

Zum antiken astro-geodätischen Messinstrument Skiotherikós Gnomon

Dieter Lelgemann, Eberhard Knobloch, Andreas Fuls und Andreas Kleineberg

Zusammenfassung

Das Verständnis der Geschichte der naturwissenschaftlichen oder angewandten Geometrie (Geodäsie, Geographie, Astronomie) des Altertums bedarf einer parallel laufenden Rekonstruktion der antiken Messinstrumente, der vormetrischen Maßeinheiten, der antiken Methoden der naturwissenschaftlichen Geometrie sowie einer Analyse der überlieferten antiken Resultate untereinander und mit der Realität. Tatsächlich zeigen Vergleiche von antiken Resultaten in Form von Zahlenangaben, z.B. in den »Geographika« des Strabon (64/63 v.Chr. bis 20 n.Chr.), nicht selten eine verblüffend gute Übereinstimmung mit der Realität. Kann man diese plausibel erklären?

Daten zur Bestimmung der gegenseitigen Lage von Alexandria/Rhodos hat Eratosthenes, (284–202 v.Chr.), wie er selbst bemerkt hat (Strabon II, 5, 24), mittels mehrerer »skiotherikoi gnomones« (Gnomon-Schattenfänger) bestimmt.

Aufgrund der spärlichen antiken Informationen wurde ein für geographische Zwecke geeignetes Messinstrument nachgebaut; die hohe Genauigkeit von damit durchgeföhrten Messungen entspricht der eines modernen Sextanten. Die einfache und leicht verständliche Konstruktion macht es zu einem didaktisch hervorragend geeigneten Instrument für einen Unterricht über »angewandte Geometrie« an den Schulen.

Summary

The insight into the ancient history of geometry as a natural science (applied geometry, that is geodesy, geography, astronomy) requires a simultaneous reconstruction of the ancient observation instruments, of the measurement units, of geometrical methods as well as an analysis of the ancient numerical results compared with each other and with the reality. Comparisons of the concrete numbers as given, e.g. in the treatise »Geographika« of Strabo (64/63 BC – 20 AD), with the reality show not infrequently a very high degree of correspondence. Can we give a plausible explanation for this fact?

Eratosthenes (284–202 BC), as he himself has mentioned according to Strabo (II, 5, 24), has obtained data for the mutual positions of Alexandria/Rhodos using several »skiotherikoi gnomones«.

Based on the sparse ancient information an observation instrument was rebuilt suitable for such a purpose; the high accuracy of observations obtained with such a kind of instrument is comparable with those of a modern sextant. This simple construction is didactically very well suited for an education of »applied geometry« in our schools.

1 Einleitung, Meridianrichtung und geographische Breite φ

Naturwissenschaftliche oder angewandte Geometrie basiert auf Messtechnik; zur Beschreibung der Realität und zur Verknüpfung der Maßzahlen verwendet sie abstrakte geometrische Konstrukte, wobei den Messfehlern bzw. Widersprüchen eine wesentliche Bedeutung zukommt. Ihre Geschichte im Altertum bildet ein Forschungsgebiet, das die parallel laufende Beantwortung von vier eng miteinander verknüpften Fragestellungen erfordert:

1. Welche Maßeinheiten (Strecken, Winkel) benutzten die Griechen/Ägypter/Römer und bildeten diese, basierend auf dem beim Pyramidenbau benutzten Remen, ein einheitliches System (Lelgemann 2004a)?
2. Welche Messgeräte benutzten die Griechen/Römer (Lewis 2001, Schmidt 1935)?
3. Welche geometrischen Konstrukte/Methoden zur Verknüpfung der Messdaten wurden in der naturwissenschaftlichen Geometrie des Altertums entwickelt?
4. Welche Maßzahlen/Ergebnisse sind von wem überliefert und wie genau stimmen diese miteinander und vor allem auch mit der Realität überein?

In diesem Gesamtrahmen soll die folgende Abhandlung einen Beitrag vor allem zur zweiten Frage leisten.

Für die geodätisch/geographische Messtechnik ist das mutmaßlich sehr alte Gnomon-Konzept von großer Bedeutung (Szabo 1992). Nach Herodot (um 485–425 v.Chr.) haben die Griechen Gnomon, Polos und die Einteilung des Tages in Stunden (»horai isemerinaí« = wahre Orts-sonnenzeit) von den Babylonien übernommen. Mit dem Begriff »Polos« dürfte in diesem messtechnischen Zusammenhang der (sich stetig langsam ändernde) Schattenkegel eines Gnomonstabes gemeint sein; denn die Achse des Schattenkegels ist (unabhängig von Ort und Zeit) stets in Richtung der beiden Pole, also der Rotationsachse der Erde ausgerichtet.

Die fundamentalen Größen der Geodäsie/Geographie sind die Meridianrichtung (bzw. darauf bezogene Azimute) sowie die geographische Breite φ . Sowohl mittels Entfernung und Azimut einerseits als auch mittels geographischer Breite und Länge andererseits kann bekanntlich die gegenseitige Lage von Ortschaften usw. beschrieben werden.

Mit Hilfe der Sonne konnte bereits im Altertum zum einen die Meridianrichtung festgelegt (und dann Azimute bestimmt) als auch zum anderen die geographische Breite φ gemessen werden. Den antiken Navigatoren in der Hochsee-Schifffahrt stand zur Kurs- bzw. Azimut-

bestimmung tagsüber nur die Sonne zur Verfügung, nachts benutzten sie dazu die Methode der Phönizier mittels des kleinen Bären (siehe Lelgemann 2001, S. 276).

Genaue Methoden zur Festlegung der Meridianrichtung sind uralt; bis auf wenige Bogenminuten genau sind beispielsweise die Grundseiten der Pyramide des Cheops (um 2600 v. Chr.) in Nord-Süd- bzw. Ost-West-Richtung ausgerichtet. Auf die fundamentale Bedeutung der Meridianrichtung für die Geographie weist auch Klaudios Ptolemaios (um 90–168 n. Chr.) in seiner »Geographike Hyphegesis« (II 2.2/3) hin; er sagt, dass deren terrestrische und astronomische Messmethoden teils in das Gebiet der Geometrie, teils in das der Meteoroskopie gehören (zu dem Begriff Meteoroskopie siehe Anhang A1).

Festzuhalten bleibt: Das bei Ptolemaios »skiotheron« und bei Eratostenes »skiotherikós gnomon« genannte Messgerät diente nicht zuletzt zur Festlegung der Meridianrichtung und damit der Bestimmung der Azimute.

Im Altertum wurde der Horizontalkreis in acht »Winde« geteilt (Vitruv I, 6, 4.9); auf diese Einteilung geht die moderne Einteilung der Wind-/Kompassrose in 16 bzw. 32 Teile zurück. Daneben findet man eine auf Timosthenes (3. Jh. v. Chr.) zurückgehende Einteilung in 12 »Winde«, eine Einteilung in zehn »Winde« durch Aristoteles (*meteor.* 2, 6) sowie eine nur von Vitruv beschriebene in 24 »Winde« (I, 6, 10), d. h. eine »Stundenteilung« des Horizontalkreises. Wurde die Bezeichnung »Wind« auch als Name für Azimutangaben verwendet? Jedenfalls spricht Vettius Valens (2. Jh. n. Chr.) in seiner Abhandlung »Anthologiae« von den »ánemoi« (Winde) des Mondes und der Planeten (I, 16; III, 4).

Wenn frühmorgens und spätabends der Schatten des Gnomonstabes die gleiche Länge aufweist, werden dadurch zwei Richtungen festgelegt; die Meridianrichtung liegt dann genau in deren Mitte. Mutmaßlich im 1. Jh. v. Chr. wurden komplizierte, geometrische Analemma-Konstrukte entwickelt, um aus Schattenmessungen zu drei beliebigen Epochen des Tages die Meridianrichtung zu bestimmen. Sie sind uns bekannt (siehe Lelgemann 2001, S. 36) aufgrund ihrer Beschreibung durch den Römer Hyginus (um 100 n. Chr.) und durch den »Araber« Al-Biruni (973–1050 n. Chr.); nach Neugebauer (1975, S. 841) gehen beide Methoden auf Diodoros von Alexandria (1. Jh. v. Chr.) zurück.

Nach Festlegung der Meridianrichtung kann die Richtung (also das Azimut) der Verbindungsstrecke zweier beliebiger Punkte/Orte (siehe Abb. 1) höchst einfach durch Messung bzw. Angabe der beiden Größen ξ und η (für ein konstantes σ , z. B. $\sigma = 6$ Fuß = 1 Rute) beschrieben werden. Nach Messung der Strecke S (durch Abschreiten oder mittels Seile) ergeben einfache Proportionen den »Kardo« $X = S(\xi/\sigma)$ und den »Decumanus« $Y = S(\eta/\sigma)$, also Nord-Süd- bzw. Ost-West-Komponente zur geographischen Beschreibung der gegenseitigen Lage von A und B.

Mittels einer einfachen Streckentraverse (Bussolenzug) konnte derart im Rahmen einer Straßenvermessung die gegenseitige Lage von Ortschaften einfach, schnell sowie

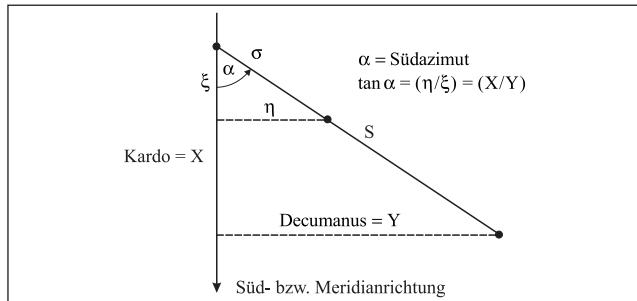


Abb. 1: Die römischen Begriffe »Kardo« und »Decumanus«

gleichgenau in Nord-Süd- und Ost-West-Richtung bestimmt werden; nur so ist z. B. die Genauigkeit der geographischen Angaben des Klaudios Ptolemaios in Ost-West-Richtung zu erklären.

Für sphärische Konstrukte findet man eine zweckmäßige Modifikation dieses »Chorographen-Verfahrens« in der »Geographike hyphegesis« des Klaudios Ptolemaios beschrieben als »Methode der Alten« zur Bestimmung des Erdumfanges (Knobloch et. al. 2003).

Vor allem in Ländern mit sehr langer Nord-Süd-Erstreckung (wie beispielsweise das Ptolemäer-Reich vom Hellespontus bis Syene/Meroë) boten sich wünschenswerte Kontrollen durch genaue Breitenbestimmungen an. Strabon bemerkt (II 1.35): Nach einer Bemerkung von Hipparch (um 190–125 v. Chr.) hat Eratosthenes angegeben, dass Breitendifferenzen messbar sogar innerhalb einer Distanz von 400 Stadien = $34'$ seien; diese Distanz entspricht dem Winkeldurchmesser der Sonne und wurde in der Antike ansonsten als Grenzwert für die Genauigkeit von Gnomon-Breitenbestimmungen angesehen. Wie unsere Messungen mit einem nachgebauten Instrument zeigen, ist tatsächlich eine Genauigkeit von besser als $5'$ bzw. 50 Stadien bzw. 8 km mit einem für geographische Zwecke geeigneten Instrument zu erzielen.

Bereits Pytheas (um 330 v. Chr.), auf dessen Schriften Eratosthenes sich stützte (Strabon II), konnte mittels eines Gnomons geographische Breiten mit sehr hoher Genauigkeit messen. Das bezeugt seine von Strabon (II 5.41) überlieferte Angabe für die Zenitdistanz der Sonne zum Sommersolstitium (Sommeranfang) in Massalia (Marseille) durch das Gnomon-Verhältnis 120:(42–1/5). Mit $\arctan(41,8:120) = 19^{\circ}12'$ und einer Schiefe der Ekliptik von $\varepsilon = 24^{\circ}$ erhält man für die geographische Breite von Massalia ($\varphi = 43^{\circ}18'$) den Wert $\varphi = z + \varepsilon = 43^{\circ}12'$. Die von Eratosthenes benutzte genaue Messmethode war also mutmaßlich bereits dem Pytheas bekannt bzw. von diesem entwickelt.

Strabon (I 4.1) bemerkt, dass auch Hipparch die von Eratosthenes gemessenen Breitenintervalle benutzt hat (siehe Anhang A2). Nach den Angaben von Eratosthenes/Hipparch/Strabon (II 5.35–38) lagen Meroë ($\varphi = 16^{\circ}55'$) 11800 Stadien = $16^{\circ}51'$ sowie Alexandria ($\varphi = 31^{\circ}13'$) 21800 Stadien = $31^{\circ}09'$ nördlich des Äquators. Für Alexandria gibt Strabon zusätzlich auch das Gnomon-Schatten-Verhältnis zum Äquinoktium mit 5:3 ($\arctan(3:5) = 30^{\circ}58' = 21675$ Stadien) an.

Strabon teilt uns auch den Namen des Messgerätes mit, mit dem Eratosthenes gemessen hat bzw. hat messen lassen (siehe Anhang B1). Voraussetzung für diese Entfernungsgabe war natürlich, dass der Erdumfang bereits bekannt bzw. gemessen ist.

Strabon (II 5.39) weist ferner auf den Parallelkreis durch Rhodos hin (siehe Anhang A6), der, ebenfalls nach Eratosthenes, weiter im Westen durch die Pforten des Herakles, also durch die Meerenge von Gibraltar ($\varphi = 36^\circ 00'$), führte. Die Mitte von Rhodos lag nach Strabon 3640 Stadien vom Breitenkreis durch Alexandria entfernt.

Zwischen Alexandria ($\varphi = 31^\circ 13'$, $\lambda = 29^\circ 55'$) und Rhodos ($\varphi = 36^\circ 26'$, $\lambda = 28^\circ 14'$) beträgt der tatsächliche Breitendifferenz, berechnet mittels $1^\circ = 700$ Stadien, 3650 Stadien und die tatsächliche Entfernung zwischen beiden Orten 3780 Stadien. Dem entsprechen also beachtlich kleine Fehler der antiken Angaben.

Wie könnte ein Messgerät »skiotherikós gnomon« des Eratosthenes ausgesehen haben, das geographische Angaben mit einer derart hohen Genauigkeit ermöglichte? Das ist die Frage, der im Folgenden nachgegangen werden soll.

2 Die verschiedenen Arten von Sonnenuhren im Altertum

Dazu äußerte sich Vitruv (1. Jh. v.Chr.) im 8. Kapitel seines 9. Buches. In diesem preist er zunächst einige »Mathematiker« (neben Platon (427–347 v.Chr.) und Pythagoras (um 570 bis um 495 v.Chr.) auch Archytas von Tarent (430–345 v.Chr.), Archimedes aus Syrakus (285–212 v.Chr.) und Eratosthenes aus Kyrene), weil deren Arbeiten von großem praktischen Nutzen für die Menschen seien. Dann geht er auf Uhren ein. Seine Äußerungen zu den Sonnenuhren sind Anhang A7 zu entnehmen.

Wenn in der Neuzeit oft kategorisch behauptet wird, Eratosthenes habe eine »Skaphe« für seine geographischen Messungen benutzt, wird übersehen, wie vielfältig Gnomon-Konstrukte im Altertum waren und wie unzweckmäßig, aus messtechnischer Sicht, die Skaphe für geographische Zwecke ist. Wie sollte man mit damaligen Hilfsmitteln im Inneren einer Halbkugel ein hochpräzises Messgitter erzeugen? Und vor allem warum, wenn offensichtlich eine Einteilung von geraden Stäben bzw. ein aus einem derartigen Stab gebogener Halbkreis völlig ausreichend war?

Das Konzept des Berossos (ca. 350 v.Chr.) ist unschwer zu rekonstruieren (siehe Abb. 2); drehbar aufgesetzt auf einen (in Meridianrichtung ausgerichteten) Horizontalkreis konnten damit (Süd-)Azimut und Deklination δ der Sonne direkt gemessen werden. Spätestens für Berossos ist jedenfalls die »parallaktische« Ausrichtung (unten abgeschnitten zur Neigung des Äquators!) des Gnomons bei

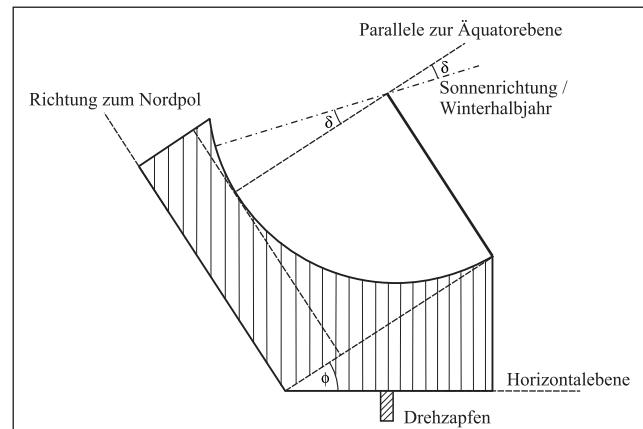


Abb. 2: Konzept des Berossos nach Vitruv

den Griechen verbürgt. Für geographische Aufgabenstellungen ist allerdings auch das Konstrukt des Berossos wenig geeignet, gut dagegen die horizontal gelegte runde Platte des Aristarchos von Samos.

Nach Vitruv haben sich nicht zuletzt die Alexandriner (Aristarchos, Apollonios) intensiv mit dem Gnomon-Konzept beschäftigt. Wie auch immer ihre Lösung für Belege der naturwissenschaftlichen Geometrie (bei Eratosthenes ein »skiotherikós gnomon«) ausgesehen haben mag, zwei Dinge haben dabei im Vordergrund stehen müssen: eine möglichst genaue Bestimmung der Meridianrichtung sowie der geographischen Breite bzw. von Breitendifferenzen. Damit war bereits Pytheas konfrontiert und mutmaßlich auch der athener Astronom Meton, ein Zeitgenosse des Sokrates (470–399 v.Chr.) und des Aristophanes (um 445–386 v.Chr.).

3 Das Messgerät des Astronomen Meton bei Aristophanes

Von dem athener Astronomen Meton ist bekannt, dass er (zusammen mit Euktemon) im Jahre 432 v.Chr. eine Reform des griechischen Kalenders vorgeschlagen hat nach dem sog. Metonzyklus: 19 Sonnenjahre = 235 Mondmonate.

Dieser Zyklus dient bis heute zur Festlegung des Datums des christlichen Osterfestes und des jüdischen Kalenders. Meton hat ferner, so wird berichtet, in Athen auf der Pnyx astronomische Messungen durchgeführt.

In seiner Komödie »Die Vögel« (Uraufführung 414 v.Chr.) zählt Aristophanes die Naturphilosophen zu den fünf Plagen des Normalbürgers (die vier anderen sind: Poeten, die schlechte Verse machen / Journalisten – Gesetzestexthändler/Juristen – Kommissare/Beamte – Wahrsager/Astrologen). Denen wollen zwei Athener durch Gründung von »Wolkenkuckucksheim« entfliehen; als die Plagen ihnen folgen, werden sie von dort hinausgeprügelt.

Als Prototyp des Naturphilosophen wählte Aristophanes den Astronomen Meton, »wohlbekannt in Hellas und

Kolonos«; die Uraufführung der Komödie fand möglicherweise noch zu dessen Lebenszeit statt. Die folgende Textstelle (Vers 998 ff.) über seinen Auftritt ist wortgetreu neu übersetzt (zur traditionellen Übersetzung siehe z.B. Aristophanes: *Die Vögel*; Reclam).

Pisthetairos: *Nun sage, was sind denn das für Dinge?*

Meton: *Kanones der Luft. Denn die Luft ist zum Beispiel der Idee nach als Ganzes am ehesten wie ein Pnigeus. Ich setze nun den Kanon hinzu und von oben diesen gekrümmten Diabetes hinein [in den Pnigeus?]. Verstehst du?*

Pisthetairos: *Ich verstehe nicht.*

Meton: *Mit dem geraden Kanon werde ich messen, ihn hinzusetzend, damit dir der Kreis vierseitig und in der Mitte ein Platz werde, zu dem gerade Wege führend sind, zur Mitte selbst, so als ob die überall geraden Strahlen eines kreisförmig seienden Sternes [Sonne] leuchten.*

Pisthetairos: *Der Mensch ist ein Thales.*

Das Verständnis des Textes hängt wesentlich davon ab, welche Bedeutung die Worte Kanon, Pnigeus und Diabetes haben. Mit Kanon bezeichneten die Griechen einen Stab bzw. ein Maßlineal, in der Musiktheorie beispielsweise das Monochord. Mit Pnigeus bezeichneten sie einen (Glut-)Ersticker; in Form eines kegelförmigen Aufsatzes auf einem zylinderförmigen Aschenbecher wird er bis heute in Südeuropa als Touristensouvenir verkauft. Mit Pnigeus spielt Aristophanes also offensichtlich auf den Polos, den Schattenkegel an.

Für das Verständnis von Aristophanes, »Die Vögel« Vers 1003, ist letztendlich das Substantiv *diabetes* von ausschlaggebender Bedeutung. Daher sollen kurz die wichtigsten Zeugnisse der Antike dafür geprüft werden, ausgehend von dem mit der Messtechnik vertrauten Heron.

In seiner Schrift über die Dioptra verwendet Heron (mutmaßlich 1. Jh. n.Chr.) in den Kapiteln VIII, X, XII, XIII, XIV elf Mal den Ausdruck »*pros diabeten*« (gemäß dem *diabetes*). Er wird von Schöne stets übersetzt »in horizontaler Ebene« (der Zwischenraum zwischen zwei Punkten), meist in dem Kontext »*to metaxy auton diaistema labein to pros diabeten*«, von Schmidt übersetzt durch »Abstand nach der Setzwaage«. Nach Schmidt (1935, S. 56) handelt es sich hierbei um ein in Ägypten sehr früh nachweisbares Instrument zur Festlegung einer horizontalen Geraden von einer Form, wie in Abb. 3 gezeigt.

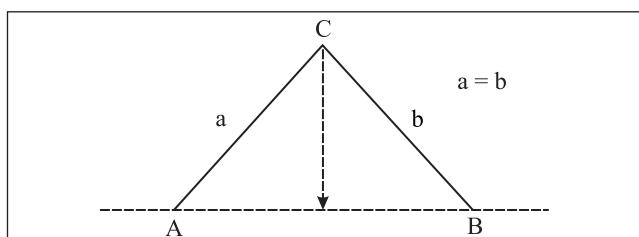


Abb. 3: Diabetes oder Setzwaage

Das aus zwei gleichlangen Stäben abgebildete gleichschenklige Dreieck ABC steht auf einer geraden Leiste AB. Die Leiste ist genau dann horizontal, wenn sich das Lot in der Mitte zwischen A und B einspielt. Wegen der gleichlangen Schenkel wurde das Wort *diabetes* möglicherweise auch für einen entsprechend konstruierten Zirkel mit gegeneinander drehbaren Schenkeln benutzt.

Es gibt weitere Literaturstellen, in denen das Wort benutzt wird. Die Scholien zu Homer »Ilias« 2,765 erläutern die homerische *staphyle* (= Senkblei (einer Wasserwaage), Bleilot) durch *diabetes*. Bei Platon »Philebos« 56b heißt es von der Baukunst, sie verwende *kanon* (Richtscheit), *tornos* (Kreisstift; ein Werkzeug zum Zeichnen eines Kreises), *diabetes* und *stathme* (= Schnur). Plutarch (um 46–120 n.Chr.), »Moralia« 2,802 f., spricht von scharfen Gedanken und Perioden, die aufs Genauste nach *kanon* (Lineal) und *diabetes* (Zirkel) ausgearbeitet seien. In Aristophanes »Die Wolken«, Vers 178 heißt es: *Kampas obeliskon eta diabeten labon* (»er bog den Bratspieß dann, ihn als Diabetes nehmend«). Dementsprechend vermerken die Scholien dazu: »Der *diabetes* ist ein für viele Künste nützliches Instrument, dem Buchstaben Lambda ähnlich. Setzt man dessen einen Teil ein (*entithentes*) und führt den anderen herum, beschreibt man Kreise«.

Wenn Meton ein allen vertrautes Werkzeug, einen (um 90° aufgebogenen) *diabetes*, allen ersichtlich falsch verwendet hat, indem er ihn horizontal anstatt auf seine beiden Spitzen auf eine seiner Seiten hinstellte, löste das bei den Zuschauern sicherlich schallendes Gelächter aus. Und das ist letztendlich der Zweck einer Komödie.

4 Folgerungen

Es ist naturgemäß nicht einfach, aus einem spöttisch gefärbten Text einer Komödie Rückschlüsse auf ein Messgerät bzw. auf die Messmethode des Meton zu ziehen. Es kann sich bei jeder Rekonstruktion nur um eine Hypothese handeln; aber diese sollte zum einen dem Text des Aristophanes einen vernünftigen Sinn geben, zum anderen zu einer Konstruktion führen, die messtechnisch Sinn macht, d.h. praktikabel ist.

Wenn Aristophanes den Begriff »*diabetes*« in dem oben erläuterten Sinn verwendet hat, dann gäbe es zumindest eine Konstruktion, wie in Abb. 4 skizziert, die dem Text der Komödie einen zwar spöttischen, aber auch überraschend plausiblen Sinn verleiht; Meton hätte seine Methode sicherlich wieder erkannt.

Ergibt eine Konstruktion wie in Abb. 4 auch messtechnisch Sinn? Tatsächlich sind dann – und nur dann – damit auch bei sehr niedrig stehender Sonne oder bei so genannter parallaktischer Ausrichtung immer sehr exakte Schattenmessungen möglich; denn der Kanon fängt den Schatten des Gnomon-Diabetes auf.

Natürlich könnte man einen drehbaren Halbkreis wie Berossos benutzen und so auch die Deklination der Son-

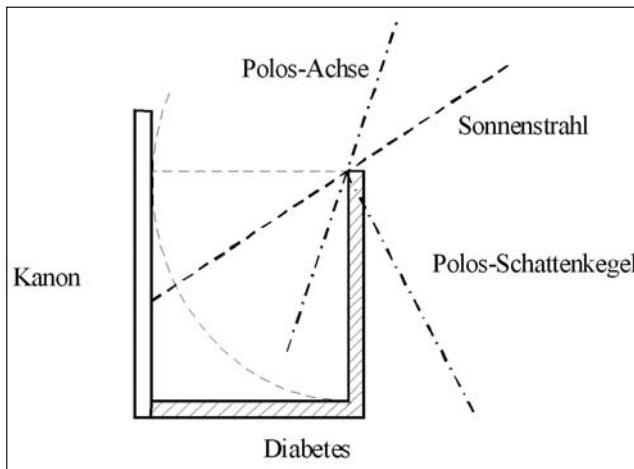


Abb. 4: Kanon und Diabetes, Polos und Sonnenstrahl

ne direkt im Winkelmaß ablesen. Das wurde aber von griechischen Geographen wie Pytheas nicht gemacht; sie haben zur Festlegung der geographischen Breite keinen Winkel, sondern »Gnomon-Zahlen« angegeben.

Setzt man ein derartig einfaches, drehbares Konstrukt wie Aristarchos von Samos auf eine kreisförmige Platte, deren Rand in 24 Teile unterteilt ist, kann man, wenn die Nullmarke der Plattenmarkierung in Meridianrichtung ausgerichtet wird, unmittelbar ablesen:

- bei horizontal ausgerichteter Kreisplatte den Tangens der Zenitdistanz der Sonne am Kanon und ihr Azimut (entsprechend den 24 Winden, nach denen z.B. bei Eratosthenes der Horizontalkreis eingeteilt war) direkt als Winkel an der Kreisplatte;
- bei Ausrichtung nach dem Polos, also bei parallel zum Äquator ausgerichteter Kreisplatte (parallaktische Montierung) den Tangens der Deklination der Sonne am Kanon und die wahre Ortsonnenzeit in Stunden, wiederum als Winkel an der Kreisplatte. Zur Messung der Deklination im Winterhalbjahr muss der Kanon um 1/6 seiner Länge nach oben verlängert werden.

Ein Ergebnis der gelehrten Forschung zur Zeit des Aristophanes war die – erst später so genannte – »Quadratrix« des Hippias von Elis, die dieser um 425 v. Chr. gefunden hatte. Diese komplizierte Kurve konnte als Grundlage eines graphischen Rechengerätes (Analogrechner) dienen, um aus Gnomon-Ablesungen die Winkelwerte und umgekehrt zu bestimmen (Lelgemann 2001, S. 122). Möglicherweise war die spöttische Bemerkung »damit Dir der Kreis viereckig werde« auch darauf gezielt. Unbegreiflich blieb wohl dem Aristophanes, warum Meton unbedingt mit einem Kanon und nicht mit einem Halbkreis (nach dem Konzept des Berossos) messen wollte.

Szabo (1992, S. 63) betont, dass in der griechischen Antike zweierlei Stundenzählungen des Tages nebeneinander benutzt wurden:

- Stunden variabler Länge je nach Jahreszeiten (*horai kairikai*)
- Äquinoktialstunden/wahre Ortsonnenzeit (*horai isemerinae*).

Letztere konnten mit einem nach dem Polos ausgerichteten Instrument direkt gemessen werden. Erstere konnten mit einer horizontal ausgerichteten Kreisplatte gemessen werden, wenn man die Richtung von Auf- und Untergang der Sonne beobachtet und den dazwischen liegenden Winkel durch 12 teilt.

Hatte Anaximander (um 610–546 v. Chr.) einen derartigen »Gnomon« in Sparta errichtet (Szabo 1992, S. 71), dann konnte er in parallaktischer Montierung nicht nur die Äquinoktialstunden direkt messen. Auch die Zeiten der Tagundnachtgleichen (Frühjahrs-/Herbstanfang) spielten dabei eine zentrale Rolle, denn zu diesen Epochen »wendet« sich der Schattenkegel, von einer Ausrichtung zum Nordpol (im Sommer) zu einer Ausrichtung zum Südpol (im Winter) und umgekehrt.

Wäre der von Anaximander errichtete »Gnomon« dagegen nur ein einfacher Stab/Obelisk gewesen (haben die altgriechischen Historiker den Anaximander deshalb so hoch gerühmt, weil es ihm gelungen war, in Sparta einen Stab senkrecht hinzustellen?), hätte Anaximander bereits über fast unglaubliche geometrische Kenntnisse verfügen müssen, um aus den Daten beispielsweise die Epochen der Tagundnachtgleichen bestimmen zu können (siehe dazu Szabo 1992, S. 91).

Gleichgültig, ob es sich um einen uralten Instrumententyp oder um eine moderne Neuerfindung eines der Autoren handelt, es ist jedenfalls ein geniales Instrument, mit dem man alle fünf messbaren Winkel des nautischen Dreiecks der Sonne ohne Mühe direkt messen kann.

5 Moderne Messungen mit einem antiken Instrumententyp

Um einen ersten Eindruck über die erreichbare Messgenauigkeit und mögliche Instrumentalfehler zu erhalten, wurde ein Kanon/Diabetes-System nachgebaut. Es bestand aus einem simplen oben offenen Quadrat mit Seitenlängen von 10 cm; die rechte vertikale Leiste und die Grundleiste wurden mit einem einfachen Millimetermaßstab versehen, das Ganze drehbar vertikal/horizontal aufgestellt.

Akkurate Messergebnisse waren dann zu erzielen, wenn ein Nullpunkts-Offset für die Messskala und ein Offset für den horizontalen Abstand Gnomon/Maßstab eingeführt wurden. Als Beispiel ist in Tab. 1 eine von mehreren durchgeföhrten Messreihen angegeben. Als wahre Werte wurden zum Vergleich moderne Sonnenephemeriden benutzt; die Daten wurden ganz simpel mittels des halben Sonnendurchmessers (das sind 16') auf den Sonnenmittelpunkt reduziert. Bei Breitendifferenzmessungen fallen die Offsets heraus. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 angegeben.

Beeindruckend war die Schärfe des Schattens auch bei sehr niedrig stehender Sonne; Ablesungen mit der Genauigkeit 1/10 Millimeter waren möglich. Auch die Horizontalkomponente der scheinbaren Bewegung der Sonne

Tab. 1: Messung mit dem Schattenfänger (Soll-Höhenwinkel = berechnete Sonnenhöhe reduziert um 16')

Datum: 15.8.2000
 Ort: TU Berlin, Pfeiler 1726
 Breite: 52°30'47" Nord
 Länge: 13°19'45" Ost

- 1: Ablesung [mm]
- 2: Uhrzeit MESZ [h:m:s]
- 3: Soll Höhenwinkel [Grad]
- 4: Sollablesung [mm]
- 5: Verbesserung (4–1) [0,1 mm]
- 6: korrigierter Höhenwinkel [Grad]
- 7: Differenz (3–6) [Minuten]

Tab. 2: Ergebnis der Ausgleichung über Sollwerte

Höhenindex	Gnomonlänge	mittl. Diff.	mittl. Fehler
[mm]	[mm]	[Minuten]	[Minuten]
0,047	100,152	-2,5	±2,4

infolge der Erdrotation machte sich bereits nach ca. 20 Sekunden durch die Schattenwanderung bemerkbar. Die erstaunlich hohe Genauigkeit entspricht der eines modernen Sextanten.

Vor einem Jahr wurde ein etwas modifizierter Typ des Instrumentes gebaut mit Seitenlängen von 120 mm und einer Kreisscheibe mit 24 Stundenteilung (24 »Winde«), die Stunden unterteilt in 15 Vierminutenvierte, d.h. die ganze Scheibe in 360° (siehe Abb. 5). Im Rahmen von Seminararbeiten etc. soll der Einfluss systematisch wirkender Instrumentenfehler und Aufstellfehler (z.B. nicht korrekte Ausrichtung in der Vertikalen, nicht korrekte

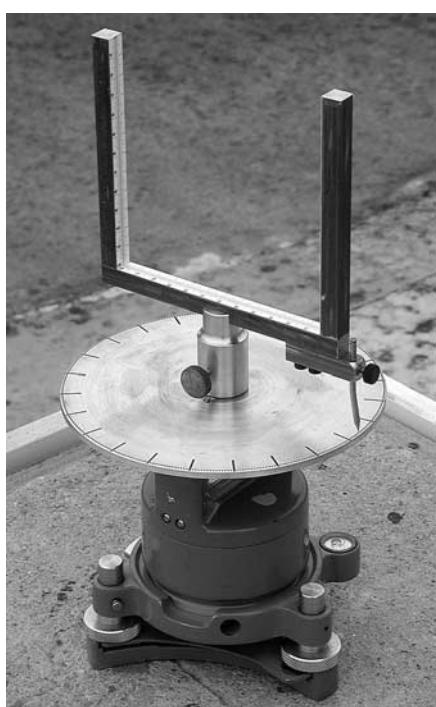


Abb. 5:
Schattenfänger
in horizontaler
Montierung

1	2	3	4	5	6	7
16	06:58:54	9,02	15,95	-1	9,10	-5
17	07:02:44	9,59	16,97	0	9,66	-4
18	07:06:38	10,17	18,01	0	10,21	-3
19	07:10:06	10,68	18,94	-1	10,77	-5
20	07:13:22	11,17	19,83	-2	11,32	-9
21	07:17:26	11,78	20,93	-1	11,87	-5
22	07:21:33	12,40	22,06	1	12,41	-1
30	07:49:35	16,63	29,96	0	16,70	-4
32	07:56:25	17,67	31,94	-1	17,74	-5
33	08:00:08	18,23	33,03	0	18,26	-2
34	08:03:35	18,75	34,05	0	18,78	-1
35	08:06:56	19,26	35,04	0	19,29	-2
36	08:10:16	19,77	36,03	0	19,79	-2
37	08:13:22	20,24	36,97	0	20,30	-4
38	08:17:05	20,80	38,09	1	20,80	0
39	08:20:10	21,26	39,02	0	21,30	-2
40	08:22:57	21,68	39,87	-1	21,79	-7
41	08:26:40	22,24	41,01	0	22,29	-3
42	08:30:10	22,77	42,09	1	22,77	0
43	08:33:00	23,20	42,97	0	23,26	-4
44	08:36:26	23,71	44,04	0	23,74	-2
45	08:39:30	24,17	45,00	0	24,22	-3
46	08:42:44	24,66	46,02	0	24,69	-2
47	08:45:55	25,13	47,03	0	25,16	-2
48	08:49:00	25,59	48,02	0	25,63	-2
49	08:52:08	26,06	49,02	0	26,09	-2
50	08:55:33	26,57	50,13	1	26,55	1
51	08:58:40	27,03	51,14	1	27,01	1
52	09:01:25	27,43	52,03	0	27,46	-2
53	09:04:46	27,93	53,13	1	27,91	1
54	09:07:50	28,38	54,14	1	28,35	1
55	09:10:48	28,81	55,13	1	28,79	1
59	09:22:22	30,49	59,02	0	30,52	-2
60	09:24:55	30,86	59,88	-1	30,95	-5
64	09:36:53	32,56	64,00	0	32,60	-2
65	09:39:28	32,92	64,90	-1	33,00	-5
66	09:42:26	33,34	65,93	-1	33,40	-4
67	09:45:52	33,82	67,14	1	33,80	1
68	09:48:12	34,14	67,96	0	34,19	-3
69	09:50:48	34,50	68,87	-1	34,58	-5
70	09:53:13	34,83	69,73	-3	34,97	-8
75	10:08:13	36,85	75,11	1	36,85	0
76	10:10:57	37,21	76,09	1	37,21	0
77	10:13:46	37,58	77,12	1	37,57	0
78	10:16:00	37,87	77,93	-1	37,93	-4
79	10:18:57	38,25	79,00	0	38,28	-2
80	10:21:02	38,52	79,76	-2	38,63	-7

Ausrichtung der Nullrichtung des Teilkreises in Meridianrichtung usw.) untersucht werden.

Eindeutig ist jedenfalls: Für geodätisch/geographische Zwecke (Festlegung der Meridianrichtung, Bestimmung der geographischen Breite und der Breitendifferenzen) wäre eine derartige Konstruktion die messtechnisch mit Abstand beste Lösung gewesen. Sollten die berühmten Alexandriner (Aristarchos, Archimedes, Eratosthenes) das nicht erkannt haben? Die hohe Genauigkeit der antiken Breitenangaben für Massilia, Meroë/Syene, Alexandria, Rhodos und Syrakus verlöre jedenfalls mit einem derartigen Instrument jedwede Mystik.

6 Das »Schattenquadrat«

Es ist natürlich nicht zu erwarten, dass man ein archäologisches Fundstück eines sicherlich nur von wenigen Wissenschaftlern benutzten Messinstrumentes entdecken

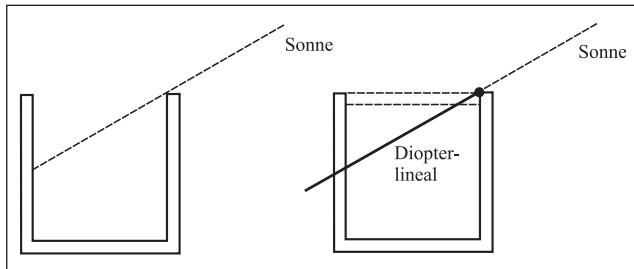


Abb. 6: »Schattenquadrat« (Prinzipskizzen)

wird. Andererseits sollte man erwarten, dass das einfache und geniale Konzept eines derartigen Instrumentes auch in späteren Zeiten nicht vergessen wurde. Tatsächlich findet man es in Form des so genannten »Schattenquadrates«. »Es ist ein irgendwie hergestelltes Quadrat mit einem um eine Ecke drehbaren Visierlineal, seltener einem Senkel als ›Zeiger‹. Die beiden dem Drehpunkt gegenüberliegenden Seiten sind gleichmäßig geteilt, wie die Gnomone« (Schmidt 1935, S. 241). Als »Schattenquadrat« hatte ein derartiges Instrument seine Form also etwas geändert; ein um die Ecke drehbares Visierlineal war hinzugekommen, sodass man nicht mehr auf den Sonnenschatten als Messhilfsmittel angewiesen war. Bei Schmidt (1935, S. 244) liest man dazu:

»Die Bezeichnung ›Schatten‹ für die Abschnitte auf den geteilten Seiten des Quadrates ist von den älteren Höhenmessungen mittels eines Stabschattens übertragen. Meist handelt es sich bei unserem Instrument um visierendes Messen. Wenn man die Sonnenstrahlen benutzt, wird in der Weise eingestellt, dass man sie durch die beiden Absehen des Visierlineals gehen lässt.

Der horizontale Schatten heißt im Arabischen ›al-zill-basit‹ oder ›al-mabsut‹ d. i. ausgebreiteter oder ›al-mustawi‹, d. i. ebener, im lateinischen ›umbra extensa‹, d. h. ausgebreiteter Schatten; der sen-

rechte arabisch ›al-ma'Kus‹, d. ist umgekehrter oder ›almuntasib‹ d. i. vertikaler, im lateinischen ›umbra versa‹ oder ›conversa‹, d. i. umgekehrter. Auch als kurze und lange Schatten werden beide unterschieden.

Das Instrument selbst ist das ›Schattenquadrat‹, ausführlicher das ›Quadrat der beiden Schatten‹, im Arabischen ›Zill-al-sullam‹, d. i. der Schatten der Leiter (z. B. bei al-Biruni und Abu'l Solt).

Das Schattenquadrat kommt einmal als besonderes Instrument für sich unter dem Namen ›Geometrisches Quadrat‹, dann als Zeichnung auf den Astro-labien und Quadraten vor.«

Es verbleibt Aufgabe der Wissenschaftshistoriker, die Geschichte dieses einfachen, aber genialen astro-geodätischen Messinstrumentes anhand von Literaturangaben aus Altertum und Mittelalter weiter zu klären. Zu den verschiedensten Formen, mittels denen ein Schattenquadrat realisiert wurde, siehe Schmidt (1935/Tafel XIV im Anhang).

7 Schlussbemerkungen

»It makes no sense to praise or to condemn the ancients for the accuracy or for the errors in their numerical results. What is really admirable in ancient astronomy is its theoretical structure, erected in spite of the enormous difficulties that beset the attempts to obtain reliable empirical data« (Neugebauer 1975, S. 108). Dieser Meinung des Wissenschaftshistorikers Neugebauer steht die Auffassung des Naturwissenschaftlers Lord Kelvin (1824–1907 n. Chr.) gegenüber:

»Accurate and minute measurements
seem to non-scientific imagination
a less lofty and dignified work
then looking for something new.
But nearly all the
greatest discoveries of science
have been but the rewards of
accurate measurements
and patient long continued labours
in the minute sifting of numerical results.«

Gilt Letzteres auch für die naturwissenschaftliche Geometrie des Altertums oder gilt das nur für die Neuzeit?

Zumindest der Einhaltung genauer Längeneinheiten wurde im Altertum größter Wert beigemessen. Die realen Längen von bisher ca. 870 gesammelten Maßstäben (Ellen, Fuß) lassen sich alle durch einfache Proportionen mit einer Genauigkeit von weit besser als einem Millimeter auf drei sehr alte Grundmaße zurückführen: die Nippurelle NE = 518,5 mm, den so genannten Remen der Pyramidenbaumeister R = (20/28) NE = 370,4 mm und die

auf der Statue des Gudea im Louvre abgebildete Maßeinheit GM = (20/28) R = 264,55 mm (Lelgemann 2004a).

Viele Wissenschaftler (Viedebantt 1915) gehen davon aus, dass Eratosthenes der von ihm verwendeten Stadiondefinition die Ägyptische Königselle bzw. das Gudeamaß zugrunde legte: 1 Eratosthenisches Stadion = 300 KE = 600 GM = 158,7 m. Wenn er den Erdumfang zu 252.000 Stadien = 40.000 km gemessen hat (Lelgemann 2004b, c), dann wurde in der Neuzeit eine derartige Genauigkeit erst wieder um 1800 erreicht bei der Festlegung der Längeneinheit »Meter« als 40-millionster Teil der Meridianbogenlänge.

Durch ihre hohe Nachbarschaftsgenauigkeit von im Mittel nur $\pm 10'$ = 18 km überraschen auch die Angaben in der »Geographike hyphegesis« des Klaudios Ptolemaios für die geographischen Längen und Breiten antiker Orte bzw. Geländemarken, wenn man sie nach einer einfachen Entzerrung mit der realen Lage der Orte vergleicht, wie angegeben im Barrington-Atlas. Alle dabei zunächst rein empirisch ermittelten Maßstabsfaktoren, wie beispielsweise 500:700 für West- und Nordeuropa und für Asien östlich des Tigris, lassen sich auf die verschiedenen Stadiondefinitionen des Altertums zurückführen.

Auch größere systematische Verzerrungen lassen sich klären. Beispielsweise folgt Ptolemaios der (grob fehlerhaften) Angabe des Hipparch für die Breite von Byzanz (Anlage A3). Mit $z = \arctan(41,8 : 120) = 19^\circ 12'$ und dem von Eratosthenes gemessenen genauen Wert für die Schiefe der Ekliptik zu $\varepsilon = (1/2)(11/83)$ Kreisumfang = $23^\circ 51'$ erhält man die Breite zu $\varphi = z + \varepsilon = 19^\circ 12' + 23^\circ 51' = 43^\circ 03'$. Ptolemaios gibt in seiner »Geographike hyphegesis« für die geographische Breite beider Orte genau diesen Wert an, nämlich $\varphi = 43^\circ 05'$ (siehe Stevenson 1932). Eine sachgerechte und detaillierte Untersuchung aller Zahlenangaben in der »Geographike hyphegesis« ist derzeit in Arbeit.

Wenn antike Zahlenangaben bei Strabon und Ptolemaios so genau mit der Realität übereinstimmen, dann müssen die Griechen spätestens seit den Alexandrinern, also seit 300 v. Chr., genauen Messdaten größten Wert beigemessen haben. Parallel zu einer Analyse der überlieferten genauen Ergebnisse bleiben dann die mutmaßlichen Konstrukte von Messgeräten zu klären, die derart genaue Messergebnisse ermöglichten, sowie die geometrischen Konstrukte, mittels deren genauen Messdaten und genaue Resultat-Daten im Altertum verknüpft werden konnten.

In diesen größeren Zusammenhang ordnet sich die vorgelegte Rekonstruktion des mutmaßlichen Messinstruments ein. Die dazu verwendeten bibliographischen Angaben aus dem Altertum sind gewiss spärlich; ihre widerspruchsfreie und sachgerechte Verknüpfung durch Gräzisten und moderne Sachexperten für Messtechnik ergibt nunmehr langsam aber sicher ein durchaus vernünftiges Bild über den erstaunlich hohen Stand der naturwissenschaftlichen Geometrie im Altertum.

Literatur

- Aristophanes: Die Vögel. Übersetzt von Christian Voigt. Reclam, UB 1379. Stuttgart 2002.
 Herodot: Geschichten und Geschichte. Übersetzt von Walter Marg. Artemis Verlag, 1973, München.
 Knobloch, E., Lelgemann, D., Fuls, A.: Zur hellenistischen Methode der Bestimmung des Erdumfanges und zur Asienkarte des Klaudios Ptolemaios. ZfV, 3, 2003, S. 211–217.
 Lelgemann, D.: Eratosthenes von Kyrene und die Messtechnik der Alten Kulturen. Ein Essay. Chmielorz, 2001, Wiesbaden.
 Lelgemann, D.: Recovery of the Ancient System of Foot/Cubic/Stadion-Length Units. FIG-Proceedings, Athens 2004a.
 Lelgemann, D.: On the Ancient Determination of the Meridian Length by Eratosthenes of Kyrene. FIG-Proceedings, Athens 2004b.
 Lelgemann, D.: Antike geographische Literaturangaben und die Stadion-Definitionen des klassischen Altertums. Ordo et Mensura VIII, Scripta Mercaturae Verlag, 2004c.
 Lewis, M. J. T.: Surveying Instruments of Greece and Rome. Cambridge University Press, 2001.
 Liddell, H. G., Scott, R.: Greek-English Lexicon. New (9.) ed., rev. and augmented throughout by Henry Stuart Jones with assistance of Roderick McKenzie. Oxford, Clarendon Press 1996.
 Neugebauer, O.: A History of Ancient Mathematical Astronomy. Bd. I–III, Springer, Berlin 1975.
 Ptolemy, C.: »Geographike hyphegesis« (The Geography). Translated by E. L. Stevenson 1932. Nachdruck 1991, Dover.
 Schmidt, F.: Geschichte der geodätischen Instrumente und Verfahren im Altertum und Mittelalter. Wittwer, 1935, Nachdruck 1988, Stuttgart.
 Strabon: »Strabonos Geographikon« (The Geography of Strabo). Translated by H. L. Jones. Loeb, Harvard University Press, 1923/43.
 Szabo, A.: Das geozentrische Weltbild. dtv-Wissenschaft, München, 1992.
 Vettius Valens: Anthologiae (Vettii Valentis Antiocheni Anthologiarum libri novem). Edidit David Pingree. Leipzig 1986.
 Viedebantt, O.: Eratosthenes, Hipparchos, Poseidonios. KLIO, Dietrich'sche Verlagsbuchhandlung, Leipzig, 1915.
 Vitruv: Zehn Bücher über Architektur. Übersetzt und mit Anmerkungen versehen von C. Fensterbusch, Darmstadt 1964.

Anhang A

(G = griechischer Autor, L = lateinischer Autor; alle Zitate sind Originalübersetzungen der griechisch/lateinischen Texte)

- Klaudios Ptolemaios^G, Geōgraphikē hyphēgēsis I, 2.
 § 2 Da gegenwärtig die Aufgabe besteht, die zu unserer Zeit bewohnte Erde soweit wie möglich im richtigen Verhältnis zur wirklichen (Welt) darzustellen, halten wir es für notwendig, im Voraus zu erklären, dass der erste Schritt einer solchen Verfahrensweise die Erforschung durch reisende [Sachverständige] ist, weil sie die meiste Kenntnis verschafft aus den Übermittlungen derer, die mit einer zum Erkennen fähigen Aufmerksamkeit zu den einzelnen Ländern gelangt sind. Dann, dass zur Erkundung und Übermittlung einerseits der Bereich der Geometrie [Erd- bzw. Landvermessung] gehört, andererseits der Bereich der Meteoroskopie* [Beobachtung der Himmelserscheinungen]. Der Bereich der Geometrie ist das, was durch die bloße Messung der Entfernung die Po-

sitionen der Orte zueinander aufzeigt, der Bereich der Meteoroskopie ist das, was durch die Phänomene von »astrolaboi« [Sing.: *astrolabos*] und »skiothēra« [Sing.: *skiothēron*] als Messinstrumente (die Positionen der Orte zueinander aufzeigt). Letzterer ist gleichsam etwas für sich selbst ausreichendes und weniger dem Irrtum ausgesetzt, jener aber [der Bereich der Geometrie] gleichsam umfassender, aber des letzteren zusätzlich bedürfend.

§ 3 Es ist nämlich zuerst notwendig, in jeder der beiden Verfahrensweisen zugrunde zu legen, nach welcher Himmelsrichtung die Entfernung zweier in Frage stehender Orte gerichtet ist.

Denn man muss nicht nur einfach wissen, wie viel der eine (Ort) vom andern entfernt ist, sondern auch in welcher Richtung, d.h. nach Norden, lässt uns sagen, oder nach Osten oder nach den noch gründlicher als diese unterteilten Horizontalrichtungen.

Es ist nicht möglich, derartiges genau zu untersuchen ohne die Beobachtung mittels der genannten Messinstrumente, durch die an jedem Ort und zu jeder Zeit leicht die Richtung der Meridianlinie angezeigt wird, und durch diese die (Richtungen) der durchquereten Entfernung.

2. Strabon^G, Geographika I, 4, 1

Ob sie [die Erde] aber so groß ist, wie er selbst [Eratosthenes] gesagt hat, [darin] stimmen ihm die Späteren nicht zu, und sie billigen auch seine Messung nicht.

Dennoch gebraucht Hipparchos für die Angabe der Phänomene in den einzelnen Wohnstätten zusätzlich jene Entfernungen [des Eratosthenes] auf dem Meridian durch Meroe und Alexandria und den Borysthenes [Dnjepel], nachdem er gesagt hat, dass sie nur wenig von der Wahrheit abweichen.

3. Strabon I, 4, 4

Das Verhältnis nämlich von *Gnōmōn* zum Schatten, das Pytheas für Massalia [Marseille] angegeben hat, dasselbe hat Hipparchos nach seiner Aussage zum gleichnamigen Zeitpunkt in Byzantion gefunden.

4. Strabon II, 5, 24

siehe Anhang B 1.

5. Strabon II, 5, 38

In Alexandria hat der *Gnōmōn* ein Verhältnis zum Äquinoktialschatten von 5 zu 3.

6. Strabon II, 5, 39

Auf der Peloponnes und um die mittleren Regionen von Rhodos und um Xanthos in Lykien oder die Gegenden ein wenig südlicher und ferner die Gegenden vierhundert Stadien südlicher als Syrakus – dort hat der längste Tag vierzehn und eine halbe Äquinoktialstunden. Diese Orte sind von Alexandria dreitausend sechshundert und vierzig Stadien entfernt; und dieser Parallelkreis verläuft nach Eratosthenes durch Karien, Lykaonien, Kataonien,

Medien, die kaspischen Pforten und die Inder längs des Kaukasus.

7. Vitruvius^L, de architectura IX, 8, 1, [Zitat mit Ergänzungen]

Den Halbkreis, ausgehöhlt aus einem Quadrat, unten abgeschnitten zur Neigung des Äquators, soll der Chaldäer Berosos [345–270 v. Chr.] erfunden haben; die »scaphe« [»Wanne, Trog, Schale«] oder Halbkugel Aristarchos von Samos [ca. 320–250 v. Chr.], ebenso auch die horizontal gelegte runde Platte; eine »arachne« [»Spinnennetz«] der Astronom Eudoxos [von Knidos, 395–342 v. Chr.], einige sagen Apollonios [von Perge, etwa 260–190 v. Chr.]; eine »plinthium« [»kleiner Ziegel«, v. griech. *plinthos*] oder »lacunar« [»Kassettendecke«], wie eine auch im Circus Flaminius aufgestellt ist, Skopinas aus Syrakus [sonst unbekannt]; eine »pros ta historumena« [»zu dem, was besucht wird«, d.h. möglicherweise für die bekanntesten Breiten] Parmenion [möglicherweise der Architekt des Serapiums in Alexandria], eine »pros pan klima« [»zu jeder Breite«] Theodosios [aus Tripolis in Lydien] und Andrias [sonst unbekannt], Patrokles [mögl. ein geogr. tätiger Statthalter des Seleukos Nikator] eine »pelecinum« [»in Gestalt eines zweischneidigen Beiles«, v. griech. *pelekys*], Dionysodoros [aus Melos, Geometer zwischen Eratosthenes und Strabon, oder D. aus Amisene, 2./1. Jh. v. Chr., Verfasser eines verlorenen Werkes »peri tēs speiras«] eine »conus« [»Kegel«], Apollonios eine »pharetra« [»Köcher«]. Auch andere Arten haben sowohl die, die oben erwähnt sind, als auch mehrere andere als Erfindungen hinterlassen, wie die »conarachne« [»kegelförmiges Spinnennetz«]; Konjektur von Marini, überliefert: conarchenen], die »conicum plinthium« [»kegelförmiges Plinthium«]; Konjektur von Rose, überliefert: conatum], die »antiboreum« [»gegen Norden gekehrt«]. Ebenso haben mehrere darüber, wie man aus diesen Arten hängende [d.h. transportable] Reiseuhren machen kann, Schriften hinterlassen.

* Anm.: Proklos^G (410–484 n. Chr.) nennt als zur Astronomie gehörende Teilgebiete die *Gnomonik*, die Meteoroskopie und die *Dioptrik*, wobei er diese Disziplinen folgendermaßen definiert:

Die *Gnomonik* beschäftigt sich mit dem Ausmessen von Stufen durch das Aufstellen von Gnomonen, die Meteoroskopie ermittelt die Unterschiede der Höhen und die Abstände der Sterne und lehrt vieles anderes verschiedener Art von den astronomischen Lehrsätzen, die *Dioptrik* untersucht die fünf Abstände der Sonne und des Mondes und der anderen Sterne durch derartige Instrumente.

(Procli Diadochi in primum Euclidis Elementorum librum commentarii. Ex recognitione Godofredi Friedlein, p. 41 sq., Leipzig 1873, Reprint Hildesheim 1992)

Anhang B: Antike Quellen zum Messgerät »skiothēron«

Die Bezeichnung »skiothēron« für das von den antiken Geodäten und Astronomen gebrauchte Messgerät setzt sich aus dem Substantiv *skiá*, »Schatten«, und dem Verb *thérāō*, »jagen, fangen«, zusammen und bedeutet so viel wie »Schattenfänger«.

Bei den einzelnen Autoren erscheinen verschiedene Varianten des Namens. Im Folgenden sind die Angaben aus der antiken Literatur zum »skiothēron« zusammengestellt.

1. Strabon^G, Geographika II, 5, 24

Die Seepassage von Rhodos nach Alexandria ist mit Nordwind ungefähr 4000 Stadien, die Fahrt entlang der Küste doppelt so lang. Eratosthenes aber sagt, dass dies die Meinung der Seeleute über die Seepassage sei, wobei die einen es so sagen, die anderen aber auch nicht zögern zu behaupten, es seien fünftausend; er selbst aber habe durch die »skiothērikoī gnōmones« [Singular: skiothērikoī gnōmōn] 3750 (Stadien) gefunden.

2. Vitruvius^L, de architectura I, 6, 6

Man lege nach der *libella* [Setzwaage, d. h. waagerecht] eine glatte Marmorscheibe in der Mitte der Stadt hin oder man glätte die Stelle so nach *regula* [Lineal] und *libella*, dass eine glatte Scheibe nicht benötigt wird, und über den Mittelpunkt dieser Stelle setze man einen bronzenen »gnomon« als Aufspürer des Schattens, der griechisch »skiothērēs« genannt wird.

3. Plinius d. Ä.^L (23/24 n. Chr. bis 25.8.79 n. Chr.), Naturalis historia II, 76

Diese Lehre von den Schatten und die, welche man Gnomonik* nennt, hat Anaximenes aus Milet erfunden, ein Schüler des Anaximander, ..., und als erster hat er ein Horologium, welches man »sciothericon« nennt, in Sparta gezeigt.

4. Plutarch^G (um 46 bis um 120 n. Chr.), Marcellus 19

Es gibt auch eine dritte Erzählung [vom Tod des Archimedes]: Ihm begegneten Soldaten, als er von seinen astronomischen Instrumenten »skiothēra«, Sphären und Winkelmesser, womit er die Größe der Sonne der »opsis« [visueller Eindruck] anpasste, zu Marcellus trug; diese töteten ihn in der Meinung, er trage Gold in seinem Kasten.

5. Kleomedes^G (vermutl. 1. Jh. n. Chr.), Kyklikē theōria meteōrōn I, 5

Von dem durch Lysimachia und Syene verlaufenden Meridian aber ist der 15. Teil der Bogen vom Drachen bis zum Krebs, wie es jedenfalls durch die »skiothērikoī [oder Neutr. Plur. »skiothērikā«] gezeigt wird.

* siehe Anhang A, Anm.

6. Klaudios Ptolemaios, Geōgraphikē hyphēgēsis I, 2, 2
Der Bereich der Meteoroskopie ist das, was durch die Phänomene von »astrolaboi« und »skiothēra« als Messinstrumente (die Positionen der Orte zueinander aufzeigt). (vgl. Anhang A1.)

7. Klaudios Ptolemaios, Geōgraphikē hyphēgēsis I, 3, 1
Indem sie [die vor uns] mittels der »skiothera« auf die »gegenüberliegenden Punkte« der zwei Enden der geraden Entfernung achteten, ...

8. Scholion Nr. 2 in Ptolemaeum^G, cit. Nobbe (Nobbe, C.F.A.: Claudii Ptolemaei Geographia. 3 vols., Leipzig 1843–1845; Reprint Hildesheim 1966, p. 6)
Ein »skiothēros« bildet eine von vier Dreiecken umschlossene Pyramidenform, wobei die Dreiecke einen rechten Winkel umstellen, durch den [nämlich den »skiothēros«] wir die Südrichtung erhalten.

9. Scholia in Luciani Lexiph.^G, 2–4 (Scholia in Lucianum, ed. Hugo Rabe, Leipzig 1906)
»gnōmōn« nennt er den sich in der Mitte des »skiothērion« der »skaphē«, d. h. des Horologiums erhebenden kleinen Stab, der durch seinen eigenen Schatten die Stunden anzeigt.

10. Diogenes Laertios^G (1. Hälfte 3. Jh. n. Chr.), De vitis philosophorum II, 1
Er [Anaximandros] erfand als erster den gnōmōn [Schattenstab], und stellte ihn in Sparta auf die »skiothēra«, wie Favorinus in seiner »Bunten Geschichte« berichtet; er zeigt Sonnenwenden und Tagundnachtgleichen an.

11. Suidas^G (byzantinisches Lexikon d. 10. Jh.; Ausg.: Lexicographi Graeci. Recogniti et apparatu critico instructi. Vol. 1: Sudae Lexicon, ed. Ada Adler, Pars. 4, p. 380. Leipzig 1935)
skiothēra: Form eines Schiffes

Anschrift der Autoren

Prof. Dr.-Ing. Dieter Lelgemann
Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik
Astronomische und physikalische Geodäsie
Technische Universität Berlin
Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin

Prof. Dr. phil. Eberhard Knobloch
Institut für Philosophie, Wissenschaftstheorie und Technikgeschichte
Technische Universität Berlin
Ernst-Reuter-Platz 7, 10587 Berlin

M. A. Andreas Kleineberg
Technische Universität Berlin
Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik
Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Fuls
Technische Universität Berlin
Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik
Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin