

Eine Meridiangradmessung im Alten China um 725 n. Chr.

Autor(en): **Minow, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **100 (2002)**

Heft 4

PDF erstellt am: **29.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-235894>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Eine Meridiangradmessung im Alten China um 725 n. Chr.

Im «Reich der Mitte» entstand eine der ältesten Hochkulturen der Welt. Trotz aller politischen Umwälzungen in dem Riesenreich konnte China seine kulturelle Identität und Kontinuität erhalten, die auch in den praktischen Unternehmungen und traditionellen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen sichtbar wird. Schon vor 5000 Jahren wurde Ackerbau betrieben und das Land durch Kanäle entwässert [3]. Später erfanden die alten Chinesen u.a. den Magnetnadel-Kompass und einen Seismographen zur Früherkennung von Erdbeben. Zu den bedeutenden Leistungen gehört auch der Versuch, Grösse und Gestalt der Erde zu ermitteln, und zwar durch die astronomisch-geodätische Messung eines Meridiangrad-Abschnittes entlang etwa dem heutigen 114. Längengrad östlich von Greenwich.

Dans «l'Empire du Milieu» est né une des plus vieilles hautes cultures du monde. Malgré toutes les révolutions politiques dans cet empire géant, la Chine a pu conserver son identité et sa continuité culturelles qui apparaissent également dans des entreprises pratiques ainsi que dans les connaissances traditionnelles de science naturelle. Il y a 5000 ans déjà, on a pratiqué la culture des champs et le terrain a été assaini par des canaux [3]. Plus tard, les vieux chinois ont découvert entre autre la boussole à aiguille magnétique et un sismographe permettant la détection avancée de tremblements de terre. Font partie des réalisations importantes également la tentative de déterminer la grandeur et la forme du Globe, par la mesure astronomique et géodétique d'un tronçon de méridien, environ parallèle à l'actuelle 114^{ème} longueur à l'Est de Greenwich.

Durante il «celestes impero» vide la luce una delle culture antiche più raffinate del mondo. Malgrado gli innumerevoli sconvolgimenti politici nel Grande Impero, la Cina riuscì a mantenere la sua identità e la sua continuità politica, visibili anche nelle imprese pratiche e nelle tradizionali scoperte nell'ambito delle scienze naturali. Già 5000 anni fa si praticava l'agricoltura e il terreno era irrigato e drenato da canali. Più tardi gli Antichi cinesi non mancarono d'inventare, tra le altre cose, la bussola ad ago magnetico e un sismografo per il riconoscimento tempestivo dei terremoti. Tra le innovazioni più significative troviamo anche il tentativo di definire la forma e le dimensioni della Terra, procedendo alla misurazione astronomico-geodesica di un segmento di meridiano, press'a poco lungo l'odierno 114° grado di longitudine a est di Greenwich.

H. Minow

Schattenmessungen

Schon in den frühen Perioden der chinesischen Geschichte spielte die Ermittlung des Sonnenschattens eine besondere Rolle. Zur Messung der Schatten der Sonne für die verschiedenen Positionen während ihrer Bahn am Himmel diente der senkrechte Schattenstab (Gnomon), der mit Hilfe von Lot und Wasserwaage errichtet wurde [7]. Als Standard-Messgerät war er

gewöhnlich 8 chi (Fuss) hoch, das sind 1,98 m, rund 2 Meter (Abb. 1). Um die Länge des Schattens möglichst scharf zu bestimmen, brachte man später am oberen Ende des Stabes in einer kleinen Scheibe eine kreisrunde Öffnung von ca. 3 cm an.

Abbildung 2 verdeutlicht die geometrischen Verhältnisse bei der Schattenmessung: h = Höhe des Schattenstabes, s = Schattenlänge, α = Höhenwinkel bei Sommersonnenwende, ε = Schiefe der Ekliptik.

$\tan \alpha = \frac{h}{s}$, zur Sommersonnenwende:
z. B. $\varphi = 90^\circ + \varepsilon - \alpha_s$, $\varepsilon = 23^\circ 40' = 24 \text{ tu}$,
(wobei ein $\text{tu} = 1/365,25$ des Kreisumfangs von 360°), oder $\varphi = 113^\circ 40' - \alpha_s$.

Bei der Tagundnachtgleiche (Äquinoktium) betrug der Schatten (in einer bestimmten geographischen Breite) 6 chi (6 : 8 : 10 chi). Das ergab dann ein Dreieck im Verhältnis 3 : 4 : 5.

Das Prinzip der Messung bei den verschiedenen Sonnenstellungen wird in Abbildung 3 veranschaulicht. Für eine gegebene Ortslage (hier: 52° nördl. Breite) sind die beiden extremen Sonnenstellungen zu den Zeiten der Sommer- und Wintersonnenwenden (Solstitien) dargestellt. Der Gnomon mit der Höhe h steht auf einer ebenen Fläche $H H'$. Der Zenit Z ist der Punkt genau über dem Gnomon. Der Winkel zwischen H und N (Nordpol der Himmelskugel) entspricht der geographischen Breite φ . Demnach ist der Winkel zwischen Z und N gleich $90^\circ - \varphi$. Der Winkel zwischen Z und der Äquatorlinie \ddot{A} ist gleichfalls φ .

Die Sonne bzw. ihr Schatten bewegt sich zwischen den Winkelstellungen α_s und α_w , d.h. zwischen den Punkten S_s und S_w . Sie entfernt sich dabei vom Himmelsäquator um jeweils + oder $-\varepsilon$. Nur zu den Äquinoktien (Tagundnachtgleichen) steht sie genau im Himmelsäquator ($\varepsilon = \text{Null}$). Die geographische Breite lässt sich für die drei Extremstellungen berechnen:

für die Sommersonnenwende

$$\varphi = 90^\circ + \varepsilon - \alpha_s,$$

für die Wintersonnenwende

$$\varphi = 90^\circ - \varepsilon - \alpha_w,$$

für die Tagundnachtgleiche

$$\varphi = 90^\circ - \alpha_{\ddot{a}}.$$

Der direkten Messung zugänglich ist nur der Winkel α , der sich rechnerisch aus $\tan \alpha = h/s$ ergibt. Mit dem Winkel α , dessen Grösse einer trigonometrischen Tafel entnommen werden kann, wird die geographische Breite abgeleitet.

Zur genauen Bestimmung der Himmelsrichtungen heisst es in einem Lehrbuch [6]: « Bei Sonnenaufgang beobachte mit Hilfe des Schattenstabes den Schatten...

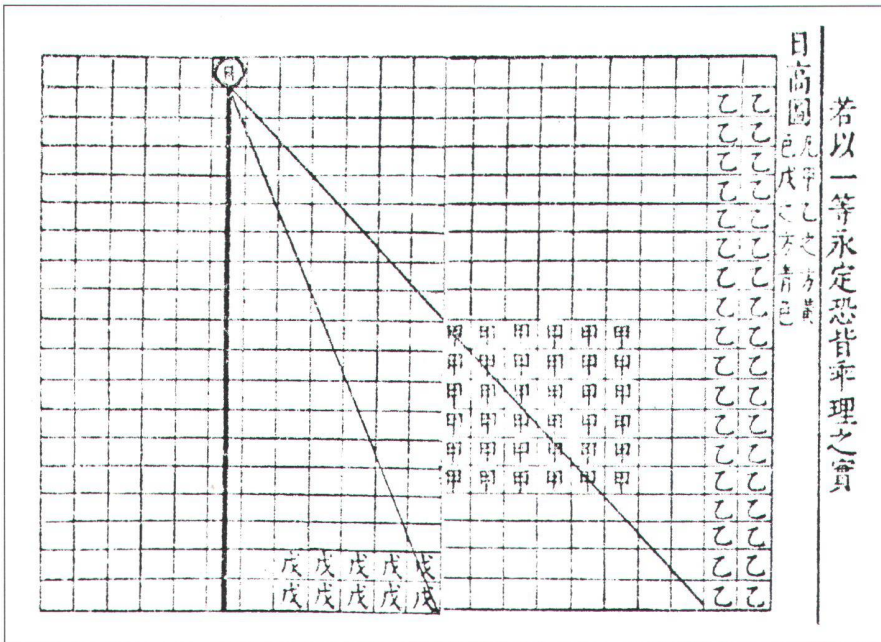


Abb. 1: Schattenstab-Beobachtungen: das Diagramm enthält Berechnungen zum Sonnenstand im Zenit. Aus [6].

und aufs neue bei Sonnenuntergang. Die beiden Haupt-Schattenpunkte (bei Tag- und nachtgleiche) entsprechen sich und bezeichnen Ost und West. Halbiere die Strecke der beiden markierten Punkte und ziehe eine Linie zum Schattenstab hin, so wirst du Nord und Süd bestimmen». Es blieb von den Chinesen nicht unbemerkt, dass der Sonnenschatten kürzer wurde, je weiter man nach Norden kam. So bemühte man sich, die Nord-Süd-Entfernung mit den unterschiedlichen Schattenlängen, d.h. mit der geographischen Breite, in Beziehung zu bringen. Versuche dazu sind aus der Zeit um 445 n. Chr. überliefert; aber die damaligen Messungen waren noch zu ungenau (Abb. 4).

Das Projekt

Um 604 n. Chr. unterbreitete der Gelehrte *Liu Zhuo* dem kaiserlichen Hof einen Plan, wie man in einer weiten Niederung, etwa vom heutigen Beijing (Peking) im Norden bis südöstlich von Luoyang, eine genaue in Nord-Süd ausgerichtete Reihe von Messpunkten aufbauen könnte, um die Schattenlängen der Gnomone mit den Distanzen zwischen den Messpunkten in Beziehung zu setzen. Er bat die Regie-

rung, eine neue Messung der Sonnenschatten zu autorisieren und die geodätische Untersuchung eines Meridiangrades vorzunehmen. «Damit werden Himmel und Erde ihre Formen nicht verbergen können, und damit werden die himmlischen Körper gezwungen, ihre Abmessungen mitzuteilen. Wir werden die glorreichen Weisen des Altertums übertreffen und unsere noch bestehenden Zweifel auflösen. Wir ersuchen Eure Majestät, den abgenutzten Theorien früherer Zeiten keinen Glauben zu schenken und diese nicht zu benutzen» [9]. Man hatte näm-

lich fälschlicherweise vorausgesagt, dass die Sonnenschattenlänge nördlich des angenommenen «Nullpunktes» bei Yang Cheng, südöstlich von Luoyang, immer um 1 cun (Zoll) für je 1000 li (Meilen) zunähme, so wie sie südlich davon entsprechend abnähme.

Die Messpunkte

Die Idee des Liu Zhuo wurde jedoch erst hundert Jahre später während der Tang-Dynastie (618–906) voll verwirklicht. Das Unternehmen, das eigentlich der Verbesserung des chinesischen Kalenders dienen sollte, ist verbunden mit dem Namen des buddhistischen Mönchs *Yi Xing* (I-Hsing, 632–727), der einer der begabtesten Mathematiker seiner Zeit war [1]. Das Vorhaben stand unter der Leitung des kaiserlichen Astronomen Nangong Yue. Die Planung des Projektes, der Aufbau der Messpunkte, die Durchführung der Messungen und die abschliessende Auswertung sowie deren Präsentation an den kaiserlichen Hof geschah in den Jahren zwischen 721 und 725, also in einem Zeitraum von nur vier Jahren, wie dies zuverlässig dokumentiert ist [9]. Die festen Messpunkte bestanden im wesentlichen aus den Einheits-Gnomonen, das sind Steinsäulen von 8 chi Länge auf einem Sockel (Abb. 5). Der Schattenstab von Yang Cheng Nr. 5, wo sich das astronomische Büro befand, ist heute noch erhalten. Der südlichste Messpunkt Nr. 10 lag in der

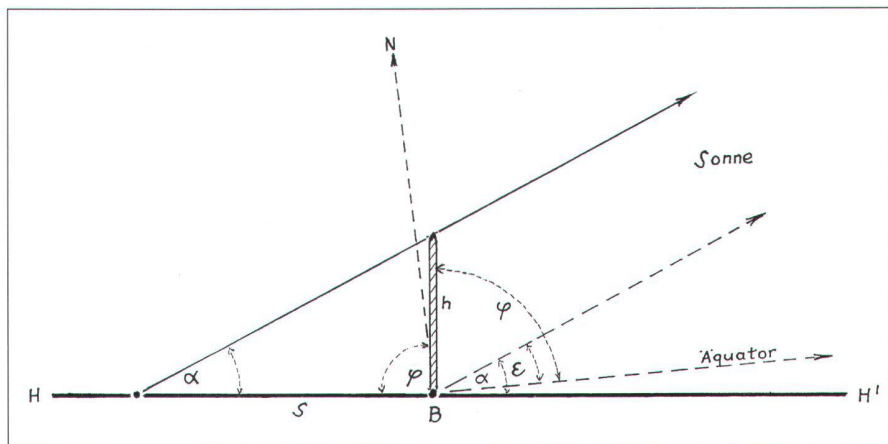


Abb. 2: Geometrische Verhältnisse bei der Schattenmessung.

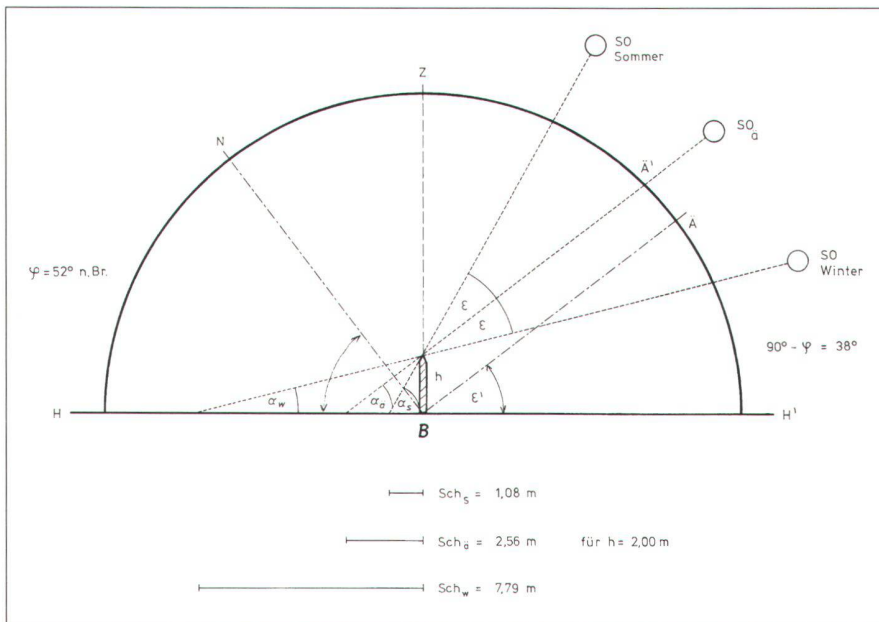


Abb. 3: Schema der Schattenmessung in 52° nördl. Breite zur Sommersonnenwende (s), Äquinoktium (ä) und Wintersonnenwende (w). Schattenlänge (Sch) für Gnomon $h = 2,0$ m.

Nähe der heutigen Stadt Hue in Vietnam bei ca. 17,25° nördlicher Breite; die nördlichste Station Nr. 2 befand sich nahe dem heutigen Beijing (Peking) bei ca. 40° nördlicher Breite. Darüber hinaus wurde wahrscheinlich eine Expedition bis in die Nähe des Baikalsees (Nr. 1) geschickt, die dort bei 52° nördlicher Breite Messungen vornahm [5]. Damit wäre Yi Xings «Gesamt-Meridian» ca. 13 000 li (rund 4800 km) lang gewesen (Abb. 6). Besonders wichtig waren die Beobach-

tungen in den zentralen Messpunkten Nrn. 3, 4, 6 und 7 in der heutigen Provinz Henan. Alle diese Beobachtungsorte lagen jedoch nicht exakt in einer Linie und auch nicht genau auf dem gleichen Längengrad (Abb. 7). Die Nummern für die Messpunkte 1 bis 8 sind identisch mit der Nummerierung in [2].

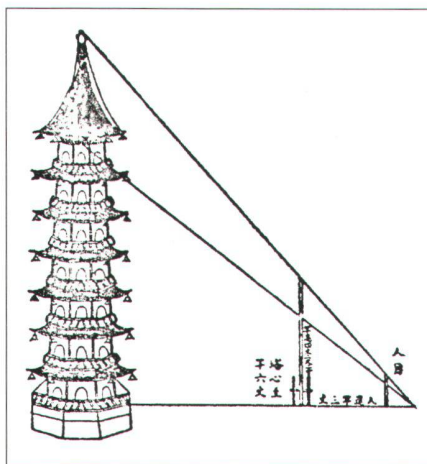


Abb. 4: Beispiel einer Messung mit Schattenstäben: Bestimmung der Höhe einer Pagode. Aus [8].



Abb. 5: Chinesischer Schattenstab (Gnomon), ca. 1440.

Messpunkt

Nr.	Ortsbeschreibung
1	Tieh Lo, östlich vom Baikalsee
2	Wei Chou (Weichow). Der Armee-Stützpunkt lag nordöstlich des heutigen Bezirks in Chahar, in der Nähe des modernen Ling Qiu und der Grossen Mauer in Nord-Shanxi
2a	Tai Yuan
3	Hua Chou (Baima) lag ursprünglich am Südufer des Gelben Flusses (Huang he); nach Änderung des Flusslaufes liegt heute der Punkt weiter nördlich
4	Xungyi oder Kaifeng in Pien Chou
5	Yang Cheng (Luoyang), ehemals Astronomie-Station; überliefert sind die geographischen Koordinaten 34°26' N 113°02' O oder 34,63° N 113,00° O
6	Fugou in Xu Chuo
7	Wu Chin nahe Shangcai in Yu Chou
7a	Xiang Chou
8	Lang Chou (Wu Ling)
9	Chiao-chou (Hu-fu, Hauptstadt von Annan) in Nord-Vietnam, jetzt Hanoi
10	Lin-i in Süd-Vietnam, jetzt Indrapura in Champa nahe Hue

Tab. 1.

Messpunkt Nr.	Ungefähre geographische Lage
	Nördl. Breite φ° Östl. Länge λ°
1	52,00 114
2	39,80 114,5
2a	37,67 112,5
3	35,55 114,7
4	34,80 114,55
5	34,43 113,03
6	34,15 114,38
7	33,60 114,35
7a	31,99 112,1
8	29,00 111,60
9	(20,73) 106
10	(17,25) 106±1

Tab. 2.

An den zwölf Messpunkten wurden die Polhöhe φ und die Schattenlänge s während der Äquinoktien beobachtet und gemessen (siehe Tab. 1 und 2). Ausser den astronomischen Beobachtungen liess Yi Xing die Entfernungen zwischen den vier zentralen Messpunkten genau messen (Abb. 7):

- 3-4 198 li 179 bu = 198,60 li
- 4-6 167 li 281 bu = 167,94 li
- 6-7 160 li 110 bu = 160,37 li

- 3-7 526 li 270 bu = 526,91 li

Die Ergebnisse

Yi Xing stellte abschliessend fest, dass die Differenz der Schattenlängen in den Messpunkten Nr. 3 und Nr. 7, die 526 li 270 bu voneinander entfernt waren, etwas mehr als 2 cun betrug ($1,57 - 1,365 = 0,205$ chi = ca. 5 cm). Nachdem er herausgefunden hatte, dass ein tu der Strecke von 351,27 li auf dem Meridian entspricht, berechnete er damit die Entfernungen zu den weiter nördlich und den weiter südlich gelegenen Messpunkten – eine kühne Extrapolation! Die vier zentralen Messpunkte lagen relativ nahe zusammen. Die Winkeldiffe-

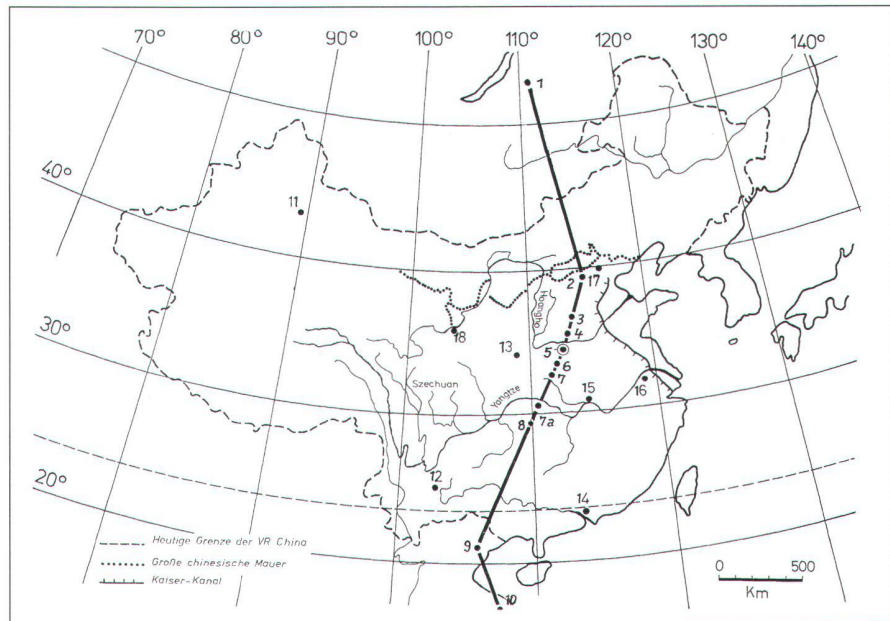


Abb. 6: Das Vermessungssystem. 1...10 Messpunkte der Meridiangradmessung, weitere Orte: 11 Tulufan, 12 Yunnan, 13 Xian, 14 Guangzhou (Kanton), 15 Wuhan, 16 Nanjing, 17 Beijing (Peking), 18 Lanzhou.

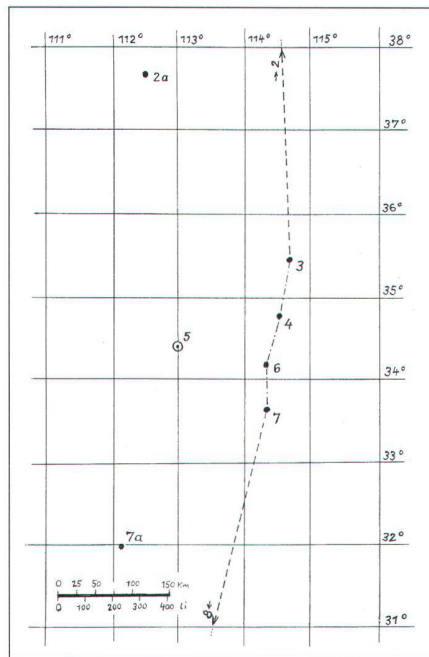


Abb. 7: Die zentralen Messpunkte der Meridiangradmessung.

Messpunkt	Nr.	φ	Sch _s	α	φ_s	φ_{tu}
	1	51° 15'	4,13	62° 42'	50° 58'	51,71
	2	39° 25'	2,29	74° 02'	39° 38'	40,21
	2a	–	6,0	53° 08'	36° 52'	37,40
	3	34° 47'	1,57	78° 54'	34° 46'	35,27
	4	34° 18'	1,5312	79° 10'	34° 30'	35,00
	5	34° 12'	1,4788	79° 32'	34° 08'	34,63
	6	33° 48'	1,44	79° 48'	33° 52'	34,36
	7	33° 19'	1,365	80° 19'	33° 21'	33,84
	7a	–	4,8	59° 02'	30° 58'	31,42
	8	29° 04'	0,77	84° 30'	29° 10'	29,59
	9	20° 06' } 21° 17' }	– 0,33	92° 21'	21° 19'	21,63
	10	17° 09' } – 0,91 }	– 0,57 } – 0,91 }	94° 05' } 96° 29' }	19° 35' } 17° 11' }	19,87 } 17,43 }

φ = Polhöhe (aus Sternbeobachtungen)
 Sch_s = gemessene Länge des Sommerschattens (in chi)
 α = errechneter Höhenwinkel bei Sommersonnenwende
 φ_s = geographische Breite (gerechnet)
 φ_{tu} = geographische Breite (gerechnet, in tu = «Chinagräd»)

Tab. 3.

renzen sind entsprechend klein. Wie genau Yi Xing gemessen hat, ergibt sich aus dem Wert für ϵ , der die Neigung der Dreh-

achse der Erde gegenüber der Umlaufbahn um die Sonne, der Ekliptik, angibt. Yi Xing berechnete $\epsilon = 23^\circ 40'$ mit einem

mittleren Fehler von 1,5 Bogenminuten; der heutige Wert ist $23^{\circ}27'$. Auffällig ist, dass sein mittlerer Messfehler kleiner ist als die Absolutabweichung gegenüber dem heutigen Wert. Diese Abweichung lässt sich so erklären: Yi Xing hat wohl systematisch die Schatten um 2 mm zu kurz gemessen, und zwar deshalb, weil die Sonne wegen ihres scheinbaren Durchmessers von etwa einem halben Bogengrad einen diffusen Halbschatten wirft, deren genaue Grenzen sich nur schwer festlegen lassen. Das gilt im übrigen für alle Schattenmessungen bei diesem Projekt. Der Mathematiker Yi Xing hat aus den Schattenlängen seine Winkel auf wenige Bogenminuten genau berechnet, und darauf war er sehr stolz. Er hat in seinem Abschlussbericht nur die Endergebnisse mitgeteilt: «Ich habe sie berechnet!» [9]

Und das waren die Messwerte und die Rechenergebnisse (siehe Tabelle 1). Fünf Jahrhunderte später, 1221, wurde das Vermessungswerk des Yi-Xing durch den Daoisten Chiu Chang Chun und seinen Mitarbeitern ergänzt: Sie führten Schatten-Beobachtungen zur Sommer-sonnenwende an den Ufern des Kerulen-Flusses in der Nord-Mongolei (ca. 48° nördl. Breite) aus, als sie auf dem Wege nach Samarkand waren [5].

«China-Grad»

Die Berechnungen ergaben demnach, dass der Nordpol ein tu höher sei für einen Ort, der sich 351 li 80 bu nördlich davon befindet; das ist der Wert für ein «China-Grad» auf dem Meridian. Die Differenz der Schattenlänge hatte fast 4 cun für 1000 li Ortsveränderung ergeben, damit einen viermal grösseren Betrag als die

«Gelehrten früherer Zeiten» angenommen hatten.

Zu berücksichtigen ist, dass in China traditionell der Kreisumfang (360°) in 365 $1/4$ tu («China-Grad») geteilt wurde; also: 365,25 tu entsprechen 360 Altgrad! Eine Einschätzung der grossräumigen Vermessung des Yi Xing lässt sich allerdings nicht geben, da z.B. die terrestrischen Entfernungen nicht mit Sicherheit in heutige Masseinheiten umgerechnet werden können. Die Länge für die chinesische Meile (li) und die Verhältnisse innerhalb des chinesischen Masssystems wechselten öfter.

Vielleicht wären für die Tang-Zeit folgende Verhältnisse anzunehmen:

1 Meile (li) = 300 bu = 1500 chi = 0,3684 km
1 bu (Doppelschritt) = 5 chi = 1,23 m
1 chi (kurzer Fuss) = 0,2456 m
1 tu = 351 li 80 bu = 351,27 li = 129,41 km, umgerechnet:
1 Meridiangrad = 356,39 li = 131,29 km

Das wäre gegenüber dem heute bekannten Wert für einen Meridiangrad von 111,12 km allerdings kein allzu gutes Ergebnis, im Hinblick auf die Probleme mit der Schattenmessung aber ein durchaus respektables Resultat.

Dieses Unternehmen der chinesischen Geodäten, das als eine bemerkenswerte Leistung angesehen werden kann, reiht sich ein in die verschiedenen Gradmessungs-Unternehmungen, wie sie u.a. von *Eratosthenes* (um 250 v. Chr.) und den arabischen Astronomen des *al-Ma'mun* (um 820 n. Chr.) durchgeführt worden sind [4].

Literatur:

[1] Jede Transkription chinesischer Namen und Begriffe bleibt unbefriedigender Kompro-

miss. In der englischsprachigen Fachliteratur richtet sich die Schreibweise nach dem Wade-Giles-System. Im übrigen wird das offizielle Transkriptionssystem Hanyu Pinyin benutzt.

- [2] Beer, A. (u.a.): An 8th century meridian line: I-Hsing's chain of gnomons... In: *Vistas in Astronomy*, Oxford 1961, 3–28.
- [3] Minow, H.: Vermessung im alten China. In: *Der Vermessungsingenieur* 1981, S. 50–62.
- [4] Minow, H.: Al-Biruni und die historischen Meridiangradmessungen. In: *Der Vermessungsingenieur* 1999, S. 161–166.
- [5] Needham, J.: *Science and Civilisation in China (SCC)*, bisher 15 Bände, Cambridge 1954 ff.; Band 3 (Mathematics and the Science of the Heavens and the Earth) enthält eine Darstellung der exakten Wissenschaften im alten China sowie eine umfassende Bibliographie.
- [6] Zhuo Bei Suan Jing (Klassisches Rechenbuch der Gnomone und Kreisbahnen), 1. Jh. v. Chr.
- [7] Jiu Zhang Suan Shu / Chiu Chang Suan Shu (Neun Bücher über die Rechenkunst). Ein chinesisches Rechenbuch für den praktischen Gebrauch aus der frühen Han-Zeit, übersetzt von K. Vogel, Braunschweig 1968 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Neue Folge Band 4).
- [8] Hai Dao Suan Jing / Hai Tao Suan Ching (Mathematische Abhandlung über eine Meeresinsel), von San Kuo, 263 n. Chr. Übersetzung: van Hee, L., *Le Classique de l'île maritime, ouvrage chinois du III^e Siècle*. Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik. Band 2, 1933, S. 255.
- [9] Jiu Tang Shu (Alte Geschichte der Tang-Dynastie) von Wu Tai, 945.

Dipl.-Ing. Helmut Minow
Kelchstrasse 11
D-44265 Dortmund

Wandeln Sie Ihr INTERLIS-Datenmodell in ein UML-Diagramm. Oder umgekehrt. Software herunterladen, testen.

Ihr Datenmodell als Diagramm!



EISENHUT INFORMATIK

Rosenweg 14 • CH-3303 Jegenstorf • Tel 031 762 06 62 • Fax 031 762 06 64 • <http://www.eisenhutinformatik.ch>