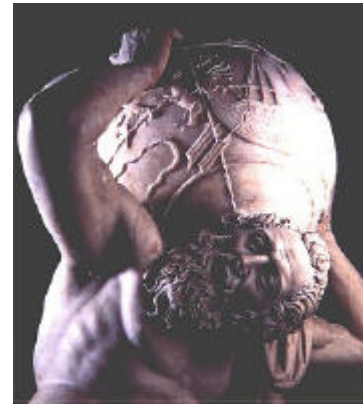


## Antike Quellen zur Gestalt und Größe unserer Erde und die Bestimmung der Erdgröße mit einfachsten Mitteln

*So ist das Wesen der Geographie mit der Astronomie und Geometrie verknüpft; sie bewirkt Irdisches und Himmlisches zur Einheit als aufs engste aneinandergrenzend und nicht voneinander geschieden, soweit der Himmel und die Erde ist. (Poseidonios, zitiert nach Strabo)*



Atlas Farnese, 2. Jahrhundert n. Chr.

Schon die Altvorderen kannten die Kugelgestalt der Erde und hatten erste Vorstellungen über ihre Größe. Die antiken Autoren führen eine große Zahl von Argumenten für die Kugelgestalt an und mit Akribie wird das Für und Wider der verschiedenen Gestalttheorien diskutiert und die beobachtbaren Hinweise auf ihre Wölbung ausgewertet. Ein Einsatz dieser Quellen bringt mehr als ein paar den Unterricht würzende historische Zitate. Der argumentative Stil, der Rückgriff auf die beobachtbaren Erscheinungen und die Ableitung einer quantitativen Meßmethode auf der Basis einer Theorie machen sie zu lebendigen Vorbildern für naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten. Neben der Vorstellung von Texten antike Naturforscher, Philosophen und Historiker in deutscher Übertragung werden auch Anregungen für schulische Experimente zur Bestimmung der Erdgröße gegeben, die sich an die alten Vorbilder anlehnen.

### A) Die Erforschung der Erdkugel in der Antike

Die dokumentierte Kenntnis um die Kugelgestalt der Erde reicht bis ins vierte, eine methodisch einwandfreie Bestimmung ihrer Größe nachweislich bis ins zweite vorchristliche Jahrhundert zurück. Bilder einer ozeanumflossenen Scheibenerde lassen sich aus den Ortsangaben in Homers Odyssee rekonstruieren (Abb. 1). Das Homer'sche Weltbild spiegelt die um 750 v. Chr. im Griechenland der ausgehenden Bronzezeit vorhandenen Kenntnisse um die Länder und Küsten des Mittelmeerraumes wider und setzt naturgemäß den Ort des Autors als bekannten Ausgangspunkt in die Mitte. Ein konkreter Hinweis, ob die „Ökumene“, der den Griechen bekannte Umkreis der Welt, als vollständige Erdscheibe oder als Ausschnitt eines größeren Ganzen auf einer gekrümmten Erdkugel zu deuten ist, ist in Homers Werken nicht zu finden. Wohl aber gibt es in der Odyssee einen Hinweis auf die langen Sommertage des Nordens.

#### **Zitat 1: Homer, Odyssee, 10. Gesang, Verse 80 – 86**

*Als wir nun sechs Tag´ und Nächte die Wogen durchrudert,  
Kamen am siebenten wir zur laistrygonischen Feste,  
Lamos hoher Stadt Telepylos, dort, wo dem Hirten  
Ruft der heimtreibende Hirt, und es hört ihn der, der hinaustreibt.  
Und ein Mann ohne Schlaf gewänne sich doppelte Löhnung,  
Eine als Rinderhirt und eine als Hirt der Schafe.  
Nah ist dort der Weg von Tag und Nacht beieinander.  
(J. H. Voss)*

Auf das Bild der ozeanumflossenen Erdscheibe vertraut auch Hekataüs von Milet (ca. 550 - 480 v. Chr.) Seine Beschreibung der Küsten des Mittelmeerraumes war offensichtlich auch von einer bildlichen Darstellung begleitet. Damit setzt sich der weitgereiste antike Geschichtsschreiber Herodot kritisch auseinander. Herodot macht sich lustig über den kreisrunden Okeanos und die Weltkarte von Hekataüs. Aus seinen Berichten (um 450 v. Chr.) lässt sich bereits ein verändertes Weltbild rekonstruieren, das sich von den älteren Symmetrieüberlegungen abgelöst hat (Abb. 2).

Die besonderen Sonnenstände in den nördlichen Breiten lassen das sagenumwobene Nordland der sog. „Hyperboreer“, aber auch Gegenden im Süden der Erde, von denen im folgenden Zitat die Rede ist, zu Schlüsselregionen zur Widerlegung einer scheibenförmigen Erde werden, auf der ja überall gleiche Sonnenbahnen zu beobachten sein müssten.

**Zitat 2: Herodot, Historien, IV. Buch**

*Ich wundere mich, dass man drei Erdteile unterscheidet: Libyen, Asien und Europa. Ihre Größe ist doch zu verschieden. Europa ist so lang wie die beiden anderen zusammengenommen, und an Breite können sie sich offenbar noch weniger mit Europa messen. Libyen ist ja doch rings vom Meere umflossen, abgesehen von der Stelle, wo es mit Asien zusammenstößt. Der König Nekos von Ägypten ist, soviel wir wissen, der erste gewesen, der den Beweis dafür geliefert hat. Als Nekos nämlich den Bau jenes Kanals eingestellt hatte, der vom Nil nach dem arabischen Meerbusen führen sollte, schickte er Phoiniker mit der Flotte aus und gab ihnen den Auftrag, den Rückweg durch die Säulen des Herakles zu nehmen und also durch das mittelländische Meer nach Ägypten zurückzukehren. So fuhren denn die Phoiniker durch das Rote Meer nach Süden fort. Als der Herbst kam, gingen sie ans Land, bebauten das Feld, an welcher Stelle Libyens sie sich nun gerade befanden, und warteten die Ernte ab. Hatten sie geerntet, so fuhren sie weiter. So trieben sie es zwei Jahre lang, und im dritten Jahre bogen sie bei den Säulen des Herakles ins nördliche Meer ein und gelangten nach Ägypten. Sie erzählten – was ich aber nicht glaube, vielleicht erscheint es anderen eher glaublich –, dass sie während der Umschiffung die Sonne auf einmal zur Rechten gehabt hätten. So wurde zum ersten Mal bewiesen, dass Libyen ganz vom Meere umgeben ist.*

(A. Horneffer)

Der Bericht der ersten Umschiffung Afrikas erscheint uns heute durch den beobachteten Sonnenstand auf der rechten Seite, der bei Fahrtrichtung Westen um das Kap der Guten Hoffnung einem nördlichen Stand entspricht, als besonders eindrucksvoll belegt. Ein solcher Nordstand der Sonne war zu der Zeit unbekannt und unvorstellbar und wenn der Bericht erlogen wäre, so wäre er durch diesen Aspekt für die damalige Zeit völlig unglaubwürdig gewesen.

Den möglichen Nordstand der Sonne zur Zeit des Mittsommers in hohen nördlichen Breiten wollte Pytheas aus Marseille erleben. Um 330 v. Chr. brach er zu einer Reise zur Erkundung der Nordausdehnung der Ökumene auf. Sein Werk „Über das Weltmeer“ ist nicht erhalten, jedoch von vielen antiken Autoren, die sich noch Jahrhunderte später darauf beziehen, in Teilen überliefert. Nur ein einziger Satz dieser Schrift ist wörtlich bekannt. Er wird von Krates von Pergamon um 170 v. Chr. an Geminos, einem griechischen Schriftsteller des ersten Jahrhunderts vor Christus vermittelt und in seiner Himmelskunde überliefert.

**Zitat 3: Geminos in seiner *Elementa Astronomiae* (VI, Kap. 8):**

*Für die noch nördlicher von der Propontis (Marmarameer) wohnenden Menschen hat der längste Tag 16 Äquinoktialstunden, und für die noch weiter nördlich wohnenden 17 und 18. In diesen Gegenden scheint auch Pytheas von Marseille gewesen zu sein. Er sagt jedenfalls in seinem Werk „Über das Weltmeer“: „Die Barbaren zeigten uns, wo sich die Sonne schlafen legt.“ Denn es traf zu, dass in diesen Gegenden die Nacht nur kurz ist, für die einen zwei, für die anderen drei Stunden, so dass die Sonne nach ihrem Untergang nach einer kurzen Zwischenzeit gleich wieder aufgeht.*

(D. Stichtenoth)

Pytheasfragmente findet man u.a. bei Strabo (63 v. Chr. – 9 n. Chr.) und Plinius (1. Jhdt. n. Chr.). Auch Eratosthenes (276 – 195 v. Chr.) verarbeitete sein Material, wie uns durch Strabo berichtet wird. Strabo war allerdings auch der schärfste Kritiker des Pytheas. Er meinte, ein Privatmann könne nicht solche Reisen finanzieren, sondern er habe alles am Schreibtisch erfunden.

#### **Zitat 4: Strabo in seiner Geografika über Pytheas**

##### *2. Buch, Kapitel 5:*

*Pytheas aus Massilia nennt zwar Thule, jene nördlichste der Britannischen Inseln, das äußerste Land, wo der Sommerwendekreis derselbe sei mit dem Bärenkreise; bei den Andern aber finde ich nichts [darüber], weder ob eine Insel Thule vorhanden, noch ob das Land bis dahin bewohnbar sei, wo der Sommerwendekreis zum Bärenkreise wird. Ich glaube aber, dieses nördliche Ende der bewohnten Erde sei viel südlicher.*

*(A. Forbiger)*

##### *7. Buch, Kapitel 1:*

*Weil man von diesen Gegenden nichts wußte, hielt man die Leute, die von den Thipaeischen Bergen und den Hyperboreern fabelten, der Erwähnung für wert, sowie alles, was der Marseiller Pytheas über die Küsten des Ozeans erlogen hat, indem er sich seiner astronomischen mathematischen Kenntnisse als Deckmantel bediente.*

*(D. Stichtenoth)*

Nur die himmelskundlichen Berichte griff Strabo nicht an. Hier erkennt er die Autorität von Pytheas an, da zur Zeit Strabos längst kein Zweifel mehr an den Berichten der kurzen Sommernächte in den Nordgegenden bestand. Pytheas berichtet von zwei- und dreistündigen Sommernächten im sagenumwobenen Nordland Thule, das bis heute nicht zweifelsfrei lokalisiert werden kann. In Frage kommen am ehesten Norwegen und Finnland, vielleicht auch Island. Shetland ist ausgeschlossen, denn dort dauert der längste Tag 19 Stunden. Den nördlichen Polarkreis hat Pytheas anscheinend nicht erreicht und folglich die Mitternachtssonne nicht gesehen, auch wenn Plinius der Ältere (1. Jhdt. n. Chr.) und Kleomedes (2. Jhdt. n. Chr.) dies andeuten:

#### **Zitat 5: Plinius, Naturgeschichte II § 186**

*Wenn in den Tagen der Sommersonnenwende die Sonne dem Pol näher kommt, hat das Land, das unter dem kurzen Umlauf des Lichtes liegt, sechs Monate beständig Tag, und wenn sie sich umgekehrt zur Wintersonnenwende entfernt hat, ebenso lange Nacht. Das soll, wie Pytheas von Marseille berichtet, auf der Insel Thule der Fall sein, sechs Tagesreisen nördlich von Britannien.*

*(D. Stichtenoth)*

#### **Zitat 6: Kleomedes, Betrachtungen der Erscheinungen am Himmelsgewölbe I, 7**

*Im Bereich der Thule genannten Insel, auf der der Marseiller Forscher Pytheas gewesen sein soll, soll der Sommerkreis in seinem ganzen Umfange über der Erde liegen, der für sie gleichzeitig auch der nördliche Wendekreis sei.*

*(D. Stichtenoth)*

Aus den Zeitangaben bei Geminus lässt sich rechnerisch ermitteln, dass er etwa auf dem 64. und 65. Breitengrad war. Sein Thule liegt 6 Tagesreisen nördlich von Britannien. Eine Tagesreise betrug zur Zeit des Pytheas 1000 Stadien, also ca. 180 km. Dies entspricht etwa dem 37. Teil des Erdumfangs entlang eines Längenkreises und damit ca. 10 Breitengraden. Der Nordrand von Britannien liegt nach der Auswertung der Maßverhältnisse des Pytheas auf dem 55° Breitengrad, was der Wirklichkeit nahe kommt. Man darf also in diesen Angaben bereits das methodische Wissen zur Bestimmung der Erdgröße vermuten und womöglich war sich Pytheas darüber auch im Klaren. Er wusste um die kurzen Sommernächte und das Phänomen der Mittsommernacht und ermittelte auch Längenmaße auf seinen Reisen. Leider ist sein Werk, das uns die genaue Kenntnis über sein Wissen um die Erdkugel bezeugen könnte, verschollen.

Die Nordstände der Sonne bei der Beobachtung von der Südhalbkugel (Umschiffung Afrikas durch die Phöniker) und bei der Beobachtung in den Polargebieten (Pytheasfahrt) lassen sich nicht durch eine scheibenförmige Erde, wohl aber durch eine Kugelgestalt ganz zwanglos deuten. Dieser Schluss wird schon damals gezogen worden sein, auch wenn die Pytheasfragmente ihn nicht überliefern.

Als erste Verfechter der Kugelgestalt der Erde gelten die Pythagoreer. Eine Vielzahl von Argumenten für die Kugelgestalt findet man in Aristoteles' Schrift „Über den Himmel“ aus dem vierten Jahrhundert vor Christus. Aristoteles (384 – 322 v. Chr.) diskutiert ausführlich die Auffassungen seiner Vorläufer und setzt sich mit den verschiedensten Ansichten auseinander. Er bezieht sich zwar auch auf beobachtbare Phänomene, im Vordergrund aber stehen „Beweise“ auf der Basis von Vernunftüberlegungen.

### **Zitat 7: Aristoteles, Über den Himmel**

*Ähnlich (wie über ihre Lage; der Verfasser) streitet man sich über ihre Gestalt, die einen glauben, sie habe die Form einer Kugel, die andern, die einer Pauke. Diese führen als Beweis an, dass bei Sonnenunter- und -aufgang die Grenzlinie des verdeckten Teiles eine Gerade sei und keine gebogene Linie, wie es die Schnittlinie sein müsste, wenn sie eine Kugel wäre. Sie bedenken dabei nicht den Abstand der Sonne zur Erde und die Größe ihres Umkreises, dass nämlich in dem Bezirk, der uns klein erscheint, ein Kreis von weitem wie eine Gerade aussieht. Wegen dieser Erscheinung also brauchten sie noch nicht an der Kugelgestalt der Erdmasse zu zweifeln. Aber sie fügen auch noch hinzu, die Gestalt einer Pauke müsse die Erde haben, um ruhen zu können. Auch über ihre Ruhe oder Bewegung nämlich gibt es viele Lehrweisen. Der Zweifel allerdings muss jedem kommen; denn das müsste ein zufriedenes Gemüt sein, das sich nicht wunderte, wieso ein kleiner Teil der Erde, wenn man ihn aufhebt und fallen lässt, herabstürzt und nicht oben bleiben will, je größer desto schneller, die ganze Erde dagegen, wenn man sie hochhölbe und fallen ließe, nicht stürzen sollte. Nun aber bleibt eine so schwere Masse in Ruhe! Aber gewiss würde auch eines jener Teilchen, falls man die Erde fortnehme, bevor man es fallen lässt, herabstürzen, wenn niemand ihm eine Stütze bietet. Dieser Zweifel steht also mit Recht am Anfang der Erkenntnis. Aber man wundert sich, dass die vorgebrachten Lösungen den Leuten nicht noch widersinniger erscheinen, als die Streitfrage selbst. Die einen sagen um ihretwillen, der Raum unterhalb der Erde sei grenzenlos, und sie habe ihre Wurzeln im Bodenlosen, so z. B. Xenophanes aus Kolophon, damit sie nicht in Schwierigkeiten geraten, wenn sie nach der Ursache forschen. Daher schüchtert Empedokles sie so ein mit den Versen:*

*... wär' unermesslich die Tiefe der Erde, die Bläue des Himmels,  
wie es vergeblich so vieler Zunge und Lehre verbreitet,  
auch aus dem Munde von Menschen, die wenig vom Weltall gesehen.*

*Andere behaupten, sie schwimme auf Wasser. Dies ist nämlich die älteste Auffassung, die Thales von Milet vertreten haben soll, dass sie durch ihre Schwimmfähigkeit in Ruhe bleibe, wie ein Stück Holz oder sonst dergleichen (auch dies alles ist ja so geartet, dass es nicht in Luft, wohl aber in Wasser ruhen kann), als wenn es nicht genau dasselbe wäre bei der Erde und bei dem Wasser, das die Erde trägt! Auch das Wasser bleibt ja seiner Natur nach nicht schweben, sondern braucht eine Unterlage. Und wie Luft leichter ist als Wasser, so ist Wasser leichter als Erde: wie soll also Leichteres unter Schwerem seine natürliche Lage haben? Auch müsste, wenn die ganze Erde ihrer Natur nach auf Wasser in Ruhe bleiben kann, dies ebenso für jeden ihrer Teile gelten. Nun aber beobachtet man dies nicht, vielmehr wird jeder beliebige Teil in die Tiefe gerissen, je größer, umso schneller.*

*Diese Denker scheinen wohl bis zu einem gewissen Punkt zu forschen, aber nicht so weit, wie man in der Frage kommen kann. Es geht uns ja allen so, dass man die Untersuchung nicht auf die Sache richtet, sondern gegen die Meinung des Gegners, ja man forscht auch bei sich selbst nur solange, bis man keinen Widerspruch mehr spürt. Daher muss der rechte Forscher ein Künstler in Einwänden sein, die der Gattung des Gegenstandes entsprechen, was man dadurch wird, dass man alle Unterschiede in Betracht zieht.*

Anaximenes, Anaxagoras und Demokritos machen die Breite der Erde dafür verantwortlich, dass sie ruht. So könne sie die Luft unter ihr nicht zerschneiden, sondern nur abdecken, wie man es an breiten Körpern beobachtet: diese lassen sich auch gegen den Wind schwer bewegen wegen des Widerstandes, und genau so gehe es der Erde im Verhältnis zur Luft unter ihr; diese wieder habe nicht genügend Raum, um insgesamt auszuweichen, und so bleibe sie unter der Erde in Ruhe, wie beim Wasser in Wasseruhren. Dafür, dass eine abgegrenzte und in Ruhe bleibende Luftmasse ein schweres Gewicht zu tragen vermag, führen sie eine Menge Beispiele an. Zunächst jedoch: wenn die Gestalt der Erde nicht breit ist, dann ist dies auch nicht der Grund für ihr Ruhen. Und nach dem, was jene lehren, ist doch auch nicht so sehr die Breite der Grund ihres Verharrens, als ihre Größe: weil die Luft wegen Platzmangels nicht vorbei kann, soll sie infolge ihrer Menge am Ort bleiben, und diese Menge hat sie nur, weil infolge der Größe der Erde eine solche Masse abgeschnitten wird; sie bleibt ja nur dementsprechend in Ruhe. Überhaupt handelt es sich bei dieser Erörterung über Bewegung nicht um Teile, sondern um etwas Ganzes und Abgeschlossenes. Es wäre nämlich von Anfang an festzulegen, ob die Körper eine natürliche Bewegung haben oder nicht, und ob es keine natürliche, wohl aber eine gewaltsame Bewegung gibt. Da wir selber oben diese Bestimmungen getroffen haben, soweit wir im Augenblick dazu die Möglichkeit hatten, soll davon als von einer Tatsache Gebrauch gemacht werden. Wenn es nämlich in diesem Bereich keine natürliche Bewegung gibt, dann wird es auch keine gewaltsame geben, wenn es aber beides nicht gibt, wird gar keine Bewegung zustande kommen. Diese Folgerung ist oben schon festgelegt worden, auch dass ebenso die Ruhe unmöglich ist, weil diese genau wie die Bewegung entweder naturgemäß oder naturwidrig ist. Wenn es also eine natürliche Bewegung gibt, dann ist nicht allein mit gewaltsamer Bewegung und Ruhe zu rechnen, und wenn daher die Erde jetzt gewaltsam festgehalten wird, dann muss sie durch den Wirbel auch zur Mitte hin gebracht worden sein. Diesen Wirbel nämlich machen alle dafür verantwortlich nach dem, was sie an Flüssigkeiten und an der Luft beobachten: da wird nämlich immer das Größere und Schwerere nach der Mitte des Wirbels hin gerissen. Aus diesem Grund, so lehren allgemein die, die den Himmel entstanden sein lassen, sei die Erde nach der Mitte zusammengeströmt. Dass sie hier aber bleibt, dafür suchen sie nach besonderen Gründen, und zwar sehen die einen diese in der Breite und Größe der Erde, die andern, wie Empedokles, geben der Kreisbewegung des Himmels schuld, die in ihrer größeren Schnelligkeit den Sturz der Erde verhindere, wie das Wasser in Schöpfgefäßen. Auch dieses fällt ja, wenn das Gefäß geschwenkt und der ehrene Boden gesenkt wird, trotzdem nicht mit, obwohl dies seiner Natur entspräche, und zwar aus demselben Grunde. Aber wenn nun weder der Wirbel noch die Breite mehr die Luft hindert, diese vielmehr entweicht, wohin wird die Erde dann sich bewegen? Zur Mitte ist sie ja gewaltsam gelangt, und sie ist auch gewaltsam dort geblieben. Also muss sie auch eine natürliche Bewegung haben. Ist diese nun nach oben oder nach unten oder wohin gerichtet? Eine Richtung muss sie haben! Ist sie nicht mehr nach unten, als nach oben gerichtet und hindert die Luft über ihr die Bewegung nach oben nicht, dann hindert auch die Luft unter ihr nicht die nach unten, da bei gleichen Dingen gleiche Ursachen gleiche Wirkungen haben müssen. Jenen Einwand kann man auch gegen Empedokles erheben. In den Zeiten nämlich, in denen die Urstoffe sich sonderten infolge der Zwietracht, welche Ursache bewirkte damals die Ruhe der Erde? Er wird ja nicht gut auch zu dieser Zeit dem Wirbel die Schuld geben können. Er müsste doch bemerkt haben, dass im vorigen Zeitalter der Wirbel alle Teile der Erde zur Mitte hin gerissen hatte: was ist also nunmehr die Ursache dafür, dass alles Schwere zu ihr hingerissen wird? Kommt etwa der Wirbel jetzt zu uns? Und warum steigt das Feuer empor? Doch nicht auch durch den Wirbel! Wenn dieses aber eine natürliche Bewegungsrichtung hat, dann muss man es auch bei der Erde annehmen. Gewiss wird aber nicht erst durch den Wirbel das Schwere vom Leichten geschieden, sondern von dem, was bereits schwer oder leicht war, wird durch die Kreisbewegung das eine zur Mitte, das andere zum Rande geführt. Mithin gab es also, schon bevor der Wirbel anhub, Schweres und Leichtes. Wodurch jedoch war beides verschieden, welches war seine natürliche Bahn und wo bleibt es? Wenn das All ohne Grenzen ist, dann kann es auch kein Oben und Unten geben, hierdurch aber wird das Schwere vom Leichten geschieden. Die meisten verweilen also bei diesen Ursachen. Es gibt aber auch Denker, die behaupten, die Erde bliebe wegen eines gewissen Gleichgewichts an ihrem Platze, unter den Alten z. B.

Anaximandros. Denn bei einem Körper, der in der Mitte gebettet sei und zu allen Teilen des Randes sich gleich verhalte, bestehe kein Grund, warum er eher nach oben oder unten oder nach der Seite stürze, und zugleich nach entgegengesetzten Seiten könne er auch nicht die Bewegung durchführen. Er müsse also in Ruhe bleiben. Dies ist sehr geistreich, aber doch nicht wahr, weil mit dieser Begründung alles, was in die Mitte gebracht wird, dort bleiben müsste, also auch das Feuer. Denn der genannte Grund ist nicht auf die Erde beschränkt. Und er ist auch nicht notwendig, da wir die Erde nicht nur in der Mitte ruhen, sondern sich auch nach der Mitte hin bewegen sehen. Denn wohin ein beliebiger Teil von ihr eilt, dahin muss auch die ganze Erde stürzen, und wohin ihre natürliche Bewegung gerichtet ist, da bleibt sie auch natürlich, nicht also wegen ihrer zum Rande gleichmäßigen Lage. Dies gilt nämlich für alle Stoffe, der Sturz zur Mitte hin jedoch ist der Erde eigentümlich. Und es wäre auch sinnlos, den Grund zu suchen, warum die Erde bei der Mitte bleibt, und nicht auch, warum das Feuer am Rande. Wenn nämlich für das Feuer der Aufenthalt am Rande naturgemäß ist, dann muss es auch für die Erde der in der Mitte sein. Kommt ihr jedoch nicht in dieser Weise der Platz zu, sondern wird sie durch die Notwendigkeit des Gleichgewichts gehalten, wie es der Vergleich mit dem Haar dartun will, das nicht zerreißen soll, wenn es noch so stark aber gleichmäßig gespannt wird, und mit dem Verhungerten und Verdurstenden, der von Speisen und Getränken gleichweit entfernt ist (auch er kann sich ja nicht von der Stelle bewegen!), dann muss man auch nach einem Grund für das Verweilen des Feuers am Rande suchen. Verwunderlich ist auch, dass man nur nach Gründen für das Verweilen sucht, nicht dagegen nach solchen für die Bewegung des einen nach oben, des andern nach unten, falls kein Hindernis vorliegt. Aber schließlich ist auch gar nicht richtig, was man vorbringt. Mittelbar mag es zutreffen, dass alles in der Mitte bleiben muss, das keinen Grund hat, eher hierhin als dorthin zu fallen. Nicht aus diesem Grunde jedoch wird es in Ruhe bleiben, nein es wird sich bewegen, freilich nicht als Ganzes, sondern nach allen Seiten auseinandergezogen.

Denn dieselbe Begründung wird auch für das Feuer gelten, es muss, wenn es dorthin gebracht wird, ebenso in Ruhe bleiben, wie die Erde. Denn jeder beliebige Körper wird zu allen Punkten des Randes die gleiche Lage haben. Trotzdem jedoch wird es von der Mitte forteilen, wie man es tatsächlich beobachtet, zum Rande hin, wenn kein Hindernis vorliegt, nur nicht alles nach einem Punkte hin (dies allein nämlich ist das Ergebnis des Gedankens vom Gleichgewicht), sondern jeder Teil zum entsprechenden Teil des Randes, ich meine z. B. ein Viertel zu seinem Viertel des Randes hin. Punkte nämlich gibt es bei Körpern nicht, und wie etwas sich verdichtet, was aus einem großen in einen kleinen Raum zusammenströmt, so wird es dünner, wenn es aus einem kleineren in einen größeren übergeht. Daher würde auch die Erde nach dem Grundsatz vom Gleichgewicht sich so bewegen, wenn die Mitte nicht ihr natürlicher Platz wäre. Das also wären etwa die Annahmen, die es gibt über ihre Gestalt, ihren Platz, ihre Ruhe und Bewegung. Und nun wollen wir von uns aus zunächst sagen, ob sie sich bewegt oder ob sie ruht. Es gibt, wie gesagt, Denker, die aus ihr einen der Sterne machen wollen, andere, die sie in die Mitte versetzen und sich drehen lassen um den Mittelpol. Dass dies unmöglich ist, wird einem klar, wenn man davon ausgeht, dass, falls sie sich bewegt, einerlei, ob in der Mitte oder außerhalb, diese Bewegung für sie eine gewaltsame Bewegung sein muss, da sie nicht die der Erde selbst ist. Sonst müsste ja auch jeder Teil der Erde diese Bewegung ausführen. Nun aber stürzt alles geradlinig zur Mitte hin. Daher kann die Bewegung auch nicht ewig sein, weil sie gewaltsam und naturwidrig wäre. Die Weltordnung jedoch ist ewig. Ferner: bei allen Kreisbahnkörpern beobachtet man Vorübergänge und Teilnahme an mehreren Bewegungen, ausgenommen, die erste Schale, so dass auch die Erde zwei haben müsste, einerlei, ob sie sich um die Mitte oder in der Mitte dreht. In diesem Falle jedoch müssten Vorbeigänge und Rückläufe der Fixsterne eintreten. Dies geschieht aber offenbar nicht, sondern alle gehen in gleicher Weise an denselben Stellen auf und unter. Weiter: die natürliche Bahn ihrer Teile und der ganzen Erde ist zur Mitte des Alls hin gerichtet. Deswegen eben befindet sie sich jetzt in diesem Mittelpunkt. Nun könnte man fragen, wenn beide Mittelpunkte zusammenfallen, zu welchem strebt alles Schwere und die Teile der Erde naturgemäß hin, zu dem des Alls oder zu dem der Erde? Notwendig zu dem des Alls, da auch alles Leichte und das Feuer, das die Gegenbewegung zum Schweren ausführt, nach dem Rande des die Mitte umschließenden Raumes strebt. Nur mittelbar ist Mitte der Erde auch

*Mitte des Alls, der Sturz erfolgt auch zur Mitte der Erde hin, aber nur mittelbar, insofern sie ihre Mitte an der Mitte des Alls hat. Dass die Fallbewegung zur Erdmitte gerichtet ist, wird dadurch bewiesen, dass die auf sie zueilenden schweren Körper nicht gleichlaufende Bahnen haben, sondern solche mit gleichen Winkeln, wie der, um den man weitergegangen ist, so dass also alle zum Mittelpunkt weisen, auch zum Mittelpunkt der Erde. Daraus folgt, dass die Erde unbeweglich am Mittelpunkt weilen muss, aus den genannten Gründen und auch, weil senkrecht nach oben geworfene Körper zum gleichen Punkt zurückkehren, selbst wenn man die Wucht des Wurfs ins Unendliche steigert.*

*Dass die Erde sich nicht bewegt, auch nicht außerhalb der Mitte, ist hieraus zu erkennen. Zudem ist aus dem Gesagten auch der Grund ihres Verweilens klar. Denn wenn, wie man beobachtet, die Körper von allen Seiten nach der Mitte zu fallen und das Feuer von der Mitte zum Rande hin steigt, dann kann unmöglich irgendein Teil von ihr die Mitte verlassen, es sei denn mit Gewalt. Denn ein Ding hat nur eine Bewegung, ein einfaches eine einfache, und nicht entgegengesetzte; die Bahnen von der Mitte fort und zur Mitte hin sind jedoch entgegengesetzt. Wenn also keiner der Teile von der Mitte sich fortbewegen kann, dann erst recht nicht das Ganze, weil Teil und Ganzes dieselbe natürliche Bewegung haben. Wenn also nur von einer gewaltigeren Kraft die Erde bewegt werden könnte, so muss sie eben in der Mitte bleiben. Dazu stimmt auch, was die Mathematiker über Sternkunde lehren: bei Veränderung der Figuren, durch die die Ordnung der Sterne <Planeten!> bestimmt ist, ergeben sich die Erscheinungen nur dann, wenn die Erde im Mittelpunkt steht. – Soviel über ihren Platz und über die Art ihrer Bewegung und Ruhe.*

*Sie muss eine kugelförmige Gestalt haben, da die Schwerkraft jedes ihrer Teile bis zur Mitte reicht, das weniger Schwere von dem Schweren beiseite gedrückt wird und nicht emporwallen kann, sondern sich zusammenziehen muss und eines dem andern Platz macht, bis der Druck zur Mitte kommt. Man muss sich das Gesagte so vorstellen, wie es die Naturgelehrten beschreiben, die sie geworden sein lassen, nur dass jene Gewalt für die Abwärtsbewegung verantwortlich machen. Besser ist es, den wahren Grund anzugeben und zu lehren, dies geschehe, weil es in der Natur alles Schweren liege, zur Mitte zu eilen. Zur Zeit der großen Mischung nun sonderten sich die Bestandteile und stürzten von allen Seiten gleichmäßig zur Mitte. Ob nun die abgetrennten Teile vom Rande aus gleichmäßig in der Mitte sich gesammelt haben oder auf andere Art, spielt keine Rolle. Das ist jedenfalls klar, dass, wenn alles gleichmäßig vom Rande aus zu einer einzigen Mitte hin stürzt, eine allseitig gleichmäßige Masse entstehen muss. Denn wenn überall gleichviel sich anreichert, muss schließlich der Rand von der Mitte überall denselben Abstand haben. Das aber ist die Gestalt einer Kugel. Doch macht es für diesen Beweisgang keinen Unterschied, wenn auch ihre Teile nicht gleichmäßig von allen Seiten herbeigestürzt kommen. Denn eine größere Masse muss die vorher angekommene kleinere weiterstoßen, bis beide ihre Wucht zur Mitte weitergeleitet haben und das Schwerere das leichtere Gewicht bis hierher vor sich hergetrieben hat.*

*Die Frage nämlich, die man hier aufwerfen könnte, erfährt dieselbe Lösung: wenn einmal, nachdem die Erde schon in Kugelgestalt die Mitte eingenommen hat, zur einen Halbkugel ein vielfach größeres Gewicht hinzukäme, dann wird Mittelpunkt der Erde und Mittelpunkt des Alls nicht mehr zusammenfallen. Sie wird daher entweder nicht in der Mitte bleiben oder aber, wenn sie es doch tut, in Ruhe bleiben auch ohne die Mitte zu haben, ein Zustand, in dem sie sich jetzt natürlich bewegt. Das ist die Frage, die Lösung sieht man unschwer, wenn man noch ein klein wenig sich anstrengt und festlegt, in welcher Weise wir uns die Bahn irgendeiner Größe zur Mitte hin vorzustellen haben, falls sie Schwere besitzt. Offenbar nicht soweit, bis sie mit dem äußersten Ende die Mitte berührt, sondern es muss nur das Übergewicht mit seiner Mitte die Mitte des Alls erfassen, weil soweit seine Wucht reicht. Demnach macht es nichts aus, ob man dabei an eine einzelne Scholle denkt oder einen beliebigen Teil oder die ganze Erde, weil das Ergebnis nicht aus der Kleinheit oder Größe gewonnen wurde, sondern von allem gilt, was eine Wucht zur Mitte hin besitzt. Ob sie also als Ganzes irgendwoher gestürzt ist oder in Teilen, sie muss so lange stürzen, bis sie allseitig gleichmäßig die Mitte erfasst hat, wobei die Ungleichheit der kleineren Massen durch die Wucht und Stoßkraft der größeren ausgeglichen wird. Wenn die Erde also entstanden ist, dann muss es auf diese Art geschehen sein, so dass damit ihr*

*schalenförmiges Wachsen verständlich geworden ist; ist sie aber ungeworden und ruht sie seit Ewigkeit, dann muss ihre Lage so sein, wie sie beim ersten Werden geworden wäre. Aus diesem Grunde also muss ihre Gestalt kugelförmig sein, und weil alles Schwere im gleichen Winkel <zum Horizont>, nicht dagegen gleichlaufend zueinander herabfällt. Dies ist die natürliche Folge der Kugelgestalt.*

*Entweder also ist sie eine Kugel oder hat doch das Wesen einer Kugel. Man soll aber jedes Ding so nennen, wie es sein möchte und wie es in ihm steckt, nicht, wie es durch Gewalt geworden ist. Dies passt auch zu den beobachteten Erscheinungen, da andernfalls die Schnittlinien bei Mondfinsternissen nicht diese Gestalt haben könnten. Wir beobachten bei den monatlichen Gestaltwandlungen alle möglichen Trennungslinien, sie wird gerade und gewölbt in beiderlei Sinn, bei den Finsternissen jedoch ist die trennende Linie immer hohl, so dass also, wenn die Finsternis durch das Dazwischentreten der Erde verursacht wird, ihre Gestaltung die Wirkung des kugelförmigen Erdumfangs ist.*

*Auch aus den Sternbeobachtungen geht hervor, dass sie nicht nur rund ist, sondern auch gar nicht einmal so groß. Denn wenn wir unsern Ort nur wenig nach Norden oder Süden verschieben, hat sich ersichtlich der Gesichtskreis schon verändert, so dass die Sterne über uns sich sehr verändert haben und uns nicht mehr dieselben erscheinen, wenn wir nach Norden oder Süden weitergehen. Manche Sterne kann man nämlich in Ägypten und auf Cypern sehen, die man in nördlichen Ländern nicht sehen kann, und Sterne, die man hier das ganze Jahr sieht, gehen dort unter. Daraus geht nicht nur hervor, dass die Erde rund ist, sondern auch, dass sie keine große Kugel bildet, da sonst nicht bei so kleinen Veränderungen die Wirkung so schnell sich zeigte. Wer also meint, die Gegend um die Säulen des Herakles und die um Indien berührten sich und auf diese Weise gebe es nur ein einziges Meer, vertritt keine so ungläubhafte Ansicht. Man beruft sich dabei auch auf die Elefanten, weil ihre Gattung in beiden Randgebieten zu Hause ist, offenbar infolge ihrer Berührung miteinander. Und Mathematiker, die die Länge des Umfangs auszurechnen versuchen, geben diese mit 400 000 Stadien an. Daraus ist zu schließen, dass die Masse der Erde nicht nur kugelförmig ist, sondern auch nicht groß im Vergleich mit der Größe der andern Gestirne.*

*(P. Gohlke)*

Eine erstaunliche Fülle von interessanten Aspekten ist hier zu finden. Zum Schluß überrascht die Idee einer Verbindung von den Säulen des Herkules (Gibraltar) bis nach Indien über einen noch unbefahrenen Ozean. Kurios erscheint uns heute allerdings das Elefanten-Argument. Ferner legt er bei der Diskussion seine physikalischen Ideen einer Schwerkraft dar, die die irdische Materie in die Kugelgestalt zwingt.

Anschaulich ist das Argument des Verlaufs des Erdschattens während der partiellen Phase einer Mondfinsternis, der - im Gegensatz zu den monatlichen Formen der Hell-Dunkel-Linie (Abb. 3) – immer hohl gerundet ist (Abb. 4), was allein durch die Kugel erklärt werden kann, deren Schatten bei allen Projektionsrichtungen rund erscheint, wenn man ihn aus der Erdposition beobachtet.

Viele weitere Argumente für die Kugelgestalt der Erde bringt Claudios Ptolemäios (ca. 100 – 170 n. Chr.). Er fasst das antike astronomische Wissen zusammenfasst.

#### **Zitat 8: C. Ptolemaios, *Megalis Syntaxis (Almagest)*, 1. Buch, Viertes Kapitel**

*Zu der Erkenntnis, dass auch die Erde, als Ganzes betrachtet, für die sinnliche Wahrnehmung kugelförmig sei, dürfte man am besten auf folgendem Wege gelangen. Nicht für alle Bewohner der Erde ist Aufgang und Untergang der Sonne, des Mondes und der anderen Gestirne gleichzeitig zu sehen, sondern früher stets für die nach Osten zu, später für die nach Westen zu wohnenden. Wir finden nämlich, dass der momentan gleichzeitig stattfindende Eintritt der Finsterniserscheinungen, und besonders der Mondfinsternisse, nicht zu denselben Stunden, d.h. zu solchen, welche gleichweit von der Mittagstunde entfernt liegen, bei allen Beobachtern aufgezeichnet wird, sondern dass jedesmal die Stunden, welche bei den weiter östlich*

wohnenden Beobachtern aufgezeichnet stehen, spätere sind als die bei den weiter westlich wohnenden.

Da nun auch der Zeitunterschied in entsprechendem Verhältnis zu der räumlichen Entfernung der Orte gefunden wird, so dürfte man mit gutem Grunde annehmen, dass die Erdoberfläche kugelförmig sei, weil eben die hinsichtlich der Krümmung (der Oberfläche) im großen ganzen als gleichartig zu betrachtende Beschaffenheit (der Erde) die Bedeckungserscheinungen zu der Aufeinanderfolge der Beobachtungsorte stets in ein entsprechendes (Zeit-)Verhältnis setzt. Wäre die Gestalt der Erde eine andere, so würde dies nicht der Fall sein, wie man aus folgendem ersehen kann.

Wenn die Oberfläche der Erde eine Hohlfläche wäre, so würde der Aufgang der Gestirne den weiter westlich wohnenden Beobachtern eher sichtbar werden; wäre sie eine ebene Fläche, so würden die Gestirne für alle Bewohner der Erde zugleich und zu derselben Zeit auf- und untergehen; wäre sie von der Gestalt einer dreiseitigen Pyramide, eines Würfels oder eines Polyeders, so würden sie wiederum für alle diejenigen in gleicher Weise und gleichzeitig auf- und untergehen, welche auf derselben Seitenfläche (dieser Körper) wohnten, was mit der Wirklichkeit in keiner Weise vereinbar erscheint.

Dass die Erde aber auch nicht walzenförmig sein kann, selbst nicht unter der Voraussetzung, dass die Rundfläche nach Osten und Westen gekehrt und die Seiten der ebenen Grundflächen nach den Weltpolen gerichtet wären, was man wohl als das Glaubwürdigere annehmen dürfte, wird aus folgendem klar. Für keinen Bewohner der gekrümmten Oberfläche würde nämlich auch nur ein einziger Stern immersichtbar werden, sondern für alle Bewohner würden sämtliche Sterne sowohl auf- wie untergehen, oder es würden für alle Bewohner dieselben Sterne, welche von jedem der beiden Pole den gleichen Abstand hätten, einerseits immersichtbar, andererseits immer unsichtbar werden.

Je weiter wir aber jetzt (auf der kugelförmigen Erde) nach Norden zu wandern, um so mehr werden von den südlichen Sternen unsichtbar und von den nördlichen immersichtbar, so dass es klar ist, dass auch in diesem Falle die Krümmung der Erde, welche schon die in schräger (d. h. in der die Nord-Südlinie von Osten nach Westen kreuzenden) Richtungen verlaufenden Bedeckungserscheinungen in ein entsprechendes (Zeit-)Verhältnis setzte, von allen Seiten auf die Kugelgestalt hinweist. Hiermit ist noch die Wahrnehmung zu verbinden, dass wir bei dem Heransegeln an Berge oder einzelne hochragende Punkte unter beliebigem Winkel und nach beliebiger Richtung nach und nach ihre Höhen sichtlich wachsen sehen, als ob sie direkt aus dem Meere auftauchten und vorher infolge der Krümmung der Wasserfläche untergetaucht gewesen wären.

(K. Manitius)

Das Argument der beim Heransegeln an die Küste auftauchenden unteren Partien der Landschaft bringt auch schon Strabo in seiner Geografika:

### **Zitat 9: Strabos Beweis für die Kugelgestalt der Erde, Geografika 1. Buch, Kapitel 1**

Dass die Erde kugelförmig sei, erkennt man mittelbar aus dem Streben der Körper nach dem Mittelpunkt hin und daraus, dass sich jeder Körper nach seinem Schwerpunkt neigt, unmittelbar aber aus den Erscheinungen auf dem Meer und dem Himmel. Denn sowohl die sinnliche Wahrnehmung als der gemeine Menschenverstand kann dies bezeugen. Offenbar nämlich verhindert die Krümmung des Meeres die Schiffer, entfernte und mit ihren Augen in gleicher Höhe erhobene Lichter zu erblicken; höher aber als ihre Augen erhoben, werden sie sichtbar, wenn sie auch weiter von diesen entfernt sind. Gleicherweise sieht auch das Auge, wenn selbst höher erhoben, das, was ihm früher verborgen geblieben war. ... Auch den Heranschiffenden enthüllen sich die Teile des Landes immer mehr, und das, was im Anfang niedrig erschienen war, erhebt sich immer höher.

(A. Forbiger)

Aristoteles, der sich auf die zeitgenössischen Mathematiker beruft, gibt auch einen Wert für die Größe der Erdkugel an, wobei er sich auf zeitgenössische Mathematiker beruft. Ihr Umfang belaufe sich auf 400.000 Stadien. Das Stadion ist ein antikes Längenmaß. Leider waren verschiedene Stadien mit differierenden Werten in Gebrauch, so dass sich heute keine genaue Umrechnung in unser metrisches System mehr durchführen lässt. Die Längen der verschiedenen Stadionmaße überspannen den weiten Bereich zwischen ca. 150 m und 200 m.

Schließlich diskutiert auch Kleomedes im 2. Jahrhundert nach Christus die nunmehr bekannten Argumente für die Kugelgestalt.

### **Zitat 10: Kleomedes über die Kugelgestalt der Erde**

*Schon der Augenschein überzeugt uns offenbar, dass die Welt eine Kugel ist. Dennoch darf man den Augenschein nicht als Beweismittel verwenden, denn nicht alles erscheint uns so, wie es in Wahrheit ist. Daher müssen wir von dem, was uns ganz offenbar ist, auf das, was uns nur zu sein scheint, schließen. Wenn wir also gezeigt haben werden, dass der festeste und dichteste Teil der Welt, nämlich die Erde, die Gestalt einer Kugel besitzt, so werden wir fortschreitend zu den übrigen Teilen der Welt auch von diesen erkennen, dass sie kugelförmig sind. Und so hat auch die gesamte Welt diese Gestalt.*

*Es sind viele Meinungsverschiedenheiten unter den älteren Naturforschern über die Gestalt der Erde entstanden. Einige von ihnen haben, dem Augenschein folgend, darzutun versucht, dass die Erdoberfläche die Gestalt einer Ebene habe. Andere wieder haben in Erwägung gezogen, dass das Wasser nicht auf der Erdoberfläche verharren könnte, wenn die Erdoberfläche nicht hohl und vertieft wäre, und haben daher der Erdoberfläche eine solche Gestalt zugesprochen. Wieder andere haben geglaubt, die Erde sei würfelförmig, noch andere hielten sie für pyramidenförmig. Die Gelehrten unserer Zeit aber, die Mathematiker und die meisten Anhänger der Sokratischen Schule hielten die Erde für kugelförmig. Da nun andere Formen, außer den genannten, kaum für sie in Frage kommen können, so kann in Wahrheit die Erde nur eben, vertieft, würfelförmig, pyramidenförmig oder kugelförmig sein.*

*Wenn wir diese fünfgliedrige Disjunktion als wahr unterstellen, so werden wir auf Grund dieser zeigen, dass die Erde die Gestalt einer Kugel besitzt. Wir werden also zeigen, dass die Erde weder eben, noch hohl, noch würfelförmig, noch pyramidenförmig ist. Alsdann werden wir beweisen, dass sie notwendigerweise kugelförmig sein muss. Dass die Erdoberfläche nicht eben sein kann, können wir so erkennen: Wenn sie eben wäre, so hätten alle Menschen den gleichen Horizont. Es ist nämlich gar nicht einzusehen, wie es kommen könnte, dass sich in solchem Falle der Horizont verändern könnte. Wenn es aber nur einen Horizont gäbe, so würden die Aufgänge und Untergänge der Gestirne für alle Orte zu gleicher Zeit erfolgen, ebenso wie die Anfänge der Tage und Nächte. Nun findet alles dies aber in Wahrheit nicht statt, vielmehr zeigt sich in den erwähnten Erscheinungen größte Verschiedenheit in den verschiedenen Gegenden der Erde. Hier geht die Sonne zu der, dort zu jener Zeit unter und auf. Bei den im Osten wohnenden Persern soll die Sonne vier Stunden früher aufgehen als bei den im Westen wohnenden Spaniern. Dies geht auch aus anderen Erscheinungen hervor, so vor allem aus den Verfinsterungen der Gestirne, die zwar für alle Orte, aber nicht zu gleicher Zeit stattfinden. Denn wenn eine Gestirnsverfinsterung in Spanien in der ersten Stunde des Tages geschieht, so wird sie in Persien in der fünften Stunde des Tages beobachtet, und Entsprechendes gilt von anderen Ländern. Weiter würde, wenn die Oberfläche der Erde eben wäre, für alle die Polhöhe und die Größe des Polarkreises die gleiche sein. Von allem diesem aber ist nichts zu beobachten, vielmehr ist in Syene und Äthiopien die Polhöhe sehr gering, in Britannien dagegen sehr groß, und Entsprechendes gilt von den mittleren Breiten. Wenn ein Beobachter ferner von Süden nach Norden geht, so sinken für ihn einige der südlicher stehenden Sterne unter den Horizont herab, und gegen Norden hin sieht er Sterne, die bisher für ihn unsichtbar waren. Und der Beobachter, der von Norden nach Süden geht, bemerkt das Umgekehrte. Das alles würde nicht geschehen, wenn die Erdoberfläche eben wäre und somit überall der gleiche Horizont bestünde. Die Erdoberfläche ist also nicht eben. Es würden ferner auch überall die Tage gleich sein. In*

Wahrheit aber ist das Gegenteil der Fall. Wenn weiter die Erdoberfläche eben wäre, so wäre der Durchmesser der Welt hunderttausend Stadien. Denn die Bewohner von Lysimachia sehen den Kopf des Drachen über ihrem Scheitel, die Bewohner von Syene aber den Krebs. Von dem durch Lysimachia und Syene gehenden Meridian aber ist der zwischen dem Drachen und dem Krebs befindliche Bogen der 15. Teil, wie durch die „Schattenjäger“ dargetan wird. Der 15. Teil der Kreisperipherie ist aber nahezu der 5. Teil des Durchmessers. Wenn wir also annehmen, dass die Erdoberfläche eben ist, und wenn wir von den Endpunkten des zwischen dem Drachen und dem Krebse befindlichen Bogens Lote auf die Erdoberfläche fällen, so werden diese den Durchmesser treffen, der den Meridian von Syene und Lysimachia bildet. Die Entfernung der Fußpunkte der Lote beträgt aber zwanzigtausend Stadien, denn dies ist die Entfernung von Syene und Lysimachia. Da diese Entfernung nun der fünfte Teil des ganzen Durchmessers ist, so würde der ganze Durchmesser des Kreises hunderttausend Stadien betragen. Wenn aber die Welt einen Durchmesser von hunderttausend Stadien hätte, dann wäre die Peripherie ihres größten Kreises dreihunderttausend Stadien. Während im Vergleich zum Himmel die Erde doch nur von der Größe eines Punktes ist, ist sie zweihundertfünfzigtausend Stadien groß. Die Sonne ist aber mehrfach so groß wie die Erde und nimmt doch nur den kleinsten Teil des Himmels ein. Daraus geht hervor, dass es unmöglich ist, dass die Erdoberfläche eine ebene Scheibe ist.

Dass aber die Erdoberfläche auch nicht hohl und nicht vertieft sein kann, wird auf folgende Weise eingesehen. Wenn es sich nämlich so verhielte, so würde der Tag in Spanien früher beginnen als in Persien, weil ja der emporragende Rand der Erde den der Sonne näheren Gegenden die Sicht verwehren würde, den weiter entfernt wohnenden aber nicht. Aber auch, wenn in der Sonne eine Höhlung wäre, so würde der östlicher gelegene Teil der Erde beschattet, der westlicher gelegene Teil dagegen beleuchtet werden. Und bei allen Gestirnen würde sich derartiges ereignen, wenn die Erdoberfläche hohl wäre; es würden nämlich die Bewohner des Westens den frühesten Ausgang der Gestirne haben. In Wahrheit ereignet sich aber gerade das Gegenteil. Auch die Polhöhe würde bei solcher Form der Erdoberfläche im Süden größer sein, den Bewohnern des Nordens aber kleiner infolge des der Sicht entgegenstehenden Erdrandes. In gleicher Weise würden bei solcher Form der Erdoberfläche den Bewohnern des Südens mehr Gestirne ständig sichtbar sein, und ebenso würde für sie der Polarkreis größer sein. Von allem diesem geschieht aber das Gegenteil. Die an der tiefsten Stelle der Höhlung wohnenden Menschen würden nicht imstande sein, die sechs Bilder des Tierkreises oberhalb ihres Horizontes zu sehen, auch nicht die Hälfte des Himmelsäquators. Ferner würden wir, wenn wir an eine tiefere Stelle kämen und gegen den Himmel sähen, nur einen kleinen Teil von ihm, nicht aber die Halbkugel des Himmels übersehen können. Die Nächte würden durchweg länger sein als die Tage, da ja der Teil des Himmelsgewölbes, der von uns aus gesehen unterhalb der Erde liegt, viel größer wäre als der Teil, der darüber liegt, wenn man dabei bedenkt, dass ja die Erde im Mittelpunkt der Welt gelegen ist.

Wenn aber die Erde würfelförmig wäre, so würde der Tag sechs Stunden, die Nacht achtzehn Stunden haben, da ja jede Fläche des Würfels sechs Stunden beleuchtet würde. Wenn aber die Erde die Form eines Tetraeders hätte, so würde jede der Seitenflächen acht Stunden beleuchtet werden.

Wenn nun die Ereignisse zeigen, dass die Erde keine der genannten Formen hat, so muss sie notwendigerweise kugelförmig sein, da irgendeine andere Form außerdem nicht in Frage kommt.

Wir können aber auch auf direktem Wege zeigen, dass die Erde kugelförmig ist, indem wir von den beobachteten Erscheinungen ausgehen. Aus denselben Argumenten nämlich, aus denen hervorging, dass die Erde keine der übrigen genannten Formen haben kann, leuchtet ein, dass sie kugelförmig ist. Erstlich verändert sich mit dem Standort der Horizont, ferner sieht man nicht von jedem Ort im Süden und Norden die gleichen Gestirne; weiter ist nicht die Polhöhe, die Größe des Polarkreises, die Länge der Tage und Nächte die gleiche. Alles dieses zeigt deutlich, dass die Erde kugelförmig ist. Bei irgendeiner anderen Gestalt der Erde könnte nämlich keines dieser Ereignisse eintreten, nur bei einer kugelförmigen Gestalt sind diese Ereignisse möglich. Wenn wir uns weiter auf dem Meere dem Lande nähern, so sehen wir zuerst die Bergspitzen des Landes, während uns alles Übrige durch die Krümmung der Wasserfläche verborgen ist. Denn

*erst, wenn wir über die Höhe der Krümmung gefahren sind, sehen wir die Täler und den Fuß der Berge. Und von dem Schiffe selbst aus werden etliche Teile des Landes vom Beobachter, der auf dem Deck oder innerhalb des Schiffsrumpfs steht, nicht gesehen, wohl aber kann man sie sehen, wenn man auf den Mast des Schiffes steigt, so dass man über die Krümmung der Wasserfläche hinwegsehen kann. Wenn das Schiff vom Land wegfährt, so entschwindet dem Blick zunächst der Rumpf des Schiffes, während man dann den Mast noch immer sehen kann. Wenn das Schiff sich dem Lande nähert, so sieht man vom Lande aus zuerst die Segel, während der Rumpf des Schiffes noch hinter der Krümmung der Wasseroberfläche verborgen ist. Dies alles zeigt mit fast mathematischer Gewissheit, dass die Erde die Gestalt einer Kugel hat.*

*Es ist nun durchaus notwendig, zu zeigen, dass auch die die Erde umgebende Luft eine Kugel darstellt. Die Luft nämlich nimmt die von der ganzen Erde sich erhebenden und zusammenströmenden Ausdünstungen auf. Diese bewirken, dass auch die Lufthülle kugelförmig ist. Andere als die festen Körper sind nämlich durchaus nicht imstande, vielerlei Gehalt anzunehmen, bei luft- und feuerförmigen Substanzen dagegen, sobald sie für sich allein sind, sind andere Formen als die Kugelform unmöglich. Solche Substanzen streben, sobald sie sich ausdehnen und sich in gleicher Weise von ihrem Mittelpunkt nach allen Seiten entspannen, nach der ihnen eigentümlichen Form, da ihre Substantialität sehr zart ist und kein fester Körper da ist, der eine andere Form hervorrufen könnte. Wenn nun die Lufthülle kugelförmig ist, so wird auch der Äther, der die Lufthülle rings umfasst, kugelförmig sein, da kein fester Körper ihn zu eckiger Gestalt umformt, oder in eine längliche Gestalt presst. Daher ist es ebenso durchaus notwendig, dass auch die ganze Welt die Gestalt einer Kugel hat. Es ist ja auch durchaus glaubhaft, dass der vollkommenste Körper und die Kugel die vollkommenste Gestalt hat. Die Welt ist ja wirklich der vollkommenste Körper und die Kugel die vollkommenste Form. Diese ist nämlich fähig, alle geometrischen Körper von gleichem Durchmesser in sich aufzunehmen. Umgekehrt ist aber kein anderer geometrischer Körper imstande, eine Kugel von gleichem Durchmesser in sich aufzunehmen. Es ist also die Welt wirklich eine Kugel.*

Die erste in ihrer Methode überlieferte Messung der Erdgröße wurde wahrscheinlich vom Aristoteles-Schüler Dikaiarch durchgeführt. Er beobachtete Zenitsterne in Syene und Lysimachia am Hellespont. In Syene stand damals u.a. der Krebs im Zenit, in Lysimachia der Kopf des Drachens. Beide Sternbilder sind 1/15 des Meridians voneinander entfernt. Die Entfernung der beiden Orte wurde auf 20000 Stadien geschätzt, womit man einen Erdumfang von 300000 Stadien erhält. Eine wesentlich genauere Messung führte Eratosthenes von Kyrene (276 – 195 v. Chr.) durch. Er leitete die Bibliothek von Alexandria und gilt heute als der erste Präzisions-Erdvermesser. Kleomedes schildert sein Verfahren:

### **Zitat 11: Kleomedes über Eratosthenes in „Die Kreisbewegung der Gestirne“**

*Über die Größe der Erde haben die Physiker oder Naturphilosophen verschiedene Meinungen, aber die des Poseidonios und Eratosthenes sind den übrigen vorzuziehen. Letzterer zeigt die Größe der Erde durch eine geometrische Methode; die Methode des Poseidonios ist einfacher. Beide setzten gewisse Hypothesen voraus und kommen durch aus diesen folgende Schlüsse zu ihren Demonstrationen ...*

*Die Methode des Eratosthenes beruht auf geometrischen Beweisen und macht den Eindruck, dass man ihr etwas schwerer folgen könne. Aber seine Darstellung wird klar werden, wenn wir folgendes vorausschicken: Wir nehmen an: 1. dass Syene (=Assuan) und Alexandria auf demselben Meridiane liegen; 2. dass die Entfernung dieser beiden Städte 5000 Stadien beträgt; 3. dass die Strahlen, die von verschiedenen Teilen der Sonne nach den verschiedenen Teilen der Erde herabgesandt werden, einander parallel sind; denn dies ist die Hypothese, auf der die Geometer weiter bauen. Sodann müssen wir 4. annehmen, dass, wie es die Geometer beweisen, parallele Gerade, von einer sie schneidenden Geraden unter gleichen Wechselwinkeln geschnitten werden, und 5. dass die Bögen, die gleichen Zentriwinkeln entsprechen, ähnlich sind, das heißt dasselbe Verhältnis zu ihren eigenen Kreisumfängen besitzen, wie desgleichen die Geometer beweisen. Wenn immer also Kreisbögen gleichen Zentriwinkeln entsprechen, z. B. der*

eine  $1/10$  seines eigenen Kreisumfanges hat, so werden auch die anderen Bögen  $1/10$  ihrer Kreisperipherie betragen.

Jeder, der diese Dinge verstanden hat, wird keine Schwierigkeit haben, die Methode des Eratosthenes zu verstehen, die die folgende ist: Syene und Alexandria liegen, wie gesagt, unter demselben Meridiane. Da Himmelsmeridiane größte Kreise des Himmels sind, so sind die Erdkreise, die unter ihnen liegen, notwendigerweise auch größte Kreise. Also, welche Größe auch immer der Erdmeridian, der durch Syene und Alexandria geht, haben mag nach dieser Berechnung, so groß ist auch der Erdumfang. Nun nimmt Eratosthenes an (und dies ist richtig), dass Syene unter dem Wendekreis des Sommers liegt. Wenn also die Sonne im Zeichen des Krebses zur Zeit der Sommersonnenwende genau in der Mitte des Himmels steht, so wird die Spitze des Weisers der Sonnenuhr keinen Schatten werfen, da die Sonne genau senkrecht über ihm steht. Es wird berichtet, dass dies für einen Durchmesser von 300 Stadien zutreffe. Zu derselben Zeit aber wirft in Alexandria die Spitze des Gnomons einen Schatten, weil Alexandria nördlich von Syene liegt. Die beiden Städte liegen unter demselben Meridian. Wenn man also einen Bogen von der Spitze des Schattens nach der Basis des Gnomons in Alexandria zieht, so wird dieser Bogen ein Segment des größten Kreises in der Halbkugel der Sonnenuhr sein, da die Kugel der Uhr unter dem größten Kreis-Meridian liegt. Wenn wir nun gerade Linien annehmen, die von jeder der Spitzen durch die Erde gehen, so werden sie sich im Erdmittelpunkt treffen. Da nun die Sonnenuhr in Syene senkrecht unter der Sonne steht, so wird, wenn man eine Gerade annimmt, die von der Sonne zur Spitze des Gnomons geht, diese Linie von der Sonne bis zum Erdmittelpunkt mit dem Erdradius zusammenfallen. Wenn wir (andererseits in Alexandria) eine andere gerade Linie annehmen, die von dem Ende des Schattens durch die Spitze selbst nach der Sonne geht, so werden diese und die vorhergenannte gerade Linie parallel sein, da sie Gerade sind, die von verschiedenen Teilen der Sonne nach verschiedenen Punkten der Erde gehen. An diese geraden Linien, die parallel sind, trifft die Gerade, die vom Erdmittelpunkt zur Spitze des Gnomons in Alexandria gezogen wird, so, dass die Wechselwinkel, die sie bildet, gleich sind. Einer dieser Winkel liegt am Erdmittelpunkt und zwar zwischen den Geraden, die von den Sonnenuhren nach dem Erdmittelpunkt gehen. Der andere Winkel in Alexandria liegt am Punkte des Schnittes der Spitze und der Geraden, die man von dem Ende ihres Schattens bis zur Basis des Gnomons geht, während über dem Winkel am Erdmittelpunkt der Bogen von Alexandria nach Syene liegt. Beide Bögen sind ähnlich, da sie gleichen Zentriwinkeln gegenüber stehen. Welches Verhältnis also der Bogen in der Kugel der Sonnenuhr zu seinem (ganzen) Kreise hat, dasselbe Verhältnis zeigt der Bogen von Alexandria nach Syene zu seinem eigenen Kreise, dem Umfang der Erde. Der Bogen in der Halbkugel der Sonnenuhr wurde als  $1/50$  seines Kreises gefunden. Also muss der Abstand von Syene nach Alexandria notwendiger Weise  $1/50$  des größten Kreises des Erdumfanges betragen. Diese genannte Entfernung beträgt 5000 Stadien; also misst der ganze größte Kreis 250 000 Stadien. – Dies ist die Methode des Eratosthenes. (H. Balss)

Umgerechnet auf das Meter erhält man einen Wert zwischen 37500 km und 50000 km (je nach Stadion). Die Spannbreite ist allein Ausdruck der ungewissen Umrechnung ins Metermaß, nicht Fehler des Eratosthenes.

Die gleiche Methode der Bestimmung des Winkels zwischen den Loten zweier Beobachtungsorte wendet Poseidonios (135 – 51 v. Chr.) an, wovon wiederum Kleomedes berichtet. Er untersucht nicht die zenitnahen Stände der Sonne, sondern die Horizontsichtbarkeit eines hellen Sterns während der Kulmination im Süden (Abb. 6).

### **Zitat 12: Kleomedes über Poseidonios in „Die Kreisbewegung der Gestirne“**

Poseidonios sagt, dass Rhodos und Alexandria auf demselben Meridian liegen. Meridiankreise sind Kreise, die durch die Pole des Universums und durch den Punkt über dem Scheitel einer Person, die auf der Erde steht, gezogen werden. Die Pole sind für alle diese Kreise dieselben, aber der senkrechte Punkt ist für die verschiedenen Personen verschieden. Daher können wir eine unendliche Zahl von Meridiankreisen ziehen. Rhodos und Alexandria liegen unter

*demselben Meridiankreis und man nimmt an, dass der Abstand beider Städte 5000 Stadien betrage. Nehmen wir dies als richtig an.*

*Alle Meridiankreise gehören zu den größten Kreisen, die das Himmelsgewölbe in zwei gleiche Teile teilen und durch die Pole gezogen werden. Mit diesen Hypothesen geht Poseidonios so vor, dass er den Tierkreis, der den Meridiankreisen gleich ist, weil er ebenfalls das Universum in 2 gleiche Teile teilt, in 48 gleiche Teile teilt, indem er also jeden von den 12 Teilen desselben (je ein Zeichen) in 4 gleiche Teile teilt. Wenn man also den Meridiankreis durch Rhodos und Alexandria in dieselbe Zahl von Teilen, also in 48, wie den Tierkreis teilt, so sind seine Segmente gleich den ebengenannten Segmenten des Tierkreises. Denn wenn gleiche Größen in (die gleich Zahl von) gleichen Teilen geteilt werden, so werden die Teile der geteilten Größen einander beziehungsweise gleich sein. Poseidonios stellt des weiteren fest, dass der sehr helle Stern, den man Canopus nennt, im Süden praktisch am Steuer der Argo liegt. Dieser Stern wird in Griechenland überhaupt nicht gesehen; daher erwähnt ihn auch Aratos in seinen „Phänomena“ nicht. Aber wenn man von Norden nach Süden geht, so wird er zuerst bei Rhodos sichtbar, wo er, wenn er am Horizont sichtbar wird, sofort wieder untergeht, wenn sich das Universum weiter dreht.*

*Wenn wir aber die 5000 Stadien nach Alexandria gesegelt sind, so ist dieser Stern, wenn er genau in der Mitte des Himmels steht (durch den Meridian geht), ein Viertel eines Tierkreiszeichens über den Horizont erhoben, d. h. also den achtundvierzigsten Teil des Tierkreises. Es folgt daraus, dass das Segment desselben Meridiankreises, der über der Entfernungslinie von Rhodos und Alexandria liegt,  $1/48$  des genannten Kreises beträgt, weil die Entfernung des Horizonts von Rhodos von dem von Alexandria gerade  $1/48$  des Tierkreises beträgt. Da also die Erdstrecke unter diesem Segment auf 5000 Stadien geschätzt wird, so messen die Teile (der Erde) unter den anderen (gleichen) Segmenten (des Meridiankreises) ebenfalls je 5000 Stadien. Und so wird der größte Kreis der Erde auf 240 000 Stadien ermittelt (= 48 mal 5000 Stadien), wenn man annimmt, dass die Entfernung von Rhodos nach Alexandria 5000 Stadien beträgt; falls diese Zahl nicht genau ist, so bleiben doch die Verhältnisse dieselben. Dies also ist die Methode, mit der Poseidonios die Größe der Erde ermittelt. (H. Balss)*

Poseidonios erhält als Winkel zwischen den Kulminationshöhen den 48. Teil des Vollkreises. Dies entspricht wie im Falle von Syene und Alexandria der Differenz in geographischer Breite, denn auch Rhodos und Alexandria liegen auf nahezu dem selben Längengrad. Den Abstand Rhodos-Alexandria schätzt Poseidonios zunächst auf 5000 Stadien. Dabei ist zu bedenken, dass die Entfernung zweier Städte über See schwieriger zu bestimmen als auf dem Land. Bei einem Erdumfang von 240000 (= 48 x 5000) Stadien erhält man für den Umfang des Rhodos-Parallels (36. Breitengrad) einen Wert von 180000 Stadien. Die Länge der Ökumene wurde zu 70000 Stadien angenommen. Strabo nennt diesen Wert die „Länge der bewohnten Welt“ und er erwähnt auch die Möglichkeit einer westwärts gerichteten Seereise nach Indien. Später fanden die 180000 Stadien auch in der Geografie des Claudius Ptolemäus Verwendung.

### **Zitat 13: Strabo über den Seeweg nach Indien, Geografika, 2. Buch, Kapitel 3**

*Endlich nimmt er [Poseidonios] an, dass die etwa 70000 Stadien betragende Länge der bewohnten Erde die Hälfte des ganzen Kreises sei, auf dem sie gemessen worden, so dass man, mit Ostwind von Westen her segelnd, mit ebenso viel tausend Stadien wohl nach Indien kommen könne.*

*(A. Forbiger)*

Strabo überliefert hier einen Fehler des Poseidonios, auf den sich noch Christoph Kolumbus im 15. Jahrhundert bei seinen Überlegungen über die Reisedauer bei einer westwärts gerichteten Seereise nach Indien stützt. Poseidonios schätzte nämlich bei späteren „Berichtigungen“ seiner Betrachtungen die Entfernung von Alexandria und Rhodos auf 3750 Stadien. Dies war kein Messwert, sondern das Ergebnis, welches sich aus der Erdvermessung des Eratosthenes ableiten ließ. Bei der Weiterverarbeitung dieses Wertes in seiner Erdmessung unterlief Poseidonios

folglich ein methodischer Fehler, da die Bezugslänge unabhängig und ohne Rückgriff auf die Winkelmessung bestimmt werden muss. Mit seiner Winkeldifferenz der Kulminationshöhen von Kanopus in Rhodos und Alexandria von  $\frac{1}{48}$  des Vollkreises erhält er mit dieser revidierten Distanz einen Erdumfang von 180000 Stadien und folglich einen Umfang von ca. 145000 Stadien für den Rhodos-Parallel. Dies entspräche etwa der Hälfte der bekannten Welt, wie aus dem Strabo-Zitat (Zitat 13) hervorgeht.

Eratosthenes war der erste, der die Erdbeschreibung in eine wissenschaftlich geprägte Kartografie umsetzte. Als Hauptlinien für sein Weltbild setzte er den Parallelkreis an, der von den Säulen des Herakles (Gibraltar) über Rhodos verläuft. Als Bezugslängengrad nahm er einen Hauptmeridian durch Meroe, Syene, Alexandria, Rhodos, den Hellespont und Thule an. Alle Breiten- und Längengrade schnitten sich unter rechten Winkeln (Abb. 7 & 8). Eratosthenes unternahm damit noch keinen Versuch, das Zusammenlaufen der Längengrade am Pol in daran angepassten Abbildungsvorschriften oder Kartenprojektionen zu berücksichtigen. Gegen Norden hin ist seine Weltkarte, die sich aus Strabos Berichten rekonstruieren lässt, durch den Breitenkreis von Thule begrenzt. Damit stützt er sich, wie später auch noch Ptolemäus in seiner Geografie, auf die Pytheasberichte von der sagenumwobenen Insel Thule.

#### ***Zitat 14: Strabo über das geographische System des Eratosthenes, Geografika I,4***

*Kap. 2) Hierauf grenzt er die Fläche der bewohnten Erde ab und behauptet, dass die Entfernung von Meroe auf dem durch diese Stadt gehenden Meridian bis Alexandria 10 000 Stadien betrage, die Entfernung von hier bis zum Hellespont (Dardanellen) etwa 8 100, sodann bis zum Borysthenes (Dnjepr) 5000, ferner bis zum Breitenkreis durch Thule (von Thule behauptet Pytheas, es liege sechs Tagereisen nördlich von Britannien und sei dem Eismeer nahe) weitere rund 11500.*

*Kap. 3) Die sonstigen Abstände sollen ihm zugegeben sein, denn darüber ist man hinlänglich einig; aber welcher vernünftige Mensch wird ihm den Abstand vom Borysthenes bis zum Kreis durch Thule zugeben? Denn Pytheas, der Thule erforscht hat, hat sich als der lügenhafteste Mensch erwiesen, und alle, die Britannien und Irland gesehen haben, sagen nichts von Thule, obgleich sie andere kleine Inseln um Britannien herum erwähnen ...*

*Kap. 4) Dass aber der Breitenkreis durch den Borysthenes gleichlaufend mit dem durch Britannien sei, schließen Hipparch und andere daraus, dass auch der durch Byzanz derselbe sei wie durch Marseille; denn dasselbe Verhältnis zwischen dem Zeiger der Sonneuhr und dem Schatten, das er (Pytheas) für Marseille angegeben hat, dasselbe behauptet er (Hipparch) zur gleichen Zeit in Byzanz zu finden. Die Entfernung von Marseille bis zur Mitte Britanniens ist jedoch nicht größer als 5000 Stadien, und trotzdem dürfte man, wenn man weiter als 4000 Stadien von der Mitte Britanniens aus reist, kaum noch auf irgend eine andere Weise Land finden, (dies dürfte aber die Gegend von Irland sein) so dass auch die noch darüber hinaus liegende Gegend, in die Eratosthenes Thule versetzt, nicht mehr bewohnbar sein kann. Wie er aber dazu kommt, die Entfernung vom Kreis durch Thule bis zu dem durch den Borysthenes mit 11500 Stadien anzugeben, sehe ich nicht ein.*

*(D. Stichtenoth)*

Erst Ptolemäus berücksichtigte das Zusammenlaufen der Längengrade im Pol. Er erfand kartografische Netze, die dies darstellen und die Flächenverzerrungen der nördlich gelegenen Regionen gegenüber den Gebieten der Mittelmeergegend, wie sie bei der Karte des Eratosthenes auftreten, mindern. Damit gilt er als Vater der modernen Kartografie. Ptolemäus führte eine Kegelprojektion mit dem Pol als Zentrum der Projektion ein. Ferner eine Projektion, die auf dem Kegel basiert, aber die Parallelkreise wieder derart zusammenstaucht, dass alle Längengrade gewölbt erscheinen. Damit erreicht er beim Betrachter die Illusion eines Ausschnittes aus der Oberfläche einer Kugel. In seinem Hauptwerk zur Geografie, der „Geographia“, schildert Ptolemäus, wie durch die gleichzeitige Beobachtung von Mondfinsternissen in verschiedenen Gegenden die Längendifferenzen ermittelt werden können:

### **Zitat 15: Ptolemaios in der Geographia I, 4, 2**

*Dagegen sind die meisten Entfernungen, und ganz besonders die nach Osten oder Westen, recht ungenau überliefert, nicht aus Leichtfertigkeit derjenigen, die sich mit deren Erforschung befassten, sondern wohl deswegen, weil die auf astronomischer Beobachtung beruhende Berechnung noch nicht geläufig war und weil man noch nicht zum selben Zeitpunkt an verschiedenen Orten beobachtete Mondfinsternisse der Aufzeichnung wert hielt, wie diejenige, die in Arbela zur 5. Stunde, in Karthago aber zur 2. Stunde eintrat; daraus würde sich ergeben, wie viele Äquatorialgrade nach Osten oder Westen die Orte voneinander entfernt sind.*

Die Bestimmung des Breitengrades erfolgt auch zur Blütezeit der antiken Astronomie und Geografie weiterhin durch die Ermittlung der Dauer des längsten Tages.

### **Zitat 16: Plinius der Ältere, 'Naturgeschichte' II § 186 f.**

*So kommt es, dass durch die verschiedene Zunahme des Lichtes in Meroe der der längste Tag 12 1/8 Äquinoktialstunden beträgt, in Alexandria dagegen 14 Stunden, in Italien 15 Stunden und in Britannien 17 Stunden, wo die hellen Sommernächte das ohne Zweifel bekräftigen – was die Vernunft zu glauben zwingt: wenn sich nämlich in den Tagen der Sommersonnenwende die Sonne dem Pol nähert, dann haben, da der Umlauf des Lichtes enger geworden ist, jene Polarländer sechs Monate beständig Tag, und wenn im Gegenteil sie sich um die Wintersonnenwende entfernt hat, ebenso lange Nacht. Dasselbe soll, wie Pytheas von Marseille berichtet, auf der Insel Thule der Fall sein, die sechs Tagereisen nach Norden von Britannien entfernt ist. Einige behaupten das auch von der Insel Mona, die von der britannischen Stadt Camalodunum (Colchester) ungefähr 200 römische Meilen entfernt ist.*  
(D. Stichtenoth)

In der Geographia befinden sich umfangreiche Listen mit den geographischen Koordinaten der Städte, Küstenverläufe, Flüsse und sonstigen markanten Gegenden. Die Koordinaten werden im Gradmaß angegeben und die Länge bezieht sich auf den westlichen Rand der bekannten Welt bei den Kapverdischen Inseln (Abb. 9). Ob Ptolemäus auch selber Weltkarten gezeichnet hat, ist umstritten. Erhalten sind nur byzantinische Exemplare, die möglicherweise Kopien oder Rekonstruktionen der Karten des Ptolemäus sind. Sie zeigen z.B. die Nilschleife, was als Indiz für die Authentizität gewertet werden kann. Die Abbildung 10 zeigt einen Kartenausschnitt aus einer solchen Weltkarte in Kegelprojektion.

### **Referenzen und Quellen**

Homer: Ilias – Odyssee; Deutsch von J.H.Voss, Parkland Verlag, Köln 2000

Herodot: Historien, Deutsche Gesamtausgabe; übersetzt von A. Horneffer, 4. Aufl., Alfred Kröner Verlag, Stuttgart 1971, IV. Buch, Kap. 42 - 43

Pytheas von Marseille: Über das Weltmeer – Die Fragmente übersetzt und erläutert von D. Stichtenoth; Böhlau Verlag, Köln Graz 1959

Aristoteles: Über den Himmel – Vom Werden und Vergehen; hrsgg., übertragen und in ihrer Entstehung erläutert von Dr. Paul Gohlke, Verlag Ferdinand Schöningh, Paderborn 1958

Strabo's Erdbeschreibung; übersetzt und durch Anmerkungen erläutert von Dr. A. Forbiger, Hoffmann'sche Verlags-Buchhandlung, Stuttgart 1856

C. Ptolemäus: Handbuch der Astronomie, Bd. I, deutsche Übersetzung und erläuternde Anmerkungen von K. Manitius, B.G.Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1963, Erstes Buch, Viertes Kapitel

Gaius Secundus Plinius: Historia Naturalis – Naturgeschichte; hrsgg. von Max Ernst Dietrich Lebrecht Strack, Nachdruck der 1. Auflage von 1853, Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt 1968

H. Bals: Antike Astronomie; Tusculum-Bücherei bei Ernst Heimeran, München 1949

Kleomedes: Die Kreisbewegung der Gestirne; übersetzt und erläutert von Dr. Arthur Czwalina, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1927

A. Stückelberger: Bild und Wort – das illustrierte Fachbuch in der antiken Naturwissenschaft, Medizin und Technik; Verlag Philipp von Zabern, Mainz 1994

S. Sambursky: Das physikalische Weltbild der Antike; Artemis Verlag Zürich und Stuttgart 1965  
L. Bagrow & R.A.Skelton: Meister der Kartografie; Safari Verlag, Berlin 1964  
O.A.W. Dilke: Mathematics and Measurement; 5th Impression, British Museum Press, London 1996, p  
35  
K. Reinhardt: Poseidonius; Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München 1921  
Kleomedes: Die Kreisbewegung der Gestirne; übersetzt und erläutert von Dr. Arthur Czwalina,  
Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1927  
G. Sammet: Der vermessene Planet – Bilderatlas zur Geschichte der Kartographie; Geo im Verlag Gruner  
& Jahr, Hamburg 1990

## B) Unterrichtsprojekte zur Bestimmung der Erdgröße

Die Methoden der antiken Astronomen und Geografen eignen sich auch heute noch für die Bestimmung der Erdgröße im Unterricht. Im folgenden werden vier Möglichkeiten vorgestellt, die sich eng an die Methode von Eratosthenes und Posidonius, sowie die bei Strabo und Ptolemäus beschriebenen Sichtverhältnisse auf offener See anlehnen.

### 1) Bestimmung der Erdgröße aus Zenitbeobachtungen an zwei verschiedenen Orten

Eratosthenes bestimmte den Winkel zwischen den Lotrichtungen in Syene und Alexandria anhand des Schattenwurfes der Sonne; Posidonius wertete die Kulminationshöhen eines horizontnahen Sterns in Rhodos und Alexandria aus. Hier wird ein Projekt vorgestellt, das sich der frühesten dokumentierten Methode der Erdvermessung von Dikaiarch bedient: Die Bestimmung des Winkelabstandes (der Deklinationsdifferenz) von Sternen, die in dem einen bzw. anderen Ort im Zenit stehen können (Abb. 11). Dazu fertigt man an zwei Orten unterschiedlicher geographischer Breite jeweils eine Strichspuraufnahme des Zenits mit einer Kamera an, deren Filmebene waagrecht orientiert ist und die man ohne Nachführung nachts ca. 10 – 20 Minuten belichtet. Damit ist gewährleistet, dass der Zenit in der Bildmitte abgebildet wird und folglich später bei der Auswertung leicht rekonstruiert werden kann. Die Abbildung 12 zeigt zwei solcher Aufnahmen, die in Recklinghausen und Toulon / Südfrankreich mit einer Objektivbrennweite von 135 mm (Teleobjektiv) entstanden sind. Zwischen Recklinghausen und Toulon liegt eine Fahrstrecke von ca. 1300 km. Bei Städte sind ungefähr auf dem gleichen Längengrad und ihr Abstand entlang des Längengrades wird auf 1100 km geschätzt. Das in Recklinghausen entstandene Foto (Abb. 12 oben) zeigt helle Sterne in der Mitte des Sternbilds Perseus (*a Per*, *g Per*; Deklinationen 49,9°, 53,5°). Die Deklination des Zenits beträgt demnach ca. 50,8°. Das in Toulon entstandene Foto (Abb. 12 unten) zeigt einen Ausschnitt des großen Bären im Bereich einer Hintertatze. Die zenitnahen Sterne sind *I UMa* (Deklination 42,9°) und *m UMa* (Deklination 41,5°). Der Zenit von Toulon hat demnach eine Deklination von ca. 42,7°. Die Deklinationsdifferenz beträgt 8,1° und damit liegt zwischen den beiden Zenitrichtungen der 44. bis 45. Teil des Vollkreises. Der Erdumfang berechnet sich dann zu 48000 bis 50000 km. Die Fehlerquellen liegen im wesentlichen in der geschätzten Entfernung der beiden Städte und der Justage der Kamera.

### 2) Bestimmung der Erdgröße durch Höhenmessung an entfernten Objekten

Weil die kugelförmige Erde sich unter dem Beobachter wegkrümmt, sieht man alle aufragenden Punkte in der Landschaft in geringeren Höhenwinkeln, als dies auf einer Scheibenerde der Fall wäre. Misst man den Höhenwinkel eines entfernten Gebäudes z.B. mit einem Theodolithen, der eine Genauigkeit von 1 Bogenminute oder ca. 0,01° gewährleistet, und kennt man die Abstände der angepeilten Landmarken vom Beobachtungsort, so lässt sich die Erdgröße rechnerisch ermitteln. Die Formel wird anhand der Abbildung 13 abgeleitet. Darin markiert B den Beobachtungsort und L-L' die angepeilte Landmarke der Höhe  $\Delta h$  (hiermit ist die Höhendifferenz zwischen Beobachteraue und Landmarke gemeint). Der Abstand zwischen beiden Orten auf der Bezugskugel durch B gleicht nahezu der Sehne  $s$  zwischen B und L, solange  $s$  viel kleiner als der Erdradius  $R$  ist. Dann sind auch die Winkel  $b$  nahezu rechtwinklig. Für das Dreieck BLL' gilt:

$$\tan(q + a) = \frac{\Delta h}{s}$$

Darin ist  $q$  der zu messende Höhenwinkel. Ferner gilt:  $a + b = 90^\circ$ ,  $2b + c = 180^\circ$  und  $c = s/R$ . Mit Hilfe der Beziehungen eliminiert man nun  $a$  ( $= c/2 = s/2R$ ) aus der obigen Formel und erhält:

$$\tan\left(\mathbf{q} + \frac{s}{2R}\right) = \frac{\Delta h}{s}$$

Da der Winkel  $\mathbf{q} + s/2R$  sehr klein ist (es handelt sich ja um Horizontbeobachtungen) gilt näherungsweise folgende Beziehung:

$$\tan \mathbf{q} + \frac{s}{2R} = \frac{\Delta h}{s}$$

Umgestellt nach  $R$  lautet das Endergebnis:

$$R = \frac{s^2}{2 \cdot (\Delta h - s \cdot \tan \mathbf{q})}$$

Einige Probemessungen zur Bestimmung der Erdgröße nach dieser Methode wurden am 1. Juni 2003 gegen 21 Uhr MESZ von der Halde Hoheward in Recklinghausen und Herten durchgeführt. Die Höhe des Beobachterauges lag bei 152 m über NN. Angepeilt wurden die Oberränder der Gasometer in Oberhausen und Bottrop (Abb. 14), die Spitze des Tetraeders in Bottrop und das Turmrestaurants des Dortmunder Fernsehturms. Die folgende Tabelle fasst die Messergebnisse zusammen:

Landmarke	Höhe h (Boden + Bau) Entfernung s	Dh in m	q in Grad	R in km (geom.)
Gasometer Oberhausen	h = 35m+117m=152m s = 22,3 km	0	-0,12°	5324
Gasometer Bottrop	h = 35m +108m=143m s = 15,0 km	-11	-0,13°	4884
Tetraeder Bottrop	h = 121m + 50m=171m s = 15,2 km	+19	-0,02°	4753
Fernsehturm Dortmund	h = 120m+138m=258m s = 22,7 km	+106	+0,14°	5099

In der fünften Spalte ist das Ergebnis für den Erdradius gemäß der eingangs abgeleiteten Formel angeführt. In der Geodäsie ist bekannt, dass flach über dem Erdboden verlaufende Lichtstrahlen einen mit der Tageszeit und Witterung schwankenden und von der Oberflächenbeschaffenheit abhängigen Lichtbrechungseffekt erleiden (terrestrische Refraktion). Im Allgemeinen führt dieser Effekt zur scheinbaren Anhebung des Peilziels. Man sieht es wegen der Krümmung des Lichtstrahls höher, als es eigentlich geometrisch steht. Im Mittel folgt der Lichtstrahl einem Kreisbogen mit dem achtfachen Erdradius, der wie die Erdoberfläche konvex gekrümmt ist. In der Formel berücksichtigt man dies durch die Einführung eines Refraktionskoeffizienten  $k$ , dessen Mittelwert  $1/8$  beträgt:

$$\tan \mathbf{q} + \frac{s}{2R} - k \cdot \frac{s}{2R} = \frac{\Delta h}{s}$$

⇔

$$\frac{R}{(1-k)} = \frac{s^2}{2 \cdot (\Delta h - s \cdot \tan \mathbf{q})}$$

Setzt man für  $R$  den bekannten Erdradius ein, so erhält man für die Probemessungen negative Refraktionskoeffizienten von ungefähr  $k = -0,2 \dots -0,3$ . Diese Diskrepanz zum typischen Wert deutet auf veränderte Refraktionsverhältnisse in der Abenddämmerung hin.

Die Höhenmessung ist auf ca. 1' Bogenminute genau. Ein Fehler dieser Größe wirkt sich im Bereich von tausend Kilometern im Erdradius aus. Die Hauptfehlerquellen bei dieser Methode liegen in der Genauigkeit der Höhenmessung und in der Unkenntnis des exakten  $k$ -Wertes. Am 17. Juni zwischen 20.30 Uhr und 20.50 Uhr entstanden bei diesigem und bewölktem Himmel vor einem starken Regen und Gewitter (21.30 Uhr) die in der folgenden Tabelle zusammengefaßten Messungen.

Landmarke	Höhe $h$ (Boden + Bau) Entfernung $s$	Dh in m	q in Grad	R in km (geom.)
Gasometer Oberhausen	$h = 35\text{m} + 117\text{m} = 152\text{m}$ $s = 22,3 \text{ km}$	0	$-0,15^\circ$	4259
Tetraeder Bottrop	$h = 121\text{m} + 50\text{m} = 171\text{m}$ $s = 15,2 \text{ km}$	+19	$-0,03^\circ$	4285
Fernsehturm Dortmund	$h = 120\text{m} + 138\text{m} = 258\text{m}$ $s = 22,7 \text{ km}$	+106	$+0,13^\circ$	4728

Immer ist der geometrisch ermittelte Wert gegenüber dem tatsächlichen Erdradius von 6371 km (Radius der volumengleiche Kugel; die Erde ist etwas abgeplattet) zu klein. Auch diese Messreihe deutet auf einen stark negativen Refraktionskoeffizienten hin.

### 3) Bestimmung der Erdgröße durch Beobachtung von Objekten, die z.T. hinter der sichtbaren Linie des entfernten Meereshorizontes versteckt sind

Diese Methode leitet sich direkt von der bei Strabo und Ptolemäus beschriebenen Verschwindung der unteren Partien eines Schiffes oder einer Landmarke unterhalb der Horizontlinie ab. Man kann sie nur auf See anwenden. Hier wird eine Methode vorgestellt, die auf einer Fotografie basiert, die in den Ferien an der See erstellt wurde und sich nun auch nachträglich im Inland auswerten lässt. Das Verfahren, das ganz ohne Winkelmessungen auskommt und in das nur messbare oder schätzbare Längen einfließen, wird anhand der Abbildung 15 ersichtlich.

Der Beobachter am Ort B in der Höhe  $H$  sieht nur den oberen Teil eines entfernten Schiffes (roter Strich) an der Stelle S bis zur Höhe  $h$ . Der Sehstrahl zwischen  $H$  und  $h$  berührt die Meeresoberfläche tangential an der Stelle T. Die Erdmitte bildet mit T und  $H$  bzw.  $h$  rechtwinklige Dreiecke, für die zur Bestimmung des Erdradius  $R$  der Lehrsatz des Pythagoras angewendet werden kann:

$$(R + H)^2 = R^2 + s(H)^2 \quad \text{bzw.} \quad (R + h)^2 = R^2 + s(h)^2$$

Zur Auswertung müssen die Höhen  $H$  und  $h$ , die Entfernung  $s = s(H) + s(h)$  und das Verhältnis der Strecken  $s(H)$  und  $s(h)$  bekannt sein. Dieses Verhältnis wird im nächsten Abschnitt abgeleitet. Hier wird es als Teilergebnis zunächst ohne Kommentar weiterverwendet. Mit  $s(h)/s(H) = \sqrt{h/H}$  erhält man:

$$s(H) = s - s(h) = s - s(H) \cdot \sqrt{h/H}$$

$\Leftrightarrow$

$$s(H) \cdot (1 + \sqrt{h/H}) = s$$

$\Leftrightarrow$

$$s(H) = \frac{s}{(1 + \sqrt{h/H})}$$

Für das erste Dreieck gilt damit:

$$(R + H)^2 = R^2 + \left( \frac{s}{1 + \sqrt{h/H}} \right)^2$$

⇔

$$R = \frac{s^2}{2H \cdot (1 + \sqrt{h/H})^2} - H \cong \frac{s^2}{2H \cdot (1 + \sqrt{h/H})^2} \quad (\text{für } H \ll R)$$

Auch diese Formel diskutiert nur die Geometrie, nicht jedoch die Krümmung des streifenden Lichtstrahls durch die terrestrische Refraktion. Der sichtbare Meereshorizont (die sog. „Kimm“) wird dadurch scheinbar angehoben und er stellt sich dem Schiff mehr in den Lichtweg. Auf dem zweiten Teilstück krümmt sich aber der Sehstrahl in Richtung der angepeilten Stelle weiter hinunter und man erblickt doch wieder einige der im geometrischen Sinne verborgenen Partien des Schiffes. Da die Refraktion sich im Laufe des Tages und der Witterung ändern kann, steht die Kimm in leicht variablen Höhen. Dies ist in Abbildung 16 dokumentiert, die aus jeweils der gleichen Aufnahme position gemacht wurde. Die obere Hauskante fällt sehr genau mit der Kimm zusammen und am Versprung zwischen der Kante und Kimm erkennt man die Schwankung. Bei diesem Beobachtungsprojekt wurde die Kimm auch einmal deutlich oberhalb der Hauskante gesehen, was leider nicht fotografisch dokumentiert wurde (in Abb. 16 oben durch die obere gelbe Linie angedeutet). Die Auswertung der Fotografie ergab eine maximale Schwankung im Beobachtungszeitraum von 1-2 Bogenminuten.

Bei der Bestimmung der Erdgröße anhand der Fotografie in Abbildung 17 bleibt der Refraktionseffekt unberücksichtigt. Das Foto entstand in einer geschätzten Beobachtungshöhe von  $H = 25 \text{ m}$ . Das Schiff (leider nicht ganz scharf abgebildet) ist bis zu einer Höhe von der Kimm bedeckt, die etwa  $h = 15 \text{ m}$  über der Wasserlinie liegt. Die Bordwand des Schiffes ist nicht mehr sichtbar und nur noch die Schiffskräne und die Aufbauten mit der Kommandobrücke ragen über die Kimm. Die Entfernung des Schiffes lässt sich mit Hilfe seiner Größe auf dem Film abschätzen. Die Aufnahme entstand mit einer Objektivbrennweite von  $1000 \text{ mm}$ . Die Entfernung  $s$  erhält man aus der Bildgröße  $B$ , der Gegenstandsgröße  $G$  und der Objektivbrennweite  $f$  nach der Beziehung  $s = f \cdot G / B$ . Mit  $B = 4,4 \text{ mm}$  (nach Abb. 17; die gesamte Bildbreite ist  $36 \text{ mm}$ ),  $G = 100 \text{ m}$  (geschätzte Länge des Schiffes) und  $f = 1000 \text{ mm}$  erhält man  $s = 22,7 \text{ km}$ . Einsetzen der Wert für  $H$ ,  $h$  und  $s$  in die Formel für  $R$  liefert schließlich einen Erdradius von ca.  $3300 \text{ km}$ . Die Hauptfehlerquelle liegt in den Refraktionseinflüssen. Die Längen, die hier nur grob abgeschätzt wurden, lassen sich bei sorgfältigem Arbeiten wesentlich genauer bestimmen.

#### 4) Bestimmung der Erdgröße durch Messung der Kimmtiefe

Der sichtbare Meereshorizont verläuft in einem leicht messbaren negativen Höhenwinkel, der von der Standhöhe des Beobachtungsauges über dem Meeresspiegel abhängig ist. Die Winkelhöhe des Meereshorizontes ist immer kleiner Null, da sich die kugelförmige Erde in der Ferne unterhalb einer gedachten, mit der Wasserwaage eingerichteten Horizontebene wegkrümmt. Je höher der Beobachter steht, desto tiefer vermag er auf den entfernten Rand der Erdkugel hinabzublicken. Die Formel zur Ermittlung der „Kimmtiefe“, der negativen Höhe des Meereshorizontes, lässt sich geometrisch ableiten. Die Abbildung 18 zeigt die Beziehung der relevanten Größen Erdradius  $R$ , Augeshöhe  $H$ , Kimmentfernung  $S$  und Kimmtiefe  $K$ . Ausgewertet wird das Dreieck in Abbildung 18b), welches aus der Erdmitte, dem angepeilten Horizontpunkt und dem Beobachtungsort  $B$  besteht. Die Kimmentfernung  $S$  berechnet sich näherungsweise zu  $S \approx K \cdot R$ . Die Kimmtiefe  $K$  ist auch der Winkel zwischen der Hypotenuse des rechtwinkligen Dreiecks (Verbindung Beobachter – Erdmitte, Länge  $R + H$ ) und der Kathete, die von der Erdmitte an den Horizontpunkt ragt (Länge  $R$ ). Die elementare Trigonometrie liefert:

$$S^2 + R^2 = (H + R)^2$$

mit  $S \approx K \cdot R$  gilt :  $R^2(K^2 + 1) = (H + R)^2$

⇔

$$K^2 = \left( \frac{H + R}{R} \right)^2 - 1 = \frac{H^2 + 2HR}{R^2} = H \cdot ((H/R) + 2) / R$$

⇔

$$K = \sqrt{H} \cdot \sqrt{\frac{(H/R) + 2}{R}} \approx \sqrt{2H/R}$$

mit  $R = 6371 \text{ km}$  (Erdradius) folgt

$$K \approx 1,93' \cdot \sqrt{H[\text{in m}]}$$

Trägt man noch der kleinen Anhebung der Kimm durch die terrestrische Refraktion Rechnung (angedeutet in Abbildung 18c), erhält man folgendes Endergebnis:

$$K \approx 1,78' \cdot \sqrt{H[\text{m}]}$$

Die Formel  $K \approx \sqrt{2H/R}$  lässt sich zur Bestimmung des Erdradius verwenden. Eine Probenmessung aus einer Höhe  $H = 80 \text{ m}$  lieferte eine Kimmtiefe von  $K = 14' \pm 1'$ . Damit erhält man für den Erdradius den Wert von ca.  $9650 \text{ km}$ .

Das unter Punkt 3 verwendete Verhältnis  $s(h)/s(H) = \sqrt{h/H}$  erhält man bei der Division von  $K(h)$  durch  $K(H)$ .

#### 4) Bestimmung der Erdgröße aus dem Zeitunterschied des Sonnenuntergangs für zwei verschiedene Augeshöhen

Je höher ein Beobachter über dem Meeresspiegel steht, desto größer ist die Kimmtiefe. Dann aber sieht man den Untergang des Sonnenoberrandes später als ein tiefer postierter Beobachter. Bei bekannter Höhendifferenz, Jahreszeit, geographischer Breite und Zeitdifferenz des Sonnenuntergangs lässt sich wieder die Erdgröße ermitteln. Für die Kimmtiefendifferenz zweier unterschiedlich hoch postierter Beobachter (in Radiant) gilt:

$$\Delta K = K(h_2) - K(h_1) = \sqrt{2h_2/R} - \sqrt{2h_1/R}$$

⇔

$$R = \frac{1}{\Delta K^2} \cdot \left[ \sqrt{2h_2} - \sqrt{2h_1} \right]^2$$

Die Kimmtiefendifferenz lässt sich aus der Zeitdifferenz der Sonnenuntergänge ermitteln. Die Sonne legt ihren Durchmesser (ca.  $0,5^\circ$ ) während der Äquinoktien (Sonnendeklination  $d = 0$ ) in ca. 120 Sekunden zurück. Bei Deklinationen ungleich Null verlängert sich diese Zeitspanne um den Faktor  $1 / \cos d$ . Die Bewegung der Sonne erfolgt entlang ihrer Tagesbahn, die nur am Äquator senkrecht in den Horizont fällt. Auf anderen Breitenkreisen sinkt sie unter einem Winkel  $a$  in den Horizont hinein. Dieser Winkel zwischen Horizont und Sonnenbahn hängt auch noch von der Sonnendeklination und der astronomischen Refraktion ab, die die Sonnenbahnen in Horizontnähe „verbiegt“ (Abb. 19). Um das Beobachtungsprojekt möglichst einfach zu halten, wird der Untergangswinkel  $a$  bei der Sonnenuntergangsbeobachtung geschätzt. Damit berechnet sich die Höhendifferenz  $DK$ , die die Sonne in der Zeit  $Dt$  zurücklegt zu:

$$\Delta K = \Delta t \cdot \frac{0,5^\circ}{120 \text{ s}} \cdot \frac{p}{180} \cdot \frac{\sin a}{\cos d}$$

Einsetzen in die Formel für R liefert:

$$R = \left[ \frac{\sqrt{2h_2} - \sqrt{2h_1}}{\Delta t \cdot \frac{0,5^\circ}{120 \text{ s}} \cdot \frac{p}{180} \cdot \frac{\sin a}{\cos d}} \right]^2$$

Eine Probemessung nach dieser Methode ist noch nicht erfolgt und deshalb soll hier eine Abschätzung durchgeführt werden, mit welchen Zeitdifferenzen zu rechnen ist, wenn die zwei Beobachter in Augeshöhen von 2 m und 20 m jeweils den Untergang des Sonnenoberrandes beobachten. Nimmt man  $a = 45^\circ$  und  $d = 0$  an, so erhält man für  $\Delta t = 33$  Sekunden.

## Referenzen und weiterführende Literatur zu den Unterrichtsprojekten

W. Schlosser & Th. Schmidt-Kaler: Astronomische Musterversuche; Hirschgraben-Verlag, Frankfurt am Main, Musterversuch 1, S. 14 - 18

W. Großmann, H. Kahmen: Vermessungskunde, Bd. III, 12. Aufl., Sammlung Göschen, Walter de Gruyter, Berlin New York 1988, S. 39 - 42

F.O. Goodman: Measure the earth's radius while boating on one of its lakes; Am.J.Phys. 61 (4), April 1993, pp 378-379

R. O'Keefe & B. Ghavimi-Alagha: The World Trade Center and the distance to the world's center; Am.J.Phys., 60 (2), Feb. 1992, pp 183-185

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Weltbild zur Zeit Homers um 700 v. Chr. (Rekonstruktion aus dem 19. Jahrhundert nach Ortsangaben in der Odyssee)

Abb. 2: Weltbild des Herodot um 450 v. Chr. (Rekonstruktion aus dem 19. Jahrhundert)

Abb. 3: Monatliche Gestaltwandlungen des Mondes

Abb. 4: Erdschattenverlauf auf dem Mond während des Eintritts des Mondes in den Erdschatten und während des Austritts (Serienaufnahme)

Abb. 5: Erdmessung des Eratosthenes

Abb. 6: Erdmessung des Posidonius

Abb. 7: Erdkarte des Eratosthenes (Rekonstruktion aus dem 19. Jahrhundert nach der Überlieferung von Strabo)

Abb. 8: Europakarte mit den Hauptlinien des Eratosthenes und den Abständen wichtiger Parallekreise nach der Überlieferung von Strabo

Abb. 9: Erdkarte des Ptolemäus (Rekonstruktion aus dem 19. Jahrhundert nach byzantinischen Überlieferungen in modifizierter Kegelprojektion)

Abb. 10: Ausschnitt einer Erdkarte des Ptolemäus in Kegelprojektion

Abb. 11: Methode der Bestimmung der Erdgröße mit Zenitsternen

Abb. 12: Zenitaufnahmen aus Recklinghausen (oben) und Toulon (unten)

Abb. 13: Methode der Bestimmung der Erdgröße durch Landmarkenmessungen

Abb. 14: Die von der Halde Hoheward in Herten und Recklinghausen vermessenen Gasometer in Bottrop und Oberhausen

Abb. 15: Methode der Bestimmung der Erdgröße aus dem verdeckten Anteil eines entfernten Schiffes

Abb. 16: Schwankung der Kimmtiefe beobachtet anhand des Versprungs zu einer festen Bezugslinie

Abb. 17: Verdeckung der unteren Partien eines Schiffes durch die Kimm

Abb. 18: Methode zur Bestimmung der Erdgröße aus der Kimmtiefe

Abb. 19: Sonnenbahnen in Italien (oberes Bild,  $43^\circ 03' \text{ N}$ ,  $d = 10,7^\circ$ , Kimmtiefe  $14'$ ; in weiß die geometrische Bahn, in grau die tatsächliche Bahn mit Refraktion) und in Bornholm ( $55^\circ 15' \text{ N}$ , Simulationsrechnung mit  $d = 23,4^\circ$ , Kimmtiefe  $6'$ ) mit jeweils unterschiedlichen Abstiegs winkeln zum Horizont.