die Ekliptikschiefe = ε und die zugehörige Deklination = δ, so hängen diese drei Größen bekanntlich durch die Relation

$$\sin\delta = \sin\varepsilon \cdot \sin\lambda \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

zusammen. Jeder Sonnenlänge λ entspricht eine Sonnendeklination δ, und mit deren Kenntnis ergibt sich die gesuchte Meridianhöhe zu

$$h = 90° - \varphi + \delta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Wie schon der Text im vorhergehenden erkennen ließ, kann die approximative Kenntnis von h für irgendeinen Tag (Beginn des Löwen, des Schützen) eine gute Stütze für die Bestimmung von h durch direkte Messung mit dem Quadranten oder Oktanten sein[5]). Warum hat der Autor aber alle möglichen Werte für h berechnet? Sicherlich war die reine Freude am Rechnen ein Beweggrund,

[1]) Ich möchte vermuten, daß diese Abschätzung rechnerisch geschah, mit Hilfe der Höhentabelle, die sich gleich im folgenden Kapitel diesem Text anschließt.

[2]) Dies Datum kann so nicht bestimmt werden. Möglich, daß diese Ära 20 Jahre nach dem Tode Jezdegerds, also 652 n. Chr., begann, und nach der man vielleicht in Chwârazmien, also der Heimat Bîrûnîs, rechnete. Wahrscheinlich handelt es sich aber um den 19. November 1019 n. Chr. (Freundl. briefl. Mitteilung von Herrn Prof. F. K. Ginzel, Berlin).

[3]) Dazu diente eben die folgende Tabelle der Meridianhöhen der Sonne.

[4]) Vgl. die ganz andere und danach unzutreffende Ableitung des Wortes zîǧ, die man bei H. Suter: „Die astron. Tafeln usw." S. 32 und C. A. Nallino: „Opus astronomicum" I, Milano 1903 pag. XXXI findet. Herrn Prof. J. J. Hess (Zürich) verdanke ich die Mitteilung, daß schon al-Khwârizmî in seinem zwischen 965 und 991 n. Chr. verfaßten Buch: Kitâb mafâtîḥ al-'ulûm (Buch des Schlüssels der Wissenschaften) eine richtige Erklärung von zîǧ gibt.

[5]) S. Isis, Nr. 13, pag. 58.

und es erregte vielleicht auch der Ġaznawiden Wohlgefallen, ihre Hauptstadt bzw. deren Breite astronomisch eine Rolle spielen zu sehen. Tabellen, die nur für Ġazna Gültigkeit hatten, erhöhten seinen Glanz als wissenschaftliche Metropole. Auch Ḥabaš berechnete Tabellen für Baġdâd, wennschon der eigentliche Mutterparallel der muhammedanischen Lande der 30. Breitengrad ist.

Eine wichtige Bedeutung kam in der arabischen Astronomie auch dem Schatten des Gnomons (miqjâs) zu, eines Stabes, der gewöhnlich senkrecht zur Schattenfläche stand, also lotrecht bei horizontaler Ebene und wagerecht bei vertikaler. Die Länge derartiger Schatten hängt naturgemäß von der Größe des schattenwerfenden Stiftes und dem Stand der Sonne ab. Man bestimmte aus der Länge des Mittagsschattens die Ortsbreite[1]), besonders aber sind die Schatten ein integrierender Bestandteil der Sonnenuhren. Die Gesamtheit aller Mittagsschatten des ganzen und halben Jahres bilden in der arabischen Sonnenuhrkunde den Ḫâfir bzw. Ḥalazûn, worüber man nähere Details in meinem Buche: „Gnomonik der Araber" (Berlin 1923 pag. 58) findet. Unser Autor hat auch die Schattenlängen für den Mittag ermittelt. Sei die Sonne in ihrem Tageskreis vormittags in einem Punkte Σ ihres Tageskreises angekommen, so werfe der senkrechte und wagerechte Zeiger FG = q, einen Schatten $F\Sigma_1$, steht die Sonne aber genau im Meridian, so ist der horizontale und vertikale Mittagsschatten bzw.:

$$m = q \cdot \operatorname{cotg} h \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

$$n = q \cdot \operatorname{tang} h \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

---

[1]) Vgl. des Verfassers schon oben genannte Schrift: „Die geschichtliche Entwicklung usw.", pag. 15 und 25. Aus dem kitâb al-Ḥabaš al-Ḥâsib (Berliner arab. Mskr. Wetzstein 90) habe ich folgende Stelle für die Ermittlung der Ortsbreite aus dem Mittagsschatten bemerkt (pag. 95[b]): „Wenn wir die Breite des Ortes wissen wollen, so beobachten wir den Schatten, bis er auf die Mittagslinie gelangt. Durch Messen dieses Schattens bringen wir die Meridianhöhe der Sonne heraus, deren Betrag wir im Gedächtnis behalten. Falls nun die Sonne zur Zeit der Messung im Anfang des Widders oder der Wage stand, so ist das Komplement ihrer Meridianhöhe gleich der Ortsbreite. Befand sich die Sonne aber an einer Stelle (der Ekliptik) zwischen dem Beginn des Widders und der Wage, so ziehen wir die Deklination der Sonne von ihrer Mittagshöhe ab; was übrig bleibt, ist die Höhe des Widders und der Wage: wir nehmen das Komplement derselben, das die Breite des Ortes ist. Wenn die Sonne aber zwischen Wage und Widder steht, so zählen wir die Gradzahl der Deklination zu ihrer Meridianhöhe hinzu. Dann nehmen wir die Ergänzung des erlangten Resultates; was wir r halten, ist gleich der Ortsbreite."