

F. GEOGRAPHISCHE ORTSBESTIMMUNG VOM  
5./11. BIS ZUM 7./13. JAHRHUNDERT

1. Das 5./11. Jahrhundert als Beginn einer neuen Epoche der geographischen Ortsbestimmung

Wann die arabischen Gelehrten auf die unterschiedlichen westlichen Längenzählungen aufmerksam wurden, können wir heute nicht mehr genau zurückverfolgen. Ein großer Geograph und Astronom wie al-Bīrūnī (gest. 440/1048) kannte im ersten Viertel des 5./11. Jahrhunderts nicht mehr den wahren Grund für den Unterschied zwischen zwei differierenden Längenangaben für ein und denselben Ort auf einer Tabelle. In seinem *Qānūn* (II, 546) nimmt er zu dieser Frage Stellung. Er glaubt, daß die 10° Differenz im Falle von Bagdad z. B. darauf zurückzuführen sind, daß einige den Nullmeridian durch die Kanarischen Inseln gehen lassen, andere ihre Längengrade von der Küste des Umfassenden Ozeans im Westen her zählen. Er selbst gehe davon aus, daß die Länge von Bagdad 70° betrage. Auch in seinem *Tahdīd nihāyāt al-amākin* schneidet er die Frage an und meint, daß das Hauptziel der Längengradzählung die tatsächlich existierende Längendifferenz zwischen zwei Orten ohne Berücksichtigung ihrer Distanz vom Beginn der Ökumene sei. Anscheinend erfuhr er durch manche andalusisch-magribinische geographische Tabellen, auf denen der Nullmeridian um 28°30' westlich von Toledo verlegt war, daß Bagdad einen Längengrad von 80° erhalten hatte, ohne jedoch über den Sachverhalt genau informiert worden zu sein.<sup>1</sup> Es wird später erörtert werden, daß al-Bīrūnī bei seiner großangelegten Aktion der geographischen Ortsbestimmung den Anfangsmeridian durch Bagdad, das Zentrum des abbasidischen Kalifats, gehen ließ.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Iumma in aḥḥadnā ʿūla Baġdād min sāhil Baḥr al-Maġrib 70° kāna ʿūl ar-Raiy 78°5' 20'' wa-in aḥḥadnā ʿūla Baġdād min al-Ġozā'ir al-Ḥālidāt 80° kāna ʿūl ar-Raiy 88°5' 20'' wa-innama l-maqṣūd fi ḥāda l-bāb huwa mā baina l-bilād fi ʿ-ʿūl dūna aḥwālīhā anḥusihā min mabda' al-'imāra, fa-li-dālika lā yaḍurrunā ḥāda l-iḥtilāf fi mabda' aḥ-ʿūl, wa-yaṣḥadu li-ṣiḥḥat ḥāda l-'amal 'amalunā li-Ḥwārizm (Tahdīd nihāyāt al-amākin S. 239).*

<sup>2</sup> S. *Tahdīd nihāyāt al-amākin* S. 235.

Im großen und ganzen scheint zwischen dem 4./10. und dem 5./11. Jahrhundert hinsichtlich der Korrektur und Erweiterung des herkömmlichen Gradnetzes kein wesentlicher Fortschritt erzielt worden zu sein. Die Tabelle der geographischen Koordinaten des Ibn Yūnis (gest. 399/1009), eines der bedeutendsten Astronomen seines Jahrhunderts, liefert uns Neues nur bei Breitengraden für seine Heimat Ägypten, als Ergebnis eigener Messungen und Korrekturen<sup>1</sup>. Eine gewisse Unsicherheit besteht immer noch bei der endgültigen Festlegung der West- oder Ostzählung der Längengrade. Mindestens zwei Gelehrte des Jahrhunderts, der Astrologe al-Ḥasan b. 'Alī al-Qummi<sup>2</sup> und der Geograph al-Ḥasan b. Aḥmad al-Hamdānī<sup>3</sup> folgen der Tradition der östlichen Gradzählung.

In diesem, hinsichtlich der Koordinaten an Fortschritten armen Jahrhundert werden jedoch gewisse methodische Fortschritte erzielt, die im folgenden Jahrhundert die mathematische Geographie auf ein hohes Niveau führen werden.

Zu dem schon im Handbuch von al-Battānī neu formulierten Verfahren des Muḥammad b. Mūsā al-Ḥwārizmī<sup>4</sup> zur Bestimmung der Polhöhe, die letzten Endes die Ermittlung des Breitenkreises auf Grund der oberen und unteren Kulminationshöhe eines Zirkumpolarsternes<sup>5</sup> bedeutet, kommen noch mehrere Methoden des Ibn Yūnis zur Bestimmung der Ortsbreite<sup>6</sup>, darunter seine Methode ihrer Bestimmung aus der Höhe der Sonne im ersten Vertikal (= Höhe ohne Azimut).<sup>7</sup> Durch diese Methode der Ermittlung der geographischen Breite auf Grund der Höhe der Sonne im Ostwestkreis statt der Meridianhöhe, die die

<sup>1</sup> S. Sezgin, GAS, Mathematische Geographie, Autorenteil.

<sup>2</sup> S. ebd.

<sup>3</sup> S. Sezgin, GAS, Anthropogeographie.

<sup>4</sup> S. *Die astronomischen Tafeln des Muḥammad ibn Mūsā al-Khwārizmī*, Kopenhagen 1914, S. 18, 71 (Nachdruck in: H. Suter, *Beiträge ... I*, Frankfurt 1986, S. 516, 569 und *Islamic Mathematics and Astronomy* Band 7).

<sup>5</sup> S. C. Schoy, *Die geschichtliche Entwicklung der Polhöhenbestimmungen bei den älteren Völkern*, s.o.S. 141.

<sup>6</sup> S. C. Schoy, *Die Bestimmung der geographischen Breite eines Ortes durch Beobachtung der Meridianhöhe der Sonne oder mittels der Kenntnis zweier anderen Sonnenhöhen und den zugehörigen Azimuten nach dem arabischen Text der ḥākimitischen Tafeln des Ibn Yūnus*, s.o.S. 142.

<sup>7</sup> *al-irtifā' allaḍī lā samta lahū (az-Ziġ al-Ḥākīmī*, Leiden, Univ. Bibl., Or. 143, S. 224); s. C. Schoy, *Über eine arabische Methode, die geographische Breite aus der Höhe der Sonne im 1. Vertikal ("Höhe ohne Azimut") zu bestimmen*, a.a.O. S. 124 (Nachdruck in *Beiträge I*, 242 und *Islamic Geography* Band 18, S. 167).

mathematische Geographie im Abendland erst im 19. Jahrhundert kennt,<sup>1</sup> erreichte Ibn Yūnis<sup>2</sup> für die Breite von Kairo den auch in der heutigen Zeit geltenden Wert von 30°03'.

Die große indirekte Leistung des 4./10. Jahrhunderts auf dem Gebiet der mathematischen Geographie lag im entscheidenden Fortschritt, der bei der sphärischen Trigonometrie erzielt wurde. Nach den Versuchen des vorangegangenen Jahrhunderts, auch den zweiten von Ptolemaios nicht behandelten Fall des Transversalensatzes, die Grundformel der griechischen Trigonometrie, zu beweisen und die bei Menelaos und Ptolemaios der Berechnung zugrundegelegte Sehne des doppelten Bogens durch die Sinusfunktion zu ersetzen sowie schließlich jenen Satz zu vereinfachen<sup>3</sup>, kamen die drei Astronomen und Mathematiker Abū Naṣr b. 'Irāq<sup>4</sup>, Hāmid b. al-Ḥidr al-Ḥuḡandī<sup>5</sup> und Abu l-Wafā' al-Būzaḡānī<sup>6</sup> gegen Ende des 4./10. Jahrhunderts etwa gleichzeitig zu dem fundamentalen Ausgangspunkt der sphärischen Trigonometrie, "Formeln zwischen den Funktionen von Seiten und Winkeln des Kugeldreiecks" aufzustellen. "An die Stelle des schwerfälligen vollständigen Vierseits tritt jetzt das Dreieck und an die Stelle von 6 Stücken in der Menelaosformel treten nur 4. Hier haben wir die Geburt der eigentlichen sphärischen Trigonometrie oder sphärischen Dreiecksrechnung ..."<sup>7</sup>. Die drei Gelehrten gelangten durch die Aufgabe, aus den Winkeln eines sphärischen Dreiecks seine Seiten zu berechnen, auch zum Polardreieck, dessen Verwendung in Europa im 17. Jahrhundert von W. Snellius eingeführt wurde.

Die einzelnen Funktionen dieser neuen Berechnung des sphärischen Dreiecks, deren Entdeckung die drei für sich beanspruchten, wurden von ihrem genialen gemeinsamen Schüler al-Bīrūnī in seinem Buch *K. Maqālīd 'ilm al-hai'a*<sup>8</sup> zu einer Disziplin der sphärischen Trigonometrie ausgebaut. In diesem Jugendwerk läßt al-Bīrūnī noch nicht seine Be-

<sup>1</sup> S. C. Schoy, *Über eine arabische Methode*, a.a.O. S. 124 (Nachdruck *Beiträge I*, a.a.O. S. 242 und *Islamic Geography* Band 18, S. 167).

<sup>2</sup> Ebd. S. 125 (Nachdruck *Beiträge I*, S. 243 und *Islamic Geography* Band 18, S. 168).

<sup>3</sup> S. Sezgin, GAS V, 37.

<sup>4</sup> S. ebd. S. 338.

<sup>5</sup> S. ebd. S. 307.

<sup>6</sup> S. ebd. S. 321.

<sup>7</sup> S. P. Luckey, *Zur Entstehung der Kugeldreiecksrechnung* in: *Deutsche Mathematik* (Leipzig) 5/1940/405-446, bes. S. 412, und Sezgin, GAS V, 45.

<sup>8</sup> S. Sezgin, GAS VI, 266-67 und GAS, *Mathematische Geographie*, Autorenteil.

reitschaft erkennen, die gewonnenen Grundsätze der sphärischen Trigonometrie in den Dienst der mathematischen Geographie zu stellen. Seine erhaltenen Werke liefern indes öfter Hinweise darauf, daß er sich schon in seiner Jugend mit Geographie im allgemeinen und mit der geographischen Ortsbestimmung im besonderen beschäftigt hat. Er selbst berichtet, daß er etwa im Jahre 380/990 (d.h. als er 18 Jahre alt war), den Breitengrad von Ğurġāniya (Urganġ) auf Grund der Messung des Sonnenstandes zur Mittagszeit während der Äquinoktien mit 41°30' ermittelt habe.<sup>1</sup> Aus einem anderen Bericht von ihm erfahren wir, daß er im Jahre 387/997 bei der Ermittlung der Längendifferenz zwischen Ḥwārizm und Bagdad noch mit dem Verfahren der Beobachtung einer Mondfinsternis operierte. In diesem Fall verwirklichte er sein Vorhaben dank der gleichzeitigen Beobachtung seines Lehrers Abu l-Wafā' al-Būzaḡānī, der sich zu jener Zeit in Bagdad aufhielt und ihm seine Beobachtungsergebnisse durch Korrespondenz mitteilte. Aus der Mitteilung von al-Bīrūnī<sup>2</sup>, er habe auf diese Weise die Längendifferenz zwischen Ḥwārizm und Bagdad als etwa eine Stunde, d. h. ca. 15° ermittelt, müssen wir schließen, daß ein solches, fast mit dem heutigen Wert (14°44') übereinstimmendes Ergebnis beim geschilderten Verfahren als ein seltener Fall einer weit entwickelten Fähigkeit der beiden Gelehrten zu betrachten ist.

Im Verlaufe seiner intensiven Beschäftigung mit der geographischen Ortsbestimmung kam der universale Gelehrte al-Bīrūnī auf den Gedanken, die gewonnenen Regeln der sphärischen Trigonometrie in den Dienst der Geographie zu stellen. Für diesen revolutionären Wendepunkt in der Geschichte der mathematischen Geographie haben wir einen *terminus ad quem* mit den Jahren 409/1011-410/1012, gegeben in seinem *Qānūn* (II, 609 ff.) im Zusammenhang mit seinen zwischen Ğazna und Bagdad durchgeführten Ortsbestimmungen. Seine zahlreichen uns dem Titel nach bekannten, nicht erhaltenen Bücher, seine großen Tabellen geographischer Koordinaten in *al-Qānūn al-Mas'ūdī* und schließlich sein erhaltenes Buch *Tahdīd nihāyāt al-amākin* bestim-

<sup>1</sup> al-Bīrūnī, *Tahdīd nihāyāt al-amākin* (Nachdruck *Islamic Geography* Band 25) S. 249; engl. Übers. von J. Ali (Nachdruck *Islamic Geography* Band 26) S. 213; E.S. Kennedy, *A Commentary upon Bīrūnī's K. Tahdīd nihāyāt al-amākin ...*, Beirut 1973 (Nachdruck *Islamic Geography* Band 27) S. 169.

<sup>2</sup> *Tahdīd nihāyāt al-amākin* S. 250; engl. Übers., a.a.O. S. 214-215; E.S. Kennedy, *A Commentary*, a.a.O. S. 164-165.

men seinen einzigartigen Platz in der Geschichte der mathematischen Geographie neben seinen beiden Vorgängern Hipparch und Ptolemaios.

Hipparch hatte nach astronomischen Regeln zu ermittelnde Längen- und Breitengrade als einzig gültiges Mittel für den Entwurf einer Weltkarte erkannt und den nächsten Generationen die notwendigen Anweisungen dafür gegeben. Wenn wir die Leistung von Ptolemaios beschreiben wollen, können wir sagen, er habe offenbar als erster gewagt, die seit Jahrhunderten von den Griechen vertretene Idee in die Tat umzusetzen, Daten für eine mathematische Erfassung der Erdoberfläche in einer kartographischen Anleitung zusammenzustellen und die bis zu seiner Zeit bekannten Teile der Ökumene auf Koordinatentabellen mit Graden zu fixieren. Dadurch hat er der Entwicklung dieser Disziplin den Weg geebnet, die ca. 700 Jahre später in der islamischen Welt einsetzte.

## 2. al-Bīrūnī's Ausbau der mathematischen Geographie zu einer selbständigen Disziplin

al-Bīrūnī tritt als derjenige auf, der die mathematische Geographie zu einer selbständigen Disziplin ausgebaut hat. Neben den für die Geschichte des Faches außerordentlich wichtigen Ausführungen, die vor allem in seinem Grundwerk enthalten sind, vermitteln die Titel seiner verlorengegangenen einschlägigen Werke den Eindruck, daß der Ausbau der mathematischen Geographie bei ihm selbst einen langen Prozeß der Entwicklung durchgemacht hat. Einige der Titel zeigen, daß er sich immer wieder darum bemüht hat, die Koordinaten zu korrigieren, die von Vorgängern überliefert waren. Solche Titel lauten in deutscher Übersetzung "Korrektur der Angaben über die richtige Ermittlung der Breiten- und Längengrade"<sup>1</sup>, "Feststellung falsch überlieferter Koordinatenangaben"<sup>2</sup>, "Richtigstellung der Koordinaten der Ökumene"<sup>3</sup>. Einige Titel vermitteln den Eindruck, daß sie die theoretischen Grundzüge der geographischen Ortsbestimmung behandelten wie "Bestimmung der geographischen Lage der Orte"<sup>4</sup>, "Bestimmung der

<sup>1</sup> *Tahḍīb al-aqvāl fī taṣḥīḥ al-'urūd wa-l-aqvāl*, s. GAS, Mathematische Geographie, Autorenteil.

<sup>2</sup> *Taṣḥīf al-manqūl min al-'arḍ wa-t-ṭūl*, s. GAS, Mathematische Geographie, Autorenteil.

<sup>3</sup> *Taṣḥīḥ aṭ-ṭūl wa-l-'arḍ li-masākin al-ma'mūr min al-arḍ*, s. GAS, Mathematische Geographie, Autorenteil.

<sup>4</sup> *Ta'yīn al-balad min al-'arḍ wa-t-ṭūl*, s. GAS, Mathematische Geographie, Auto-

Grenzen der Ökumene und die richtige kartographische Darstellung derselben"<sup>1</sup> oder "Teilung der Ökumene in die Klimata"<sup>2</sup>.

Aus den oben erwähnten Gründen (s.S. 48) kannte al-Bīrūnī die Ma'mūngeographie höchstwahrscheinlich nicht. Daß er die ptolemaische *Geographie* kannte und öfters zitierte, steht außer Zweifel. Doch trotz seines großen Respektes vor Ptolemaios und dessen Leistung sind ihm die Schwächen seiner Koordinatentabellen zum Teil bekannt. Er sieht sie überwiegend darin, daß Ptolemaios sich auf die ihm mitgeteilten Angaben über Wegstrecken verlassen habe<sup>3</sup>. Liest man al-Bīrūnīs *Tahḍīb nihāyāt al-amākin*, so gewinnt man den Eindruck, daß es weniger ältere Quellen waren als vielmehr jüngere, besonders aus dem 4./10. Jahrhundert und solche seiner Zeitgenossen aus dem Osten der islamischen Welt, die ihm die Impulse für eine intensive Beschäftigung mit der geographischen Ortsbestimmung gegeben haben und daß die dadurch angeregte Tätigkeit dieses genialen Gelehrten eine Wende in der mathematischen Geographie herbeigeführt hat.

Mit welcher Intensität und Akribie sich Gelehrte, besonders im Osten der islamischen Welt, mit Fragen der geographischen Ortsbestimmung beschäftigten, wird am deutlichsten durch Angaben von al-Bīrūnī selbst; eine scheint am besten geeignet, dies anschaulich zu machen:

Auf Grund eines Traktates von Ibn Sīnā (gest. 428/1037) berichtet al-Bīrūnī<sup>4</sup>, daß die Prinzessin Zarrīn, eine Tochter von Qābūs Šamsal-ma'ālī (366/976-403/1012), Ibn Sīnā mit der Ermittlung der korrekten Längendifferenz zwischen Ğurġān und Bagdad beauftragt habe. Nachdem dieser mit Hilfe von Korrespondenz mit (geeigneten) Einwohnern der Städte zwischen Ğurġān und Bagdad zu keinem befriedigenden Ergebnis gekommen war, da es in jenem Jahr auch keine Mondfinsternis gab, die eine gleichzeitige Beobachtung (zwischen Ğurġān und Bagdad) ermöglicht hätte, habe er den Versuch unternommen, die Längendifferenz auf Grund der Höhe des Mondes im Ortsmeridian festzustellen. Dadurch habe er eine Differenz zwischen Ğurġān und Bagdad von 8 Grad ermittelt. Nachdem al-Bīrūnī das Vorgehen von Ibn Sīnā ausführ-

renteil.

<sup>1</sup> *Tahḍīb al-ma'mūra wa-taṣḥīḥuhā fī ṣ-ṣūra*, s. GAS, Mathematische Geographie, Autorenteil.

<sup>2</sup> *Taqāsīm al-aqālīm*, s. GAS, Mathematische Geographie, Autorenteil.

<sup>3</sup> *Tahḍīb nihāyāt al-amākin* S. 225; engl. Übers. S. 190.

<sup>4</sup> Ebd. S. 201-202; engl. Übers., a.a.O. S. 166-167; E.S. Kennedy, *A Commentary*, a.a.O. S. 124-125.

lich beschrieben hat, äußert er seine Vorbehalte gegen den Grad der Genauigkeit.

In seinem erhaltenen Buch über mathematische Geographie *Tahdīd nihāyāt al-amākin li-taṣḥīḥ masāfāt al-masākin* betont al-Bīrūnī in der Einleitung, daß er zwei Ziele habe, ein allgemeines und ein spezielles. Das erste bestünde darin, die Methoden klar darzustellen, die der genauen Bestimmung der Positionen der Orte in ihrer geographischen Länge zwischen Osten und Westen, und in ihrer geographischen Breite zwischen den beiden Polen des Nordens und des Südens dienen und es ermöglichen, ihre Entfernungen von einander und ihre Richtungen zu einander zu bestimmen.<sup>1</sup> Das spezielle Ziel sei, bei den Positionsbestimmungen von Ġazna (dem damaligen Wohnort von al-Bīrūnī) auszugehen. Er beginnt mit der Breitenbestimmung. In diesem Kapitel begegnet uns die älteste systematische Behandlung der verschiedenen Verfahren der bis dahin bekannten Breitenbestimmungen und der dazu nötigen Hilfsmittel. Er teilt die Verfahren zur Bestimmung der geographischen Breite in zwei: Bei dem einen arbeite man mit Hilfe von Fixsternen, beim anderen mit der Sonne. Das erste unterteile man nach drei Kategorien: 1.) nach Fixsternen, die sich im Zirkumpolarkreise befinden, 2.) nach Fixsternen, deren Umlaufbahnen den Horizontkreis berühren und 3.) nach Fixsternen, deren Umlaufbahnen den Horizontkreis schneiden. Jede von diesen drei Kategorien kenne wiederum drei Möglichkeiten: Entweder bleibe der Zenit innerhalb der Umlaufbahn oder er befinde sich in der Bahn selbst oder außerhalb derselben.

Die Verfahren nach der Sonne seien nur in den Zonen der Erdkugel anwendbar, wo die Sonnenbahn den Horizontkreis schneidet. Unter dieser Voraussetzung kämen folgende drei Fälle in Frage: Entweder befinde sich der Zenit innerhalb der Sonnenbahn oder außerhalb oder in der Bahn selbst. In denjenigen Zonen, in denen die Sonnenbahn den Horizontkreis nicht schneidet, habe man mit Hilfe der Fixsterne zu verfahren.<sup>2</sup>

In seiner viel ausführlicheren Behandlung der Frage der Längenbestimmung macht al-Bīrūnī außerordentlich wichtige historische Angaben über das Thema<sup>3</sup>, wobei er die Schwächen der bis dahin bei den Griechen, den Indern und seinen arabischen Vorgängern bekannten bzw. angewandten beiden Methoden herausstellt, durch Schätzung der

<sup>1</sup> *Tahdīd nihāyāt al-amākin* S. 62; engl. Übers. S. 32.

<sup>2</sup> Ebd. S. 63; engl. Übers. S. 34.

<sup>3</sup> Ebd. S. 156 ff.; engl. Übers. S. 120 ff.

Entfernung zweier Punkte oder durch Berechnung aus dem zeitlichen Unterschied beim Eintritt von Verfinsterungen des Mondes, zum Ziel zu kommen. Unter der Kapitelüberschrift "Ermittlung der Entfernungen, der Längen- und Breitengrade, (jeweils) einer (dieser Größen) aus den anderen" (*al-qaul 'alā taḥṣīl al-masāfāt wa-l-aṭwāl wa-l-'urūḍ ba'dihā min ba'dihā*) definiert er die für sein Vorhaben entscheidenden Größen folgendermaßen: "Je zwei Orte stehen zueinander mit vier Größen in Beziehung, mit ihrer jeweiligen geographischen Breite, ihrer Längendifferenz und ihrer Entfernung. Wenn drei davon bekannt sind, kann man bei manchen [nämlich denen, welche die entsprechenden Diorismen erfüllen] die vierte bestimmen. Drei Kombinationen gibt es: Die erste besteht aus den beiden Breiten und der Längendifferenz, woraus sich die Entfernung ergibt ... Die zweite besteht aus den beiden Breiten und der Entfernung, woraus die Längendifferenz resultiert. Die dritte besteht aus der Längendifferenz, der Entfernung und einer der beiden Breiten, wonach man die zweite bestimmen kann." Nachdem er diese drei Kombinationen (*iqtirānāt*) erklärt hat, sagt er, es gehe ihm hauptsächlich um die beiden letztgenannten (vgl. Abb. 4).<sup>2</sup>

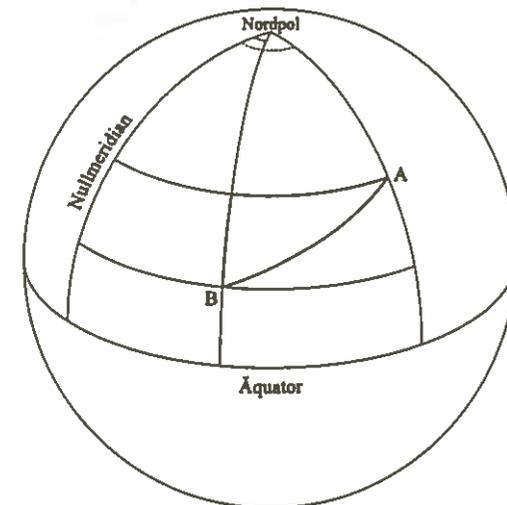


Abb. 4

<sup>1</sup> *Tahdīd nihāyāt al-amākin* S. 227; engl. Übers. S. 192f.; E.S. Kennedy, *A Commentary*, a.a.O. S. 144.

<sup>2</sup> *Tahdīd nihāyāt al-amākin* S. 234-235; engl. Übers. S. 200; Sezgin, *Contribution* S. 76.

Al-Bīrūnī behandelt dieselbe Thematik in kürzerer Form auch in seinem Handbuch der Astronomie, *al-Qānūn al-Mas'ūdī*,<sup>1</sup> das er etwa 20 Jahre später verfaßt hat. Darin beschreibt er, wie in seinem *Tahdīd nihāyāt al-amākin*, die Art der Durchführung seines großen Unternehmens, die geographischen Koordinaten von Stationen zwischen Ġazna und Baġdād zu bestimmen. Die wichtigen Zwischenstationen dieses Unterfangens, das etwa zwei Jahre dauerte, waren Šīrāz, Raiy, Balḥ, Nišābūr, Šīrġān, Zaranġ, Bust, Ġurġān und Ġurġāniya (vgl. Abb. 5).

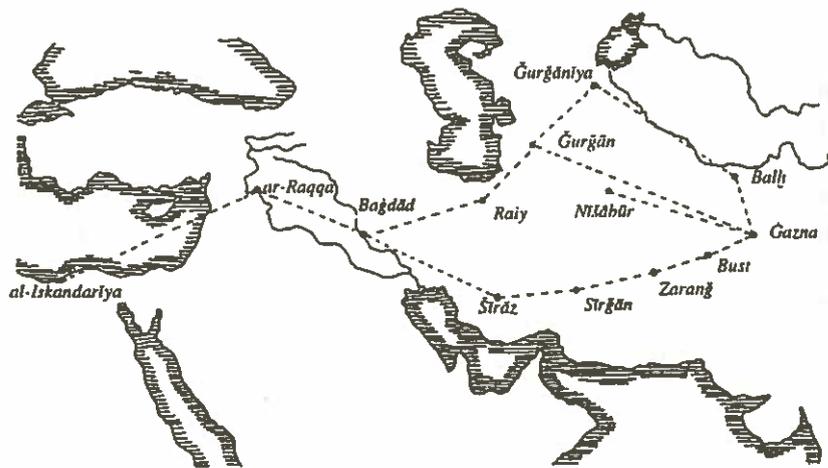


Abb. 5

Durch Summierung der einzelnen Längendifferenzen kam er zur gesuchten Endsumme der Längendifferenz zwischen Ġazna und Baġdād. Auf die in *al-Qānūn al-Mas'ūdī* niedergelegten Vorschriften für die Ermittlung der geographischen Ortsbestimmung, basierend auf den Regeln für die Konstruktion des sphärischen Dreiecks, hat C. Schoy vor etwa 60 Jahren aufmerksam gemacht und die betreffenden Texte ins Deutsche übersetzt.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *al-Qānūn al-Mas'ūdī* II, S. 608-616.

<sup>2</sup> C. Schoy, *Aus der astronomischen Geographie der Araber. Originalstudien aus al-Qānūn al-Mas'ūdī des arabischen Astronomen Muḥ. b. Aḥmed Abū 'l-Riḥān al-Bīrūnī (973-1048) in: Isis (Wondelgem, Bern) 5/1923/51-74 (Nachdruck Islamic Geography Band 18, S. 216-239).*

Weder die von Schoy rekonstruierte Reiseroute noch die Genauigkeit der Meßergebnisse wurde von nachfolgenden Forschern auf dem Gebiet der Geschichte der mathematischen Geographie gebührend berücksichtigt.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> In seinem Beitrag zur *History of Cartography* II, 1. Teil, S. 137-155 mit dem Titel *Later Cartographic Developments* behandelt Gerald R. Tibbetts u.a. auch al-Bīrūnī. In seiner recht legeren Art sagt er, daß al-Bīrūnī auf geographischem Gebiet hauptsächlich "die mathematischen und astronomischen Aspekte interessiert haben", statt den Begriff der mathematischen Geographie zu benutzen. "Here he was specializing in those aspects that had been neglected by previous geographers, and thus one might expect to see an improvement in Islamic cartography" (S. 141a).

Was Tibbetts in diesem Zusammenhang präsentiert, ist unverdautes Gut. Ich möchte nur darauf hinweisen, wie er von der in Nandana (im heutigen Pakistan) angewandten Methode bei der Ermittlung der Länge eines Meridiangrades spricht. Er sagt: "Among the projects al-Bīrūnī mentioned in some detail was the remeasurement of the degree of latitude. He carried this out in Khwārazm and in Ghazna, and he produced a new method of measurement by using a convenient mountain from which the horizon could be observed" (S. 141a). Es sei dazu bemerkt: 1) Der Ausdruck "the degree of latitude" ist nicht korrekt; 2) die falschen Ortsangaben (Ġazna und Ḥwārizm statt Nandana) zeigen, daß er das hier zu besprechende Verfahren mit dem weiter unten erwähnten Verfahren der Erdmessung verwechselt; 3) die knappe und *wishy-washy* Formulierung erweckt den Eindruck, daß er nicht weiß, worum genau es sich handelt; 4) nach dem jetzigen Stand der Forschung ist diese Methode zur Ermittlung der Äquatorlänge nicht al-Bīrūnī's Erfindung – woraus dieser selbst auch keinen Hehl macht –, sondern war schon auf Wunsch des Kalifen al-Ma'mūn von Sind b. 'Alī durchgeführt worden (s.o.S. 96).

Tibbetts fährt fort: "He also attempted to measure the difference in longitude between two places using the distance between them in miles." Der Leser, der nicht bereits über das Verfahren von al-Bīrūnī informiert ist, jedoch mit den Bemühungen der Generationen vor al-Bīrūnī vertraut ist, wird sich fragen, worin nun die Originalität von al-Bīrūnī liegt. Verwirft er das Verfahren der Beobachtung der Mondfinsternis an verschiedenen Orten und läßt nur die Streckenmessung in Meilen anstatt in Stadien oder anderen Maßen gelten? Nein, Tibbetts meint damit das oben (s.S. 157) behandelte Verfahren Bīrūnī's mit drei aus vier Größen und der Anwendung des sphärischen Sinussatzes, das er als *taḥṣīl al-masāfāt wa-l-aṭwāl wa-l-'urūd ba'dihā min ba'd* definiert (*Tahdīd nihāyāt al-amākin* S. 227ff.). Die Tatsache, daß dabei die Anwendung des sphärischen Sinussatzes das wesentliche ist, erfährt man von Tibbetts nicht. Es heißt nur, direkt an den oben zitierten Satz anschließend: "This was difficult, since the direct distances between places could not be worked out with any accuracy. However, he produced a result for the longitude of Ghazna east of Baghdad setting out the theory behind this operation so that it was there for any later scholar to improve" (S. 141a).

Was hilft es dem Leser, daß dieser Operation eine Theorie unterlag, wenn sie nicht formuliert wird? Genausowenig erfährt der Leser, wie genau die erzielten Ergebnisse

Durch die im *Tahdīd nihāyāt al-amākin* und danach im *Qānūn* dargelegten Verfahren und Anweisungen tritt al-Bīrūnī in der Geschichte der mathematischen Geographie als der erste Geograph auf, der bei der Ortsbestimmung tatsächlich mit den Regeln der sphärischen Trigonometrie operiert hat und die geographischen Koordinaten für einen sich über mehr als 2000 km ausdehnenden Teil der Erde auf Grund eigener Arbeit ermittelt hat, ohne sich auf Mitteilungen anderer und Angaben von Itinerarien zu verlassen. Die von ihm registrierten Koordinaten sind die ersten, die den heutigen Werten mit geringfügigen Fehlern nahekommen. Bei den Längendifferenzen liegen die Fehler<sup>1</sup> zwischen ca. 6' und 45'. Bessere Ergebnisse für diese Region kannte die geographische Wissenschaft vielleicht erst im 19. und 20. Jahrhundert.

waren, und daß dabei die Koordinaten einer großen Anzahl von Orten nicht nur zwischen Ġazna und Bagdad ermittelt wurden.

Ein paar Zeilen weiter sagt Tibbetts, daß al-Bīrūnī die Projektionen von Ptolemaios und Marinus kritisiert habe (S. 141<sup>b</sup>). Dies wäre ein Argument gegen die Meinung von Tibbetts selbst, daß die Araber die ptolemaischen Projektionen nicht gekannt hätten (S. 105a). In Wirklichkeit kritisiert al-Bīrūnī jedoch die Orthogonalprojektion des Marinus und al-Battānī's (s.u.S. 304, Anm. 1).

Die Meinung von Tibbetts, daß "Few of these points were taken up by al-Bīrūnī's successors, and his scientific work exerted very little influence on future Islamic cartographers" (S. 142<sup>a</sup>), stimmt nicht.

Zuletzt muß seiner folgenden Behauptung widersprochen werden: "He so reduced this eastward extension of Africa, which was a legacy of Ptolemy, that the Indian Ocean appeared to cover the whole Southern Hemisphere" (S. 142<sup>b</sup>). Daß die Idee, daß Afrika nicht mit Asien verbunden sei, sondern daß im Süden Afrikas der Indische Ozean mit dem Atlantik in Verbindung stehe, erstmals von al-Bīrūnī vertreten worden sei, ist ein Irrtum. Auch hat Tibbetts diese Behauptung – ohne die Quelle zu zitieren – wohl von S. Maqbul Ahmad übernommen, der darin B. Bulgakof folgt (s.o.S. 102 f.). Danach hat auch sein wohlwollendes Urteil über "his (i.e. al-Bīrūnī's) version of the circular world map showing how independent his thought was from the contemporary standard of Islamic cartography" keine Berechtigung. Wie im vorliegenden Buch bereits ausführlich erörtert wurde, war die Vorstellung der islamischen Geographen davon, daß die Ökumene Inselgestalt hat, seit der Entstehung der Ma'mūngeographie absolut eindeutig.

<sup>1</sup> Z. B.:

Längendifferenz	nach al-Bīrūnī	heutige Werte	Unterschied
Ġazna - Balḥ	3°20'	2°59'	+21'
Ġazna - Nīsābūr	9°20'	9°39'	-19'
Ġazna - Ġurġān	14°10'	14°16'	-6'
Ġazna - Baġdād	24°20'	24°01'	+19'

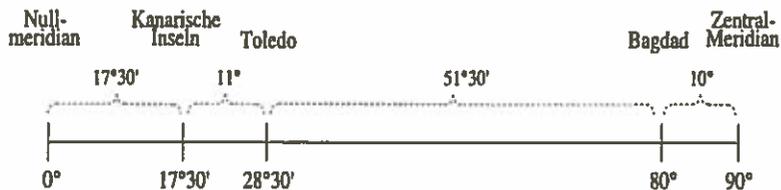
Das Verfahren al-Bīrūnī's für die Ermittlung der Längendifferenzen war freilich kostspielig und mühselig. Neben den astronomisch zu ermittelnden Breitengraden zweier Orte hatte er die jeweils dazwischenliegende Strecke zu vermessen, um die vierte zur Ermittlung des sphärischen Dreiecks benötigte Größe berechnen zu können. Der Versuch, selbst eines zielstrebigen Gelehrten, möglichst viele Punkte auf der Erdkugel nach eigenen Messungen koordinatenmäßig zu bestimmen, hatte seine Grenzen. Seine im *Qānūn* (II, 547-579) dargebotene Koordinatentabelle enthält ca. 620 Städte. Ihre Positionen erstrecken sich von der Westgrenze bis zur Ostgrenze der Ökumene. Doch nur vielleicht ein Fünftel davon ist das Ergebnis eigener Messung von al-Bīrūnī; der größte Teil beruht auf einer Auswahl aus älteren Quellen. Obwohl er bei der Anfertigung seiner Tabelle weitgehend auf Angaben von unterschiedlicher Qualität angewiesen war, scheint er fast immer die jeweils besten Koordinaten übernommen zu haben. Sein bedeutendster Beitrag zur Korrektur des ihm vorliegenden Gradnetzes der Ökumene liegt im östlichen Teil der islamischen Welt. Dazu kommt, daß er als erster einen Teil der Indischen Halbinsel nach Koordinaten bestimmt hat (s.u.S. 565 f.).

### 3. Die im islamischen Spanien erzielten Fortschritte in der geographischen Ortsbestimmung

Ähnlich dem revolutionären Vorgehen al-Bīrūnī's bei der Ermittlung der Längengrade im östlichen Teil der islamischen Welt, den Nullmeridian durch Bagdad statt, wie bis dahin üblich, durch die Kanarischen Inseln gehen zu lassen<sup>1</sup>, muß der in der Astronomie und mathematischen Geographie bereits erzielte Fortschritt um die Wende des 10. zum 11. Jahrhundert im islamischen Spanien zu der Entscheidung geführt haben, bei der Zählung der Längengrade die durch Toledo gehende Mittagslinie zum Ausgangspunkt zu nehmen. Zur Zeit fehlen uns die Einzelheiten über die Umstände, welche zu dieser Entscheidung geführt haben. Mehrere Tabellen vermitteln den Eindruck, daß im islamischen Spanien eine rege Tätigkeit zur Bestimmung geographischer Örter eingesetzt haben muß, die vor allem die Iberische Halbinsel und ihre Umgebung

<sup>1</sup> *Fa-li-na'ḥud al-ān fi taṣḥīḥ aṭwāl bilād au 'urūḍihā mim mā ṣaḥḥa 'indanā aḥad ḡālika fihā au yaṣīḥḥ min āḥar, fa-nastahriḡ bāḡihā wa-naḡ'al Baġdād madīnat as-salām aṣḥan naqīs ilaihi l-aṭwāl. Fa-inna l-arṣād fihā wa-hiya dār al-ḥilāfa ... (Tahdīd nihāyāt al-amākin S. 235; engl. Übers. S. 200).*

betrifft und zu wesentlichen Korrekturen an den ma'münischen Tabellen führte. Die sich dort für die Pflege der Astronomie und Geographie ergebenden günstigen Bedingungen müssen dazu geführt haben, daß u.a. die Längendifferenz zwischen Toledo und Bagdad nachgeprüft wurde; das Ergebnis  $51^{\circ}30'$  bedeutete einen wesentlichen Fortschritt gegenüber der Ma'müngeographie. Toledanische Astronomen und Geographen näherten sich der Wirklichkeit bis auf einen Fehler von  $3^{\circ}$ . Infolgedessen rückte der Zentralmeridian von Osten her um  $10^{\circ}$  gegen Bagdad und verlagerte sich der bis dahin durch die Kanarischen Inseln gehende Nullmeridian um  $17^{\circ}30'$  nach Westen in den Atlantischen Ozean.



Eine Folge davon war, daß die anschließend angefertigten Tabellen öfter Längengrade enthalten, die teilweise nach Toledo als Nullmeridian, teilweise nach der Zählung der Ma'müngeographen berechnet sind.<sup>1</sup> Dies führte bei späteren Nachahmern zu der Vorstellung von einem Meridian des "absoluten Westens (*verum occidens*)", der sich unterschied von einem "Westrande des Bewohnbaren (*occidens habitabilis*)".<sup>2</sup>

Im Jahre 1843 machte Alexander von Humboldt in seiner *Asie centrale* darauf aufmerksam,<sup>3</sup> daß in den *Alfonsinischen Tafeln*<sup>4</sup> an einer Stelle von dem zweifachen Nullmeridian gesprochen wird: "Nach Überein-

<sup>1</sup> Vgl. Reinaud, *Introduction* S. 102, 248 ff.; C. Schoy, *Längenbestimmung und Zentralmeridian bei den älteren Völkern* in: *Mitteil. d. K. K. Geogr. Gesellschaft* (Wien) 58/1915/54-56 (Nachdruck in: Schoy, *Beiträge* I, 122-125; *Islamic Geography* Band 18, S. 36-71, bes. S. 63-65); J.K. Wright, *Notes on the knowledge of latitude and longitude in the Middle Ages* in: *Isis* (Wondelgem, Bern) 5/1923/87 (Nachdruck *Islamic Geography* Band 23, S. 3-136, bes. S. 125).

<sup>2</sup> S. Roger Bacon, *Opus maius* I, Ed. J.H. Bridges, Oxford 1897 (Nachdruck, Frankfurt 1964), 298-300; englische Übersetzung von R.B. Burke I, Philadelphia 1928, S. 318-319; s. Peschel/Ruge S. 139.

<sup>3</sup> C. Schoy, *Längenbestimmung*, a.a.O. S. 54 (*Beiträge* I, 122).

<sup>4</sup> *Alfontii regis coelestium motuum tabulae* ..., ausbezogen von Ratdolt Augustensis 1483 (am Schluß der Breiten- und Längenreihen), s. Peschel/Ruge S. 139, n. 4.

kunft der Astrologen gibt es zwei Okzidente, einen bewohnten, der um  $72 \frac{1}{2}^{\circ}$  von der Stadt absteht, welche unter dem Äquator liegt. Auf der anderen Seite nehmen sie einen gegen den Okzident gewandten Okzident an einem Ort an, der von der Stadt Arin  $90^{\circ}$  absteht, und diesen nennen sie den wahren Okzident; denn von diesem bis zum Orient sind es  $180^{\circ}$ . Der wahre Okzident liegt  $17 \frac{1}{2}^{\circ}$  jenseits des bewohnten Okzident". Einige Jahre danach konnte J. R. Reinaud<sup>1</sup> die wichtige Feststellung machen, daß die Frage der Duplizität der Nullmeridiane bereits auf den im 12. Jahrhundert von Gerhard von Cremona ins Lateinische übersetzten Tabellen von az-Zarqālī (Arzakhel) erwähnt wird. Dort heißt es, daß Toledo einen Abstand von  $4 \frac{1}{10}$  Stunden (d.h.  $61^{\circ}30'$ ) von der Mitte der Welt, einem Ort in Indien bei  $90^{\circ}$  (nämlich Arin) hat, woraus sich ergibt, daß Toledo in einem Abstand von  $28^{\circ}30'$  vom Nullmeridian entfernt liegt.<sup>2</sup>

Reinaud stellte ferner fest, daß am Ende der Längen- und Breitentabelle des Traktates die schwer verständliche Bemerkung steht *fagen id est Toletum 11/28*. Reinaud verstand darunter, daß Toledo von den Kanarischen Inseln aus in einem Abstand von  $11^{\circ}$  und vom wahren Okzident aus in einem Abstand von 28 Grad liege.<sup>3</sup> Auf diese Bemerkung gestützt, kam J. Lelewel zu der Ansicht, daß az-Zarqālī den Abstand zwischen Toledo und Damaskus ( $60^{\circ} - 28^{\circ}30'$ ) mit  $41^{\circ}30'$  bestimmt und dadurch die Länge der großen Achse des Mittelmeers auf  $42^{\circ}$  reduziert habe.<sup>4</sup> Später ging J. K. Wright<sup>5</sup> von der Überzeugung aus, daß az-Zarqālī den durch Toledo gehenden Nullmeridian zur Grundlage seiner Längenzählung gemacht habe, wonach er dann die Längengrade der auf einigen europäischen Tabellen auftretenden Städte zu erklären suchte. In der Tat gibt aber die in lateinischen Handschriften mit dem *Kanon* von az-Zarqālī in Verbindung stehende Tabelle geographischer Koordinaten von ca. 62 Orten – bis auf wenige Varianten – die Angaben

<sup>1</sup> *Introduction* S. 246-247.

<sup>2</sup> *Longitudo autem loci ad medium diem, cuius radices predictae in hoc libro posite sunt, qui Toletum dicitur, est quatuor horarum spatium et decime unius hore a medio mundi, qui locus creditur esse in India in civitate scilicet quae vocatur Arin, cuius longitudo ab occidente in orientem est 90 graduum ...* s. noch J. Millás Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquiel*, Madrid-Granada 1943-1950 (Nachdruck *Islamic Mathematics and Astronomy* Bd. 39), S. 49.

<sup>3</sup> Reinaud, *Introduction*, a.a.O. S. 247.

<sup>4</sup> Lelewel, *Géographie du moyen âge* I, 79.

<sup>5</sup> *Notes on the knowledge of latitude and longitude in the Middle Ages* in: *Isis* (Wondelgem, Bern) 5/1923/93ff (Nachdruck *Islamic Geography* Band 23, S. 131ff.).

der Ma'mūngeographie wieder, wobei der Längengrad von Toledo deutlich mit  $11^\circ$  angegeben wird. Dies gilt auch für die sogenannte *Marseiller Tabelle*, die um 1140 als Imitation der Toledanischen Vorgängerin entstanden ist. Angesichts dieser Tatsache blieb die Frage nach dem Ursprung der Längengrade in mehreren arabischen und lateinischen Tabellen, die in ihrer Gradzählung eine Verlegung des Nullmeridians um  $17^\circ 30'$  westlich der Kanaren aufweisen, ungeklärt.

Der älteste bisher bekannte Teil einer arabischen Tabelle, deren Längengrade den um  $17^\circ 30'$  nach Westen verlegten Nullmeridian als Basis hatten, besteht aus den 29 andalusisch-magribinischen Koordinaten, die im Anhang der einzigen bekannten Handschrift der Tabellen al-Battānī's erhalten sind.<sup>1</sup> Bereits J.-T. Reinaud<sup>2</sup> hat diesen Teil gekannt und auf seine Bedeutung hingewiesen. Eine nicht ganz klare Angabe al-Bīrūnīs erweckt den Eindruck (s.o.S. 150), daß schon im ersten Zehntel des 11. Jahrhunderts diese Verlegung im östlichen Teil der islamischen Welt bekannt gewesen sein muß. Ein einwandfreies Zeugnis dafür, daß die Korrektur der Längendifferenz zwischen Toledo und Bagdad ziemlich früh in der arabisch-islamischen Welt, mindestens bis zu dem Meridian, der den Persischen Golf durchquert, zur Geltung gekommen ist, gibt uns das aus der ersten Hälfte des 11. Jahrhunderts stammende astronomisch-astrologische Werk *Dustūr al-munağğimīn*. Der unten (s.u.S. 167) zu erwähnende Verfasser stellt die Koordinaten von 115 Orten zusammen, die überwiegend in Arabien liegen. Bei ihren Längengraden ist die Korrektur konsequent durchgeführt worden. Die Grenzen der berücksichtigten Orte erstrecken sich von Mardin (B  $37^\circ 15'$ ) im Norden bis Aden (B  $11^\circ 00'$ ) im Süden und von Madyan (L  $65^\circ 45'$ ) im Westen bis Abadan (L  $84^\circ 30'$ ) im Osten. Auch die Ortstabelle des Astronomen und Astrologen Kūšyār b. Labbān (st. vermutlich im 1. Viertel des 5./11. Jhs., s. GAS VI, 246) verrät die Bekanntschaft mit einer Quelle, in die die Längengrade einiger zwischen Toledo und Bagdad liegender Orte gemäß dem  $28^\circ 30'$  westlich von Toledo verlaufenden Nullmeridian aufgenommen worden waren. Dazu gehören die ältesten uns bekannten korrigierten Längengrade von Rom ( $45^\circ 25'$ ) und Konstantinopel ( $59^\circ 50'$ ), welche nach Abzug von  $28^\circ 30'$  (Rom  $16^\circ 50'$ , Konstantinopel  $31^\circ 20'$ ) den heutigen Werten ( $16^\circ 30'$  bzw.  $32^\circ 57'$ ) gegenüber nur um  $20'$  zu groß bzw. um  $1^\circ 37'$  zu klein sind.

<sup>1</sup> Nallino, *Al-Battānī* III, 241-242, lat. Übers. ebd. II, 219-220 (Nachdruck *Islamic Geography* Band 23, S. 36-38).

<sup>2</sup> *Introduction* S. 246.

Ein weiteres Zeugnis begegnet uns in den etwa ein dreiviertel Jahrhundert jüngeren Tabellen des jüdischen Gelehrten Abraham b. Ḥiyya (gest. 1136 n. Chr.) in seinem Almanach *Sefer ha-Ibbur*<sup>1</sup>. Die erste Tabelle registriert 24 Orte, von denen 18 in Spanien, im Magrib und in Frankreich, die übrigen in Afrika, Sizilien und Asien liegen. Allen Koordinaten der aufgenommenen Orte liegt der um  $28^\circ 30'$  von Toledo aus nach dem Westen verlegte Nullmeridian zugrunde. Es fällt auf, daß nicht nur die Längengrade, sondern auch die Breitengrade dieser Orte den heutigen Werten sehr nahe kommen. Die Koordinaten der drei Städte Soria, Gerona und Perpignan werden hier zum ersten Mal genannt. Wenn man von der Ungenauigkeit und Inkonsequenz, die bei den Koordinaten der übrigen Orte auftreten, absieht, steht diese Tabelle zweifellos in der bereits etablierten Tradition der Toledanischen Schule.

Für die Geographiegeschichte ist von großer Bedeutung, daß der in den letzten Jahren bekannt gewordene Inhalt der Tabellen einiger andalusischer Astronomen ein sicheres Urteil über ihre Verbreitung im westlichen Teil der islamischen Welt und durch Übersetzungen auch in Westeuropa erlaubt.

Eine besondere Bedeutung kommt der teilweise in lateinischer Übersetzung erhaltenen Tabelle des Abū Ġa'far Aḥmad b. Yūsuf Ibn al-Kammād (wirkte in der 2. Hälfte des 6./12. Jahrhunderts)<sup>2</sup> zu. Seine geographischen Koordinaten zeigen, deutlicher noch als die des *Dustūr al-munağğimīn* und die von Kūšyār, daß die bis auf  $3^\circ$  genaue Korrektur des Abstandes zwischen Toledo und Bagdad nicht isoliert dasteht, sondern in einem großen Teil der Ökumene bis zum Zentrum der islamischen Welt Geltung hatte. Nach seiner Tabelle ist die Achse des Mittelmeeres nur noch etwa  $47^\circ 50'$  lang. Sein im 7./13. Jahrhundert wirkender Nachfolger Muḥammad b. Ibrāhīm Ibn ar-Raqqām (gest. 1315)<sup>3</sup> gibt mit seiner Tabelle von 97 Orten weitere Anhaltspunkte für die Beurteilung des Korrekturprozesses. Diese Tabelle bietet eine breite

<sup>1</sup> S. Lelewel, *Géographie du moyen âge*, a.a.O., *Prolegomènes* S. XLIX-LIII; Beazley, *The Dawn of Modern Geography*, part II: *A History of Exploration and Geographical Science from the Close of the Ninth to the Middle of the Thirteenth Century* (c. A.D. 900-1260), London 1901, S. 224; Sarton II, 206-208; J. Millás Vallicrosa, *Estudios sobre historia de la ciencia española*, Barcelona 1949, S. 242; Sezgin, *Contribution* S. 82; R. A. Laguarda Trias, *La ciencia española en el descubrimiento de America*, Valladolid 1990, S. 76-77 und Tafel No. 5.

<sup>2</sup> S. Sezgin, GAS, *Mathematische Geographie*, Autorenteil.

<sup>3</sup> S. ebd.

Basis für die Feststellung, daß die andalusisch-magribinische Korrektur auf einen größeren Teil der Ökumene bezogen und die Länge der großen Achse des Mittelmeers auf  $44^\circ$  reduziert wurde. Die Verwirklichung einer durch ganz Nordafrika und Arabien gehenden entsprechenden Reduktion konnte sich C. Schoy, ein Kenner der arabischen mathematischen Geographie, im Jahre 1915 noch nicht vorstellen.<sup>1</sup> Aus dieser Sicht und auch im Hinblick auf die weitere Kürzung der Länge des Mittelmeeres und die Entstehung der sich der Wahrheit nähernden Form der Portolankarten um die Wende des 13. Jahrhunderts zum 14. Jahrhundert ist eine um die Mitte des 20. Jahrhunderts von J. Millás Vallicrosa bekanntgemachte Tabelle geographischer Koordinaten von sehr großer Bedeutung. Sie wurde im Rahmen eines Almanachs höchstwahrscheinlich in der westandalusischen Stadt Tortosa angefertigt und überrascht uns damit, daß darin die von der spanisch-arabischen Schule erreichte Reduktion nun für Bagdad als Nullmeridian und für die von dort aus westlich liegenden Orte durchgeführt ist.<sup>2</sup> Die in einem Unicum<sup>3</sup> erhaltene Tabelle ist nach dem Incipit der Handschrift im Jahre 1307 aus dem Arabischen ins Lateinische übersetzt worden.<sup>4</sup> Daß dieser Almanach von Tortosa (vgl. u. S. 231) anscheinend bereits im 14. Jahrhundert seinen Wirkungsradius durch eine portugiesische Redaktion vergrößert hat, wurde leider bisher im Zusammenhang mit der Frage der bei den Portugiesen im 15. Jahrhundert auftretenden elementaren Kenntnisse der astronomischen Nautik noch nicht in Betracht gezogen (s. GAS XI, 276 f.). Die Tabelle registriert die Koordinaten von 31 Orten in Spanien, Westeuropa und dem westlichen Mittelmeer. Obwohl sie nicht frei von Schreib- und Lesefehlern ist, stellt sie ein außerordentlich wichtiges Dokument für den großen Fortschritt dar, der nicht zuletzt im Zusammenhang mit der arabisch-spanischen Kartographie im westlichen Europa erzielt worden ist. Als Beispiele seien London und Paris genannt. Die Koordinaten Londons betragen nach dieser Tabelle von Bagdad aus  $L\ 42^\circ 00'$ ,  $B\ 48^\circ$ . In Wirklichkeit

<sup>1</sup> *Längenbestimmung und Zentralmeridian bei den älteren Völkern* in: Mitteilungen der K. K. Geographischen Gesellschaft Wien 58/1915/27-62, bes. 54 (in: *Beiträge* I, 95-130, bes. S. 122, Nachdruck *Islamic Geography* Band 18, S. 36-71, bes. S. 63).

<sup>2</sup> S. R.A. Laguarda Trias, a.a.O. S. 84-85.

<sup>3</sup> Madrid, Bibl. Nac. 17961.

<sup>4</sup> *Incipit almanach perpetuum translatum de arabico in latinum, anni Christi 1307* (s. J. Millás Vallicrosa, *Estudios sobre historia de la ciencia española*, a.a.O. S. 389-390; ders., *Estudios sobre Azarquiel*, a.a.O. S. 353-354; R.A. Laguarda, a.a.O. S. 84).

sind es  $L\ 44^\circ 26'$ ,  $B\ 51^\circ 30'$ . Die Längendifferenz zwischen London und Bagdad (Babylon) weist bei Ptolemaios einen Fehler von  $18^\circ$ , bei den Ma'müngeographen einen Fehler von immerhin noch  $9^\circ$ , auf unserer Tabelle eine Abweichung von nur noch  $2^\circ 26'$  auf. Die Breite wird von Ptolemaios mit  $54^\circ$ , von den Ma'müngeographen mit  $54^\circ 25'$  verzeichnet. Wenn unsere Tabelle den Breitengrad ca.  $3^\circ$  zu niedrig angibt, verstehe ich das als einen Hinweis auf ihre Unabhängigkeit von den beiden erwähnten Quellen.

Die Koordinaten von Paris lauten in unserer Tabelle L (von Bagdad aus)  $43^\circ 00'$ ,  $B\ 47^\circ$ , in Wirklichkeit sind es  $L\ 42^\circ 06'$ ,  $B\ 48^\circ 45'$ . Das bedeutet, daß der Längengrad von Paris auf unserer Tabelle nur um  $54'$  zu groß ist, der Breitengrad  $1^\circ 45'$  zu niedrig. Die auf unserer Tabelle erscheinenden Koordinaten von Valencia, Zaragoza, Tortosa, Barcelona, Toulouse, Perpignan, Beaucaire, Marseille sind erstaunlich genau, die Längengrade von Bagdad aus weisen Fehler von ca.  $2^\circ$ - $4^\circ$  auf. Der auf den uns erhaltenen arabischen Tabellen zwischen  $35^\circ 00'$  bis  $40^\circ 15'$  variierende Breitengrad für Tortosa kommt auf dieser Tabelle mit  $40^\circ 30'$  bis auf  $19'$  an den heutigen Wert  $40^\circ 49'$  heran.

#### 4. Weitere Entwicklung nach der Bīrūnischen Reform

Unsere gegenwärtige Kenntnis erlaubt uns noch keine Antwort auf die Fragen, wie schnell die Anhänger der mathematischen Geographie in der islamischen Welt auf die Reform von al-Bīrūnī reagiert haben und ab wann sie endgültig von dem Verfahren Abstand genommen haben, Mondfinsternisse für die Ermittlung geographischer Längendifferenzen zu verwenden. Die zur Zeit früheste uns bekannte Anwendung der Methode al-Bīrūnī's finden wir in dem anonymen *Dustūr al-munağğimīn*, das sehr wahrscheinlich aus der zweiten Hälfte des 5./11. Jahrhunderts stammt<sup>1</sup>. Der Verfasser, der die betreffenden Ausführungen von al-Bīrūnī aus dessen *al-Qānūn al-Mas'ūdī* fast wörtlich übernimmt, berichtet, daß er die einschlägigen Probleme in einer Monographie behandelt und die notwendigen Koordinatentabellen angefertigt habe. Nach einer nicht einwandfrei verständlichen Angabe scheint er sogar entsprechende Karten entworfen zu haben. Von den in seinem uns erhaltenen Werk in Auswahl gebotenen Koordinaten scheinen elf der zahlreichen in Arabien liegenden Orte erstmals von ihm ermittelt worden zu sein. Obwohl er unter dem Einfluß von al-Bīrūnī steht,

<sup>1</sup> S. Sezgin, GAS, Mathematische Geographie, Autorenteil.

macht er doch den Eindruck, daß er die geographische Ortsbestimmung selbständig zu handhaben weiß. Daß geographische Koordinaten dem Gesetz ständiger Korrektur unterliegen, findet in dem bei ihm erstmals auftretenden Terminus *al-'umda fi t-taṣṣiḥ*, "das Grundprinzip bei der Korrektur" (der geographischen Ortsbestimmung) seinen Ausdruck.

Den weiteren Verlauf der mathematischen Geographie bestimmte al-Bīrūnī's Reform zumindest in den beiden folgenden Jahrhunderten. Wenn die Quellen jener Zeit kaum etwas über ihre Methodik sagen, so verstehen wir dies so, daß diese als selbstverständliches übernommenes Arbeitsmittel galt. Daß man seit al-Bīrūnī Mondfinsternisse immer seltener bei der Ermittlung von Längendifferenzen heranzog, wird daraus ersichtlich, daß jetzt die erstmals ermittelten oder als korrigiert bezeichneten Längengrade (von Bagdad aus gemessen) so genau sind, wie sie durch die zuvor angewandte Methode nicht zu erreichen gewesen wären.

Die meisten der erhaltenen Tabellen mit geographischen Daten aus der Zeit nach al-Bīrūnī weisen eine sukzessive Verbesserung früherer Daten und eine Erweiterung des geographischen Raumes auf, dessen Orte durch Koordinaten erfaßt sind. Nur für Nordafrika und die südliche Küste des Mittelmeeres bieten sie wenig Neues, wenn man von den spärlichen Übernahmen aus dem Buch von Ibn Fāṭima absieht. Für diese Teile hat die Weltkarte von al-Idrīsī um die Mitte des 6./12. Jahrhunderts noch immer unverändert die Form des ma'mūnischen Vorbildes.

##### 5. Ein spezielles Verfahren der Längengradbestimmung bei Abu l-Ḥasan al-Marrākuṣī

Dem Höhepunkt in der methodischen Entwicklung der mathematischen Geographie, deren Gang wir nach al-Bīrūnī nicht lückenlos verfolgen können, begegnen wir überraschenderweise im 7./13. Jahrhundert im westlichen Afrika. Es war Abū 'Alī al-Ḥasan b. 'Alī (oder Abu l-Ḥasan 'Alī b. al-Ḥasan) al-Marrākuṣī (geb. um 600/1203, gest. um oder nach ca. 660/1260 oder ca. 680/1280)<sup>1</sup>, der in seinem *Ġāmi' al-mabādi' wa-l-ğāyāt fi 'ilm al-mīqāt* die Methode der Ermittlung von Längendifferenzen – nicht als eigene Erfindung deklariert – als höchste Stufe der Anwendung der sphärischen Trigonometrie in der islamischen Welt vertrat. Seine Bemühungen müssen wir im Zusam-

<sup>1</sup> S. Sezgin, GAS, Mathematische Geographie, Autorenteil.

menhang mit der schon früh bei arabischen Astronomen geübten Praxis sehen, bei einem astronomischen Ereignis den Zeitpunkt dadurch genauer festzulegen, daß man die Höhe eines oder mehrerer dafür geeigneter markanter Sterne maß. Schon Ibn Yūnis (starb 399/1009) gibt dafür zahlreiche Beispiele im Rahmen des, seinen *Hākimitischen Tafeln* vorangestellten Überblicks über die Beobachtungen seiner Vorgänger.<sup>1</sup> Auch al-Bīrūnī verfährt bei den von ihm zu geographischen Zwecken angestellten Beobachtungen von Mondfinsternissen in derselben Weise.<sup>2</sup>

Weiß man, ob die Höhe über dem östlichen oder dem westlichen Horizont gemessen wurde, so ist die Lage der Fixsternkuppel zum Horizont eindeutig bestimmt. Mit Hilfe eines Astrolabs läßt sich dann leicht die Zeit bestimmen. Das wird auch in vielen Fällen geschehen sein, doch hat dieses Verfahren zwei Nachteile: 1.) Ein Astrolab ist nur auf eine begrenzte Anzahl von Sternen bezogen; 2.) es wird kaum die bei der Höhenmessung erreichbare Genauigkeit auszuschöpfen gestatten wegen mannigfacher Fehlerquellen bei der Herstellung der Spinnne, der in der Regel nur für volle Grade der geographischen Breite entworfenen Scheiben etc. Daher lag es nahe, nach Verfahren zu suchen, die unabhängig von diesem Instrument eine exakte trigonometrische Lösung der gestellten Aufgabe ermöglichen.

Die Aufgabe läuft in ihrer allgemeinsten Form (bei der die Deklination des beobachteten Sterns nicht vorausgesetzt wird) darauf hinaus, aus Höhe und Azimut eines Sterns seinen Stundenwinkel, die Drehung der Himmelskuppel seit seinem Durchgang durch den Meridian und die Deklination zu berechnen. Die Lösung der Aufgabe vermittelt praktisch den Übergang vom zufälligen System des Horizonts zu dem der Rektaszensionen und Deklinationen, das sich hier bereits als das zukunftsweisende Koordinatensystem der Astronomie abzuzeichnen beginnt. Wir sind gewohnt, die Aufgabe mit Hilfe des sphärischen Kosinussatzes zu behandeln. Al-Marrākuṣī wendet stattdessen ein elementares Verfahren an, bei dem er nur rechtwinklige Dreiecke aufzulösen hat, und das unter Einführung eines Hilfsbogens alles Gewünschte leistet. Die von ihm dargestellte Aufgabe und ihre Lösung wurde im

<sup>1</sup> S. Caussin, *Le livre de la grande Table Hakémite* (Extraits du MS. de Leyde) in: *Notices et extraits des Mss.*, vol. 7 (XII/1804) S. 16-240, bes. S. 79, 99-107, Nachdruck: *Islamic Mathematics and Astronomy* Band 24, S. 117, 137-145.

<sup>2</sup> K. *Tahḍīd nihāyāt al-amākin li-taṣṣiḥ masāfāt al-masākin* (Nachdruck *Islamic Geography* Band 25) S. 291; engl. Übers. S. 260-261.

Jahr 1834 durch die französische Übersetzung von J.-J. und L.-A. Sédillot bekannt gemacht.<sup>1</sup> Die Überschrift des betreffenden Kapitels 65 lautet: *Détermination de la déclinaison d'une étoile et de sa distance au méridien en parties de son parallèle, lorsque la hauteur et l'azimut de l'étoile sont connus*.<sup>2</sup>

Eine besonders geistreiche Anwendung dieses Verfahrens gibt al-Marrākuṣī in Kapitel 69. Seine Überschrift lautet: *Détermination de la longitude et de la latitude d'un lieu quelconque, lorsque son azimut et la hauteur de son zénith dans un lieu donné sont connus*; hier beruft sich der Verfasser zur Anwendung der sphärischen Trigonometrie ausdrücklich auf das vorangegangene Kapitel 65.<sup>3</sup> Der Grundgedanke von al-Marrākuṣī ist verblüffend einfach: Angenommen, der beobachtete Stern steht gleichzeitig an einem anderen Ort im Zenit. Dann entspricht der für den Ausgangsort ermittelte Stundenwinkel dem Längenunterschied zwischen den beiden Orten, die ermittelte Deklination dem Breitenunterschied. Entscheidend dabei ist selbstverständlich die Annahme der Gleichzeitigkeit, die auf anderem Wege gewährleistet werden muß. Das von al-Marrākuṣī gebotene Paradestück darf also nicht als eine allgemeine Methode für die Ermittlung des Zeit- oder Längenunterschieds mißverstanden werden, hat vielmehr als geistreiches Hilfsmittel Bedeutung, wenn ein solcher Unterschied, beispielsweise mit Hilfe von Mondfinsternisbeobachtungen, zu ermitteln ist.

Es war C. Schoy<sup>4</sup>, der als erster bemerkte, daß al-Marrākuṣī damit einen Spezialfall der geographischen Längenbestimmung behandelt, "ähnlich wie sie die moderne sphärische Astronomie kennt." Die not-

<sup>1</sup> *Traité des instruments astronomiques des Arabes* I, Paris 1834 (Nachdruck Frankfurt, Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 1984), S. 311-312.

<sup>2</sup> Der arabische Text lautet: *Fī ma'rīfat bu'd al-kaukab 'an mu'addil an-nahār wa-mā bainahū wa-bain dā'irat niṣf an-nahār min aḡzā' madāriḥi idā kāna riṣfā'uhū wa-samtuhū ma'lūmain (Ġāmi' al-mabādi' wa-l-ḡāyāt*, Faksimile-Ausgabe, Frankfurt, Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften 1984, I, S. 153-154).

<sup>3</sup> Sédillot, a.a.O. S. 323. Die Überschrift des Kapitels 69 lautet im arabischen Original: *Fī ma'rīfat ṭūl al-balad wa-'arḍihī idā kāna samtuhū min baladinā ma'lūman wa-riṣfā' samt ru'ūs ahlihī 'alā baladinā ma'lūman (Ġāmi' al-mabādi' wa-l-ḡāyāt*, a.a.O. I, S. 160).

<sup>4</sup> *Längenbestimmung und der Zentralmeridian bei den älteren Völkern* in: Mitteilungen der K.K. Geographischen Gesellschaft Wien 58/1915/25-62, bes. S. 39 (in: C. Schoy, *Beiträge*, a.a.O., S. 95-130, bes. S. 107 und *Islamic Geography* Band 18, S. 36-71, bes. S. 48).

wendigen Hilfsmittel sowohl theoretischer als auch instrumenteller Art für die Azimutbestimmung standen seit Jahrhunderten arabischen Geographen zur Verfügung. Der im 4./10. Jahrhundert wirkende Astronom Abu l-Ḥasan 'Alī b. 'Abdarrahmān Ibn Yūnis<sup>1</sup> kannte schon mindestens acht Berechnungsarten der Azimute.<sup>2</sup>

Fassen wir zusammen, was die von al-Marrākuṣī – ohne Anspruch auf eigene Erfindung – dargestellten methodischen Hilfsmittel für die Behandlung der Längendifferenz in der Geschichte der mathematischen Geographie bedeuten. Al-Bīrūnī hatte die von seinen Lehrern gefundenen Regeln für das sphärische Dreieck in den Dienst der mathematischen Geographie gestellt. Bei den nachfolgenden Generationen finden wir – für uns greifbar bei al-Marrākuṣī – eine weiterführende Entwicklung, bei der alle trigonometrisch-astronomischen Hilfsmittel für eine genauere Bestimmung der Ortszeit durch Fixsternbeobachtungen in systematischer Weise aufgebaut werden. Die Technik astronomischer Beobachtung, bei der Rektaszensionen und Deklinationen als Bezugssystem immer mehr in den Vordergrund treten, geht dabei in ähnliche Richtung wie im 16. Jahrhundert bei Tycho Brahe im Westen.

Diese von den Historikern der Geographie noch nicht zur Kenntnis genommene Methode der Längenbestimmung wird von al-Marrākuṣī nicht nur als astronomisches Verfahren beschrieben, sondern auch als Arbeitsmittel, um die Weltkarte zu korrigieren. Er hinterließ uns eine Tabelle mit Breitengraden von 133 Städten. Es war ihm bewußt, daß er als einzelner Mensch nur eine beschränkte Anzahl von Koordinaten auf Grund eigener Messung und Beobachtung ermitteln kann. Um diese von anderen zu unterscheiden, machte er sie mit roter Tinte auf der Tabelle seines Autographs kenntlich. Er wußte, daß viele Koordi-

<sup>1</sup> S. Sezgin, GAS VI, 228ff.

<sup>2</sup> S. C. Schoy, *Das 20. Kapitel der großen Ḥākemitischen Tafeln des Ibn Yūnis: "Über die Berechnung des Azimutes aus der Höhe und der Höhe aus dem Azimut"* in: *Annalen der Hydrographie u. maritimen Meteorologie* (Hamburg) 48/1920/97-111 (in: C. Schoy, *Beiträge*, a.a.O. I, S. 215-229 und *Islamic Geography* Band 18, S. 140-154); ders., *Über eine arabische Methode, die geographische Breite aus der Höhe der Sonne im 1. Vertikal ("Höhe ohne Azimut") zu bestimmen*, ebd. 49/1921, S. 124-133 (*Beiträge*, a.a.O. I, S. 242-251 und *Islamic Geography* Band 18, S. 167-176); ders., *Die Bestimmung der geographischen Breite eines Ortes durch Beobachtung der Meridianhöhe der Sonne oder mittels der Kenntnis zweier anderen Sonnenhöhen und den zugehörigen Azimuten nach dem arabischen Text der Ḥākemitischen Tafeln des Ibn Yūnus*, ebd. 50/1922, S. 3-20 (*Beiträge*, a.a.O. I, S. 275-290 und *Islamic Geography* Band 18, S. 191-208).

naten, besonders solche, die "die Länder der Hazaren, Slaven und Indier" betreffen, Verwirrung verursachten.

Der Grad der Genauigkeit der von al-Marrākušī erreichten Korrekturen von Koordinaten einer Anzahl von Städten auf der Iberischen Halbinsel, an der Südküste des Mittelmeeres und im Norden von Afrika von Sala bis Qairawān überraschte im vorigen Jahrhundert Sédillot, Reinaud, Lelewel und später Schoy. Sie bemerkten, daß diese Daten nur ganz unwesentliche Abweichungen von heutigen Werten aufweisen<sup>1</sup>. Sie stellten auch fest, daß bei al-Marrākušī die große Achse des Mittelmeeres im Vergleich zu Ptolemaios um 19° und den Ma'mūngeographen gegenüber um 8° reduziert ist und vom heutigen Wert nur ca. 2° bis 3° abweicht. Dies hat in der Geschichtsschreibung der Geographie<sup>2</sup> nur selten angemessene Beachtung gefunden.

Die von al-Marrākušī im Zusammenhang mit der Iberischen Halbinsel, Nordafrika u. a. erreichten Korrekturen bezeichnete J. Lelewel<sup>3</sup> als Reform der Geographie. Er hat bemerkt, daß durch die "äußerst nützliche Operation" Spanien seine aus der frühen Kartographie stammende "unverhältnismäßig große Dimension" verliert, durch welche "die Seiten Afrikas nach Süden gedrückt waren, während ein großer Teil Spaniens nach Norden aufstieg und nach Westen hinausragte". Durch al-Marrākušīs Korrekturen hoben sich alle Orte im Maghrib in der Breite und erreichten ihre tatsächlichen Positionen. Hier sei vorwegnehmend bemerkt, daß 30 bis 40 Jahre nach dieser "Reform" die ersten Portolankarten auftreten. Die Tatsache, daß diese kartographische "Reform" – die Lelewel allein in den Tabellen des Marrākušī mit einer beschränkten Anzahl von Koordinaten erkannt hat – einen Teil des in etwa 300 Jahren gewonnenen Erbes der andalusisch-maghribinischen Schule darstellt, dürfte an den bereits oben erwähnten<sup>4</sup> Leistungen einiger Angehöriger dieser Schule deutlich geworden sein.

In demselben Jahrhundert, in dem die mathematische Geographie im Westen der islamischen Welt sowohl in der Methodik als auch in der Korrektur des Gradnetzes des Mittelmeeres große Fortschritte erzielte, wurden auch im asiatischen Teil im Osten von Bagdad – den vollständig oder fragmentarisch erhaltenen Tabellen nach zu urteilen – immer mehr neue, auch politisch oder wirtschaftlich unbedeutende

<sup>1</sup> S. Sezgin, GAS, Mathematische Geographie, Autorenteil.

<sup>2</sup> S. Peschel/Ruge S. 140.

<sup>3</sup> *Géographie du moyen âge* I, 138.

<sup>4</sup> Ebd. I, 161 ff.

Orte koordinatenmäßig erfaßt. Neben Tabellen mit einer relativ beschränkten Anzahl von Koordinaten gibt es jetzt auch Versuche, die Koordinaten des Gradnetzes der Weltkarte so weit und so dicht wie möglich auf Grund der zur Verfügung stehenden Vorarbeiten zu erfassen.

Eine geographische Kompilation, in der ein großer Teil der sowohl im Westen als auch im Osten der islamischen Welt gewonnenen geographischen Koordinaten ohne Kenntnis von der im Zusammenhang mit den Längengraden erfolgten Entwicklung aufbewahrt ist, schuf der aus Andalusien stammende Abu l-Ḥasan 'Alī b. Mūsā Ibn Sa'īd<sup>1</sup> im letzten Viertel des 13. Jahrhunderts während seines Aufenthaltes im Orient. Er war ein Literat und Historiker mit vielseitigen Interessen. Sein Buch gehört strenggenommen nicht zum Bereich der mathematischen Geographie. Nicht durch eine Tabelle, sondern im Rahmen seiner deskriptiven Ausführungen gibt er ein paar hundert Koordinaten von Städten, Flüssen u. a. m. Sein Buch erweckt den Eindruck, daß er versucht hat, die mathematische Geographie mit der deskriptiven zu vereinbaren, doch war die Ma'mūngeographie, die er in ausführlichen Passagen irrtümlich unter dem Namen Ptolemaios zitiert, sein eigentliches Vorbild. Sein bleibendes Verdienst ist, daß er eine große Anzahl weiterer Koordinaten aus jüngeren Quellen ausgewählt hat, die z. T. verloren sind; er weist allerdings nicht auf ihre unterschiedlichen Primemidiane hin.

<sup>1</sup> S. Sezgin, GAS, Mathematische Geographie, Autorenteil.