

Vom gewölbten Himmel zur runden Erde

Argumente aus der Frühgeschichte der Astronomie

Pierre Leich, 15.2.95, c (Sonderdruck)

Im folgenden Beitrag möchte ich fragen, ob sich die Menschen zunächst darüber klar wurden, daß ihr Heimatplanet eine Kugel ist und dann Hypothesen über die Gestalt des Himmels ersannen oder ob sie erst die Himmelskugel als rund betrachteten und danach dies auf die Erde übertrugen.

Aus heutiger Sicht mutet diese Frage reichlich eigentümlich an. Die Kugelform der Erde ist uns in Fleisch und Blut übergegangen, während wir im Zusammenhang mit dem Raum doch eher geneigt wären zu fragen:

- ist der Raum endlich oder unendlich?
- ist er begrenzt oder unbegrenzt?
- liegt ihm eine Euklidische oder eine Riemann'sche Geometrie zugrunde?

Der letzte Punkt führt zwar zur Raumkrümmung, aber das war wohl kaum ein Problem antiker Astronomen.

Es überrascht, gute Gründe nennen zu können, daß die Kugelförmigkeit des Himmels die primäre Auffassung war und erst danach Argumentationen für die Erdkugel unternommen wurden.

Historisch-systematische Entwicklung

Horizont

Obwohl sich bereits bei Aristoteles die Legende von den am Horizont auftauchenden Segeln findet, gibt es keine Kultur, die daraufhin für die Kugelform der Erde Position bezogen hätte. Erst als diese bereits feststand kam man auf das Phänomen zu sprechen, das ohne die Erfindung des Fernrohrs höchstens einen groben Hinweis liefern konnte und eher Glaubenssache wäre.

Auch für die vorgeschichtliche Phase der Griechen galt die Erdkreisscheibe mit dem umfassenden Okeanos als ausgemachte Sache.

Gestirnsbahnen

Die beobachtbaren Wege von Sonne, Mond und Gestirnen steigen im Osten auf und bewegen sich in Parallelkreisen über einen Höchststand nach Westen. Der Lauf der Gestirne jenseits der sichtbaren Bögen war jedoch durchaus umstritten. Anaximenes von Milet war der Ansicht, »daß die Gestirne sich nicht unter der Erde bewegen, [...] sondern um die Erde herum, so wie wenn sich das Filzhütchen um unseren Kopf herum dreht. Die Sonne werde nicht verdeckt, weil sie unter die Erde gerate, sondern weil sie von den höheren Teilen der Erde überdeckt und weil ihr Abstand von uns größer werde.« (Hippolytos *Ref.* I,7,6; cf. Aristoteles *Meteor.* B1, 354a28). Heraklit von Ephesus schloß sich dieser Auffassung an, wohingegen Xenophanes aus Kolophon die Gestirne für glühende Wolken hielt, die sich in der Nacht wie Kohlen entzünden. Auch die Sonne entzünde sich jeden Tag im Osten neu und erlösche im Westen.

Halbkugel

Einigkeit bestand über die Annahme einer himmlischen Halbkugel. Sie schien qualitativ auch dadurch gerechtfertigt, daß bei Annäherung an den nördlichen Rand des Himmels Sternbilder, die zuvor im Zenit lagen, nun – wie wenn man unter der Zimmermitte durchschreitet – nach Süden verschoben waren.

Himmelskugel

Der Vergleich von Himmelsbeobachtungen verschiedener geographischer Breiten brachte jedoch ein schlagendes Argument, daß der

Himmel eine Kugel sein müsse. Auf dem Weg zum Nordpol nahm nämlich die Zahl derjenigen Sterne stets zu, welche ihre Bögen über dem Horizont ziehen. Alternative Entzündungstheorien standen somit vor dem Problem, daß dieselben Sterne für die einen Beobachter entzündet werden müßten, während sie für andere nie untergehen.

Gnomon-Weltbild

Im sechsten Jahrhundert vZ setzte sich daher ein Weltbild durch, das wir in Anlehnung an ein elementares astronomisches Meßgerät *Gnomon-Weltbild* nennen können. Der Gnomon ist schlicht ein Schattenzeiger (in der ersten Grafik AB), der bei den Griechen seine Einführung Anaximander verdanken dürfte. Er diente jedoch nicht der Ermittlung der Tageszeit, sondern der Beobachtung der Mittagshöhen der Sonne, die im Verlauf eines Jahres mehr oder weniger nahe am Zenit liegen. BR ist somit der kürzeste, BT der längste Mittagsschatten. Bei der Tagundnachtgleiche verläuft der Sonnenstrahl über AFC. Zieht man um A einen Kreis (Meridian), so steht EAI für den Horizont und alle Strahlen lassen sich über A hinaus auf den oberen Halbkreis verlängern. LG gibt nun bspw. den Durchmesser des

Sommerwendekreises an. Aus dessen sichtbarem Teil LS läßt sich mit Sehnentafeln (Vorläufer der Trigonometrie) die Länge des längsten Tages ableiten. Dieses Verfahren ist spätestens für Hipparch belegt.

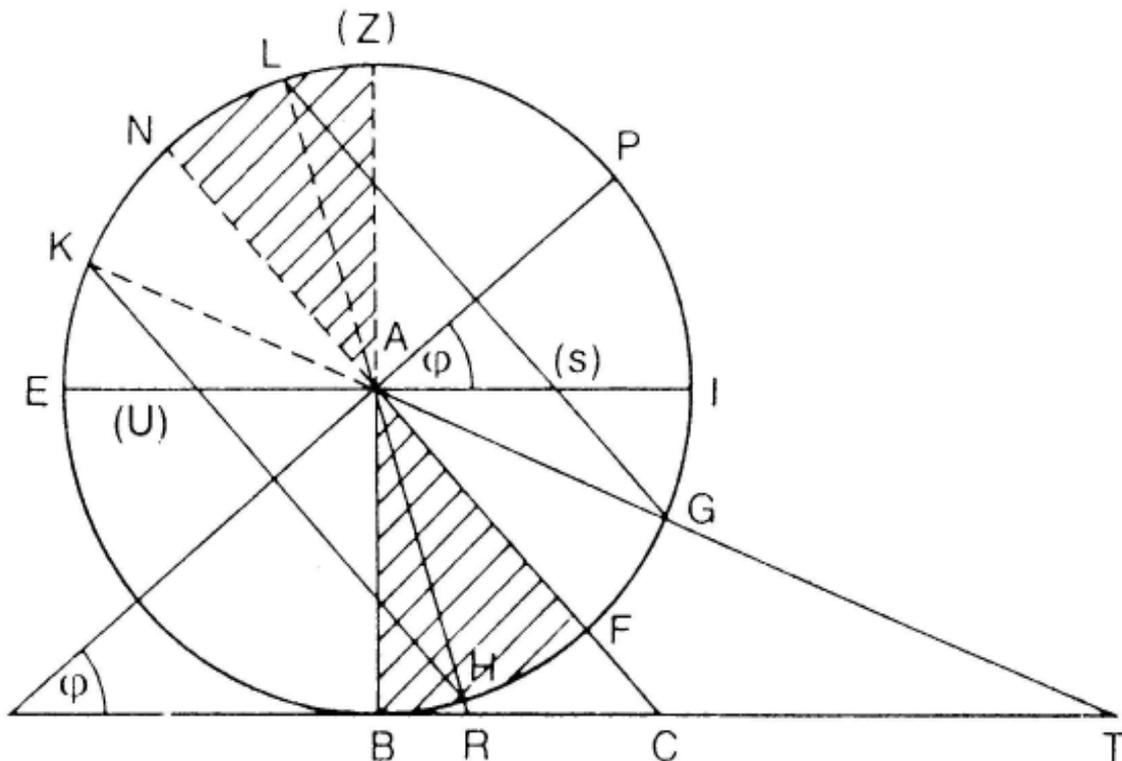
Das Gnomon-Weltbild führt zu den zentralen Begriffen der antiken Astronomie: Solstitien, Äquinoktien, Schiefe der Ekliptik (Bogen HF), Himmelsäquator (mit Durchmesser NAF), Polhöhe (Bogen PI), Meridian. Die Erde, welche symbolisch durch den Punkt A vertreten wird, ist aber nicht notwendigerweise kugelförmig.

Der Zusammenhang von Ruhe und Mitte

Der Weg zur Kugelgestalt verband sich mit zwei weiteren Traditionen:

Zum einen vertraten die Pythagoreer früh die Auffassung, daß zur Erklärung grundsätzlicher Fragen über die Natur nur ideale Zahlenverhältnisse oder geometrische Formen herangezogen werden dürften. Als Erdform kommt nur die Kugel in Betracht. Allerdings sahen die Pythagoreer weder Sonne, noch Erde im Weltzentrum.

Neben diesen spekulativen Schluß tritt eine eher physikalische Argumentation:



Das Gnomon-Weltbild des Anaximander (6. Jh. v.Z.)

Abkehrend von dem den Himmel stützenden Atlas suchten die Vorsokratiker nach einer plausiblen Begründung der Lage der Erde. Während noch Thales von Milet die Erde auf Wasser ruhen ließ, erklärten Parmenides und Demokrit, »daß die Erde allseitig den gleichen Abstand [vom Himmelsgewölbe] habe und deshalb im Gleichgewicht bleibe.« (Diels, 28 A44) Die Vorstellung, Ruhelage mit Zentrumsposition zu identifizieren, wurde gestützt durch die von Aristoteles vollendete Elementenlehre, nach der sich alles Schwere zum Mittelpunkt bewegt: »Klar ist auch, daß die Masse überall gleichmäßig werden wird, wenn sich die Teile überall von den Enden her gleichmäßig zur Mitte hin bewegen. Denn wenn überall gleichviel zugefügt wird, so muß der Abstand der Grenze zur Mitte immer derselbe sein. Und dies ist eben die Gestalt der Kugel.« (*De caelo*, 297 a 21ff.)

Die von Aristoteles zusammengefaßten Argumente reichen freilich ins 5. vorchristliche Jahrhundert zurück, sie wurden jedoch klar von der älteren Auffassung der Himmelskugel vorbereitet.

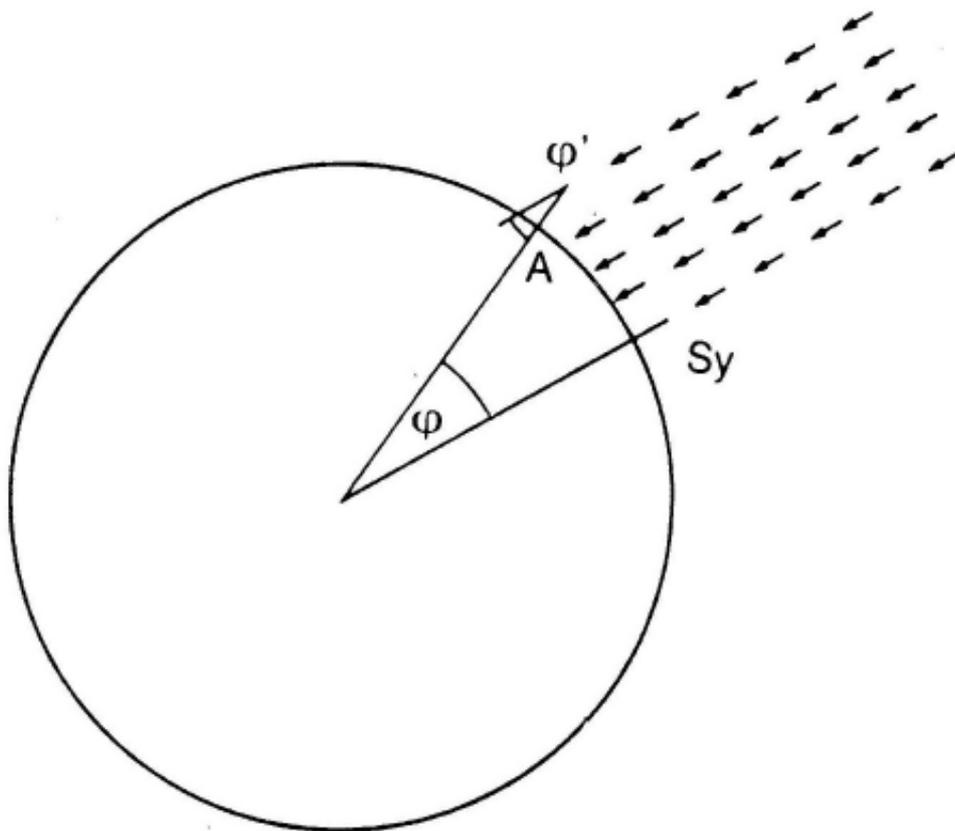
Die späten Beweise

Ist die Natur der Finsternisse erst einmal geklärt, so liefert die Schattenlinie von Mondfinsternissen einen deutlichen Hinweis. Aristoteles nennt noch die Sichtbarkeit neuer Sterne bei einer N-S-Bewegung auf der Erde und findet darüberhinaus, »daß die Hypothese nicht allzu unwahrscheinlich ist, die die Gegend um die Säulen des Herakles [= Gibraltar] mit derjenigen um Indien in Verbindung bringt und dort ein einziges Meer annimmt. Als Beweis führen sie etwa die Elefanten an.« (*De caelo*, 298 a 9ff.)

Einen echten Beweis in unserem Sinn bieten erst Eratosthenes im 3. Jh. (Kleomedes berichtet darüber in *De motu circulari*, 1, 10, 3f.) und später Poseidonios. Die Kugelgestalt war hier schon außer Frage und die Lösung galt der Größe des Erdumfangs. Ihre Überlegungen lassen sich aber in besonderer Weise als Beweis der Kugelgestalt lesen.

Rundung in N-S-Richtung

Ausgangspunkt ist die Feststellung, daß in Syene die Sonne zur Zeit des Sommer-



Die Berechnung der Erdkugel durch Eratosthenes (3. Jh. v.Z.)

solstitiums mittags im Zenit steht, während ein Gnomon, der unter demselben Himmelsmeridian in Alexandria steht, einen gewissen Schatten wirft (Grafik 2). Setzt man voraus, daß die Sonnenstrahlen die Erde parallel erreichen, was sich aus den Ergebnissen von Aristarch von Samos schließen läßt, so sind der in Alexandria gemessene Winkel φ' und φ , der einem Bogen des irdischen Meridians entspricht, Wechselwinkel und damit gleich.

φ (also auch φ') und der Abstand von Syene zu Alexandria verhalten sich daher wie der Vollkreis zum Wert des Erdumfangs. Das tatsächliche Ergebnis spielt hier keine Rolle, da heute niemand genau sagen kann, wie lange die von Eratosthenes gewählte Einheit ist, der Gedankengang ist jedoch klar und schlüssig. Die Werte, die denkbar wären, wurden erst im 17. Jh. verbessert. Nur bei Ptolemäos tritt eine Verwechslung auf, die zu einem zu kleinen Umfang führt, auf den sich später Kolumbus berufen wird.

Rundung in O-W-Richtung

Zuzugeben ist allerdings, daß strenggenommen die Krümmung in O-W-Richtung eigens zu erweisen wäre. Ptolemäos benutzt dafür den Umstand, daß eine Mondfinsternis – sie ist für alle Beobachter auf der dem Mond zugewandten Seite sichtbar – für verschiedene geographische Längen zu verschiedener Ortszeit stattfindet (*Geogr.* 1, 4, 2). Aus einer Zeitdifferenz von 6 Stunden (1 Viertel Tag) läßt sich auf eine Längendifferenz von 90° (1 Viertel Kreis) schließen. Ptolemäos bedauert selbst, daß Mondfinsternisse nicht gerade häufig sind und die Angaben der selben Finsternis an weit entfernten Orten nicht besonders präzise sind.

Die Kugelgestalt der Erde ist jedoch nie mehr vergessen worden und auch der Westweg nach Indien ist bereits in der Antike mehrfach geäußert worden.

Schluß

Die dargestellten Überlegungen zur systematischen Priorität der Kugelgestalt von Himmel oder Erde finden sich in guter Übereinstimmung mit dem Umstand, daß auch historisch Himmelsgloben einige Jahrhunderte vor Erdgloben auftauchen. Schließlich bezeugt es auch die Reihenfolge der Kapitel des ersten Buchs von Claudius Ptolemäus' *Syntaxis mathematica tres astronomias* – besser bekannt unter »Almagest«. Ptolemäus, der das Wissen seiner Zeit zusammenfaßt und den Zusammenhang seiner Kapitel sehr sorgfältig wählt, nennt vor den anderen Erkenntnissen: »Das Himmelsgewölbe hat Kugelgestalt und dreht sich wie eine Kugel.«

Standardliteratur

Hermann Diels, *Die Fragmente der Vorsokratiker. Griechisch und Deutsch*, Berlin 1903, 5. Aufl. mit Nachträgen hrsg. von Walther Kranz, Berlin 1934, 6. verb. Aufl. 1951/52 (seither unveränderte Nachdrucke; eine Übersetzung auch der A-Fragmente liefert: Wilhelm Capelle, *Die Vorsokratiker*, Leipzig 1935).

Geoffrey S. Kirk, John E. Raven, Malcolm Schofield, *Die vorsokratischen Philosophen*, Stuttgart u.a. 1994.

Arpad Szabó, *Das geozentrische Weltbild*, München 1992.

Bartel L. van der Waerden, *Die Astronomie der Griechen*, Darmstadt 1988.

Erschienen in

Regiomontanusbote, Ausgabe 3/1995,
Hrsg. Nürnberger Astronomische Arbeitsgemeinschaft, S. 26-29

Anschrift

Pierre Leich, Hastverstraße 21,
90408 Nürnberg, Tel. 0911 81026-28
leich@rt-nuernberg.de
www.pl-visit.de/pl